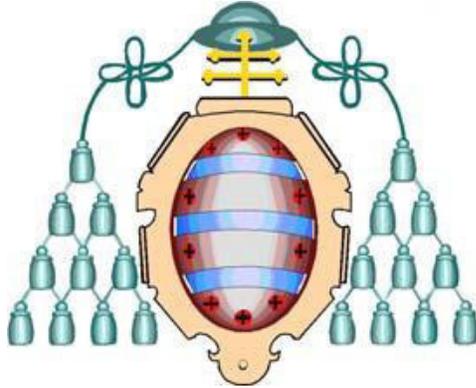


UNIVERSIDAD DE OVIEDO



**Programa de doctorado en Ingeniería de la Producción,
Minero-Ambiental y de Proyectos**

Tesis Doctoral

**Investigación de recursos minerales en la cuenca
hidrográfica del río Esva.**

Autor: Santiago González Nistal

Oviedo, Febrero de 2023



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: Investigación de recursos minerales en la cuenca hidrográfica del río Esva	Inglés: Mineral resource investigation in the Esva river watershed
2.- Autor	
Nombre: Santiago González Nistal	
Programa de Doctorado: Ingeniería de la producción, minero-ambiental y de proyectos	
Órgano responsable: Centro Internacional de Postgrado	

RESUMEN (en español)

Aparte del carbón, Asturias es una región con una amplia variedad de minerales industriales y metálicos. La cuenca hidrográfica del río Esva, es un sector que no es ajeno a la presencia de esa variedad y que, especialmente en lo referente a la minería metálica, se encuentra poco explorado.

En este trabajo se presentan los resultados de observaciones realizadas en reconocimientos de campo y también otros obtenidos mediante el empleo de técnicas instrumentales diversas sobre muestras minerales de los sectores que se han considerado más significativos e interesantes.

Se evalúa la presencia de recursos minerales potenciales destacando los numerosos indicios de oro presentes en la zona. Se realizan, en este sentido, algunas contribuciones novedosas, con resultados preliminares al menos alentadores para futuras investigaciones. En este sentido, cabe destacar el hallazgo de presencia de indicios de oro en la parte norte del corredor aurífero de Navelgas, al norte de la localidad del mismo nombre: se trata de oro refractario, asociado a óxidos de Fe que llegan a contener más de 700 mg/kg de oro. Así, es posible concluir que el corredor aurífero denominado como "cinturón aurífero de Navelgas", posee continuidad hasta el mar Cantábrico. Otra aportación destacable es la cita, por primera vez, de minerales metálicos como son el bismuto nativo, la arsenopirita o especies portadoras de tierras raras en la mineralización de Navelgas, aspectos que justifican seguir avanzando en posteriores trabajos.

En la parte norte de la cuenca se ha estudiado la presencia de indicios y antiguas explotaciones de Mn, con una revisión en profundidad de la mineralogía y las texturas presentes, y con interpretaciones alternativas a las clásicas sobre su génesis, para la que se propone un modelo ligado a procesos exógenos de precipitación química.

En la localidad de Burgazal, se ha descubierto la presencia de minerales metálicos (pirrotina-pirita-calcopirita) en una roca subvolcánica epidioritizada. El cortejo de sulfuros presenta valores de Pt en el orden de las 300-400 mg/kg.

Respecto a minerales industriales cabe destacar las albitas de Paredes como potencial yacimiento económico. Se trata de un nivel, con al menos 2 km de trazado y varias decenas de metros de potencia de albita microcristalina que contiene en torno a un 9% de Na₂O. La empresa Venis, a principios de los años 90 del pasado siglo, tras una intensa campaña de prospección, solicitó la concesión de explotación, que desgraciadamente no prosperó por motivos sociales.

RESUMEN (en Inglés)

Asturias is a region with a wide variety of industrial and metallic minerals including coal amongst others. The Esva river basin is rich in such mineral resources, mainly metallic minerals. However, it is under explored.

This paper presents the results of field assessments and various analytical techniques which were applied to mineral samples, collected from selected sectors that were considered most significant and interesting.

The presence of potential mineral resources is evaluated, highlighting the numerous indications



Universidad de Oviedo

of gold being present in the area. In this sense, novel contributions are made, with preliminary results that encourage future exploration. It is worth noting the discovery of gold traces in the northern part of the Navelgas gold corridor, to the north of the town of the same name: a refractory gold, associated with iron oxides that contains over 700 mg/kg of gold. Thus, it is concluded that the gold corridor known as the "Navelgas gold belt" has continuity up to the Cantabrian Sea. A further novel and worthy contribution is the mention, for the first time, of metallic minerals such as native bismuth, arsenopyrite and rare earths hosted in the Navelgas mineralization belt, a finding that would justify further investigation.

In the northern part of the basin, manganese occurrences and old exploitations have been studied. This includes an in-depth review of the mineralogy and textures present, and alternative, innovative interpretations regarding its genesis, for which a model linked to exogenous processes of chemical precipitation is proposed.

In the Burgazal village, the presence of metallic minerals (pyrrhotite-pyrite-chalcocopyrite) has been discovered in an epidioritized subvolcanic rock. The sulfide assemblage presents Pt values in the order of 300-400 mg/kg.

Regarding industrial minerals, it is worth noting the economic potential of the Paredes deposit. The deposit is, at least, 2 km long and several tens of meters thick, consisting of microcrystalline albite that contains around 9% Na₂O. In the 90's, following an intense exploration campaign, the Venis company applied for the exploitation concession which unfortunately did not prosper for social reasons.

**SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO
EN INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN, MINERO-AMBIENTAL Y DE PROYECTOS**

Agradecimientos:

Al llegar la finalización de un proyecto, es menester acordarse de quien te ayuda a conseguir etapas como de una vuelta ciclista se tratara.

La ayuda humana es fundamental para el recorrido realizado de los cuales destacaría:

A Avelino García, Inés García y Carmen Covadonga García por la preparación de las muestras, especialmente a Carmen Covadonga por la polivalencia en la ayuda.

A Mónica Meléndez y Jorge Fernández del IGME, por proporcionarme la documentación de las albitas de Paredes aparte ser personas con las que estar resulta muy agradable estar.

Al personal técnico de los Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Oviedo, y más concretamente a Víctor Vega, Emilio Ariño, Miguel Ángel Fernández, Ana Méndez de las técnicas SEM, DRX-FRX, EPMA y LA-ICP-MS, respectivamente.

A D. Pedro Queipo, vecino de Navelgas, buen conocedor y amante del bateo de oro, por acompañarnos a buscar oro al río, además de Alba Iglesias, del Museo del Oro de la misma localidad quien nos proporcionó información sobre los caleros del entorno.

A D. Luis Guillermo Corretgé, al cual tuve el honor de tener como profesor, por la ayuda con las láminas de Burgazal así como a D. Elías Carrocera, profesor del área de Arqueología, quien nos proporcionó información de minería romana.

Jesús y Héctor, excelentes geólogos, amigos y leoneses!, por dejarme publicar algunos de sus trabajos.

Expresar mi agradecimiento a D. José Manuel Domínguez Diez, director general de Exploraciones Mineras del Cantábrico (EMC) por haberme permitido y guiado en la estancia en empresa.

Asimismo a mis directores de tesis, Rodrigo y Jorge Loredó por guiarme en esta aventura.

Para concluir agradecer a Almudena y Rodrigo toda la ayuda profesional y personal de este largo periodo, en la que sin duda más importante que el tema lectivo es el hecho de alcanzar una fuerte amistad por los grandes personas que son, de los pocos que suelo decir, que se puede confiar más en ellos que en mí.

Deseo expresar mi agradecimiento a la Fundación Caja Rural, particularmente a Salomé Luengo, que a través de una ayuda a la investigación (proyecto FUI-2014-412), financió parte de los gastos analíticos, ayuda sin la cual es complicado avanzar en la investigación y realización de proyectos de todos los ámbitos.

A mi familia por soportarme cada día y tener que aguantar las frecuentes temáticas geológico-mineras.....haber elegido mejor.

Resumen

Aparte del carbón, Asturias es una región con una amplia variedad de minerales industriales y metálicos. La cuenca hidrográfica del río Esva, es un sector que no es ajeno a la presencia de esa variedad.

Mediante técnicas instrumentales se han estudiado diversas muestras minerales de los sectores que se han considerado más significativos.

Se evalúa la presencia de recursos minerales potenciales destacando los numerosos indicios de oro presentes en la zona con descubrimientos al menos alentadores para futuras investigaciones.

Interesante es el hecho de presencia de oro en la parte norte del corredor aurífero de Navelgas, al norte de la localidad del mismo nombre. Destacar los altos valores encontrados en la localidad de San Feliz, asociados a pirita además de encontrar en Navelgas la presencia de minerales metálicos como son el bismuto y arsenopirita además de la existencia de tierras raras, que merece seguir avanzando en posteriores trabajos.

Se puede concluir que el corredor aurífero denominado como cinturón aurífero del río Narcea, posee continuidad hasta el mar Cantábrico.

En la parte norte de la cuenca se ha estudiado la presencia de indicios y antiguas explotaciones de manganeso, donde publicó valores de hasta 0.7 % de níquel.

En la localidad de Burgazal, se ha descubierto la presencia de minerales metálicos en una roca subvolcánica epidioritizada.

Respecto a minerales industriales cabe destacar las albitas de Paredes como potencial yacimiento económico, donde Venis a finales de los años 90 del pasado siglo, ya solicitó la concesión de explotación, que no prosperó desgraciadamente por motivos sociales.

Abstract

Asturias is a region with a wide variety of industrial and metallic minerals including coal amongst others. The Esva river basin is rich in such mineral resources, mainly metallic minerals. However, it is under explored.

This paper presents the results of field assessments and various analytical techniques which were applied to mineral samples, collected from selected sectors that were considered most significant and interesting.

The presence of potential mineral resources is evaluated, highlighting the numerous indications of gold being present in the area. In this sense, novel contributions are made, with preliminary results that encourage future exploration. It is worth noting the discovery of gold traces in the northern part of the Navelgas gold corridor, to the north of the town of the same name: a refractory gold, associated with iron oxides that contains over 700 mg/kg of gold. Thus, it is concluded that the gold corridor known as the "Navelgas gold belt" has continuity up to the Cantabrian Sea. A further novel and worthy contribution is the mention, for the first time, of metallic minerals such as native bismuth, arsenopyrite and rare earths hosted in the Navelgas mineralization belt, a finding that would justify further investigation.

In the northern part of the basin, manganese occurrences and old exploitations have been studied. This includes an in-depth review of the mineralogy and textures present, and alternative, innovative interpretations regarding its genesis, for which a model linked to exogenous processes of chemical precipitation is proposed.

In the Burgazal village, the presence of metallic minerals (pyrrhotite-pyrite-chalcopyrite) has been discovered in an epidioritized subvolcanic rock. The sulfide assemblage presents Pt values in the order of 300-400 mg/kg.

Regarding industrial minerals, it is worth noting the economic potential of the Paredes deposit. The deposit is, at least, 2 km long and several tens of meters thick, consisting of microcrystalline albite that contains around 9% Na₂O. In the 90's, following an intense exploration campaign, the Venis company applied for the exploitation concession which unfortunately did not prosper for social reasons.



INDICE GENERAL

Agradecimientos:.....	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	16
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	18
BLOQUE 1.....	19
2. ANÁLISIS DE FUENTES DOCUMENTALES	20
2.1 INDICIOS Y LABORES MINERAS.....	20
2.2 TRABAJOS Y ESTUDIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS	22
3. ENCUADRE GEOLÓGICO	24
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
3.2 LITOESTRATIGRAFÍA	26
3.3 ROCAS ÍGNEAS	33
3.4 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	34
4. TÉCNICAS INSTRUMENTALES APLICADAS	37
4.1 MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN (MOP)	37
4.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	37
4.3 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)	38
4.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).....	38
4.5 MICROSONDA ELECTRÓNICA (EPMA).....	39



4.6 ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS).....	39
4.7 ABLACIÓN LÁSER ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS (LA ICP-MS).....	39
4.8 OTROS	40
BLOQUE II.....	43
5. RECURSOS MINERALES METÁLICOS	44
5.1 ORO.....	44
5.1.1 ORO PRIMARIO.....	44
5.1.2 ORO SECUNDARIO.....	84
5.2 MINERALIZACIONES DE COBRE Y ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO EN DIABASAS	111
5.3 TIERRAS RARAS.....	118
5.4 MINERALIZACIONES DE Mn DEL SECTOR TREVÍAS-BRIEVES.....	122
6. ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES	133
6.1 NIVELES ALBÍTICOS DE SAN PEDRO DE PAREDES.....	133
6.2 MINERALIZACIÓN DE BARITA	142
6.3 LAS CALIZAS Y DOLOMÍAS COMO MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL	146
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	149
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXO I.....	161
ANEXO II	164
ANEXO III	169



ANEXO IV.....	171
ANEXO V.....	174
ANEXO VI.....	178

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Indicios de minería romana para Au, a la izquierda según Sánchez-Palencia y Suarez (1985) y, a la derecha, según Fernández-Ochoa y Morillo (2012). Nótese en la primera figura la casi perfecta alineación NE-SW. Como se verá posteriormente, este corredor coincide con el trazado cartográfico de las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo.....	21
Figura 2. Límites de la zona de estudio (cuenca hidrográfica del río Esva, en azul) y del Monumento Natural de las Hoces del Esva (en morado).	24
Figura 3. Red de drenaje de la cuenca del río Esva. Los ríos Navelgas (N) y Bárcena (BM) forman el Esva, cuyos afluentes principales son el Naraval (Nr), el Llerín (u Orío, Ll) y el Mallene (M). El arroyo de Brañalonga (B) es, a su vez, el principal tributario del Llerín.	26
Figura 4. Columna estratigráfica tipo del dominio del dominio del Navia-Alto Sil (UN) y su correlación con las sucesiones del dominio del manto de Mondoñedo (UMM) y de la Zona Cantábrica (ZC) (Marcos <i>et al.</i> , 2004).	27
Figura 5. Mapa geológico simplificado de la cuenca del río Esva (norte hacia la izquierda, tomado del mapa geológico continuo de España, https://info.igme.es/visor/).....	28
Figura 6. A) Pizarras Precámbricas (Fm Narcea, Oves, PK 467,5 N-634); B) Areniscas de la Fm Cándana (El Pontigón, PK 481 N-634); C) Serie Los Cabos (PK 24 AS-219); D) Calizas y dolomías de la Fm Vegadeo (PK 25,3 AS-219); E) Sedimentos detríticos terciarios en el entorno del Alto del Forcallao (PK 30 AS-219). Nótese la disposición subvertical en las figuras A-B-C y D.	33
Figura 7. Principales estructuras de la zona de estudio. La discontinuidad más occidental es el cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo (adaptada de Martínez-Catalán <i>et al.</i> , 1992). CM: cabalgamiento de Montefurado; CA: cabalgamiento de Allande; CLE: cabalgamiento de La Espina.	35
Figura 8. A) Resultado de la molienda en seco mediante un molino de aros (2 minutos, 1400 rpm) de una muestra de roca para análisis mediante FRX/DRX. B) Aspectos de las muestras una vez listas para ser sometidas a los ensayos de FRX/DRX. C) Probetas pulidas con muestras de roca para estudios de microscopía óptica de polarización en modo reflexión. D) Probetas pulidas, metalizadas con una monocapa de Au, listas para su estudio mediante microscopía electrónica de barrido (la preparación es equivalente para la microsonda electrónica). E) Celda de ablación del equipo Analytes G2 ArF, con las muestras a estudiar y los patrones.	41
Figura 9. A) Microscopio petrográfico Leica MDPL (laboratorio de Metalogenia, Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales de Oviedo). B) Analizador portátil mediante fluorescencia de rayos X Niton XL3t GOLDD+. C) Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5600 con módulo EDS Oxford Inca Energy 200 (Servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo, Campus de Gijón). D) Microsonda electrónica CAMEBAX SX-50 en la que se aprecia la configuración de uno de los espectrómetros WDS (Servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo, Campus de El Cristo, Oviedo).	42
Figura 10. Situación, en el NW de la península, de los distritos auríferos de Salave-Porcía (1-2), Allande-Ancares (3), Salas-Belmonte (4), Infiesto (5) y montaña palentina (6). Adaptado de Gutiérrez-Claverol <i>et al.</i> , 1991. Base tomada del mapa geológico	



nacional continuo. DMM: Dominio del Manto de Mondoñedo (ZAOL); DNAS: Dominio del Navia y Alto Sil (ZAOL); AN: Antiforme del Narcea; RPM: Región de pliegues y mantos (ZC); CCC: Cuenca carbonífera central (ZC); UP: Unidad del Ponga (ZC); UPE: Unidad de Picos de Europa (ZC); UPC: Unidad del Pisuerga-Carrión (ZC); CJ: Cuenca jurásica; CMT: Cuenca mesozoico-terciaria de Oviedo.	44
Figura 11. Diferentes aspectos de algunas minas e indicios de Au. A) Playa del Figo (Tapia de Casariego), serie encajante de la mineralización. En primer plano, salida de la galería de desagüe romana (tapada por la vegetación) y galería de exploración. B) Trabajos romanos en las inmediaciones de San Antolín de Ibias. C) Corta Boinás Este, mina El Valle-Boinás (2001, cortesía de RNGM SA). D) Explotación de Carlés Norte (2010). E) Labores de mediados del siglo XX en Penedela (Ibias). F) Antigua explotación a cielo abierto en el skarn de Carracedo (Polentinos, Palencia).	48
Figura 12. Cartografía de detalle del trazado de la Fm Vegadeo al N de Navelgas (según RNGM, 2002).	52
Figura 13. Cartografía simplificada de la localidad de Navelgas y su entorno, según Álvarez y Ordóñez (2010).	54
Figura 14. Aspecto en afloramiento del techo de la Fm Vegadeo.	55
Figura 15. Sección de muestreo de la mineralización de Navelgas. Encuadre horizontal: 370 m. (1) Gasolinera. (2) Restos de antigua industria chacinera. (3) Campo de bolos. (4) Acceso a la antigua mina. (5) vía AS-219. SLC: Serie de Los Cabos. FC: Fm Cándana.	56
Figura 16. Diferentes aspectos derivados del examen microscópico de muestras de la Fm Vegadeo en la sección entre el campo de bolos y la gasolinera. A) Aspecto típico de la facies más común de la Fm Vegadeo (carbonato cristalino/microcristalino silicificado). B) Imagen anterior, con luz polarizada y analizada. C) Facies de techo: calco-esquistoso. D) Imagen anterior con luz polarizada y analizada. E) Detalle de la facies calco-esquistosa: granos de cuarzo, plagioclasa (maclada) y moscovita con cemento carbonatado (imagen con luz polarizada y analizada). F) Diseminación de opacos, ligados a una zona de fractura. Encuadre horizontal: 2,6 mm, excepto para imagen C, que es de 1,3 mm.	58
Figura 17. Detalles de la mineralización metálica de Navelgas. A) Pirita (izquierda) y pirrotina con inclusiones de pentlandita (tono más claro). B) Goethita, pseudomorfa de pirita, con una pequeña inclusión de oro en la parte central. C) Calcopirita (dorado) y arsenopirita (subhedral, blanco). D) Cuarzo hidrotermal, con bordes corroídos, en asociación con calcopirita y arsenopirita. E) Calcopirita, reemplazando tímidamente a la arsenopirita y con neoformación de sulfuros secundarios de Cu (tonos grises del primer cuadrante). F: Calcopirita, arsenopirita y mineral no identificado (gris, podría ser calcosina). El encuadre horizontal es de 1,3 mm en la figura C, de 650 µm en las figuras A, D y F y de 260 µm en las figuras B y E.	60
Figura 18. Detalles de la mineralización metálica de Navelgas. A y B) Mineralización de pirita controlada por fracturas C y D) Goethita, secundaria de pirita, con y sin restos del sulfuro original en los núcleos. D) Cuarzo hidrotermal, con bordes corroídos, en asociación con calcopirita y arsenopirita. E). Otro detalle de un avanzado proceso de transformación de pirita en óxidos de Fe. F) Arsenopirita, en asociación con otra fase no identificada de forma concluyente (ver explicación en el texto). El encuadre horizontal es de 650 µm en las figuras A y F y de 1,3 mm en el resto.	61



Figura 19. Pequeñas partículas de oro nativo asociado (centro de las imágenes), en diferentes maneras, a arsenopirita y calcopirita (ver detalles en el texto). Encuadre horizontal: 650 μm , excepto para la figura B, que resulta de 260 μm	62
Figura 20. Diferentes formas de aparición de las inclusiones minerales que se asocian a la arsenopirita. Ver explicaciones en el texto.	64
Figura 21. Minerales portadores de La, Ce y Nd. Ver explicación en el texto.	65
Figura 22. Partícula de oro nativo, con una curiosa textura superficial (inclusión en arsenopirita).	66
Figura 23. Gersdorffita-Sb (arriba) y posible violarita, en asociación con la pirita (derecha).....	67
Figura 24. Secuencia temporal de las especies presentes en la mineralización de Navelgas. Se han separado las asociaciones Fe-Cu-Ni, As-Bi-Au y TTRRs, dado que no siempre es posible establecer sucesiones temporales entre ellas. La monacita y la parisita sí son anteriores a la pirita	68
Figura 25. Arriba: extracto del mapa geológico continuo de España (https://info.igme.es/visor/) en los alrededores de La Mortera (de oeste a este, Serie de Los Cabos, Fm Vegadeo y Fm Cándana). Abajo: aspecto, desde el norte, de la meseta que separa las dos cortas de La Mortera.	69
Figura 26. A: el punteado amarillo señala los límites del conjunto de las dos cortas (encuadre horizontal aproximado: 335 m). La flecha amarilla señala un gran bloque suelto (ver texto). B y C) Detalle de la facies caolinitizada y alterada. D) Límite neto entre la dolomía fresca y alterada, en muestra de mano.	71
Figura 27. Aspecto, en lámina delgada, de una muestra de roca intrusiva recogida en las explotaciones romanas de La Mortera. Encuadre horizontal de las imágenes: 1,3 mm. Nótese la importancia cuantitativa de los opacos.	74
Figura 28. Izquierda: imagen tomada con electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. Los cristales aciculares son los opacos de la figura anterior (Cl: clorita; Q: cuarzo; Pl: plagioclasa). Derecha: detalle de un cristal de ilmenita (ver explicación en el texto).	74
Figura 29. Vista aérea del sector de Santiago Cerredo, señalando en color rojo la planta de los sondeos realizados por RNGM.....	75
Figura 30. Cartografía de detalle del trazado de la Fm Vegadeo al NE de Santiago Cerredo (según RNGM, 2002).	77
Figura 31. A y B: vistas del estado actual de la corta de Santiago Cerredo. C: aspecto, en afloramiento, de las dolomías beigeas. D: afloramiento de un término residual, terroso, muy oxidado.	78
Figura 32. Izquierda: óxido de Fe, pseudomorfo de una pirita original. Derecha: dos cristales de óxidos de Fe en la parte superior, y un punto más dorado y reflectante, que podría ser oro nativo. Encuadre horizontal: 260 μm en ambas imágenes.	79
Figura 33. Plano de situación de Los Fornones. Con línea discontinua se señala la unidad dolomítica de la serie de Cándana.	80
Figura 34. A. Canal de lavado (“coladoiro”) de Los Fornones (mirando hacia el W). B. Punto de muestreo. C: Estado actual de la explotación a cielo abierto de Los Fornones.	81
Figura 35. Excavaciones según líneas de valle en el sector entre Folgueras del Río y Candanedo que podrían ser labores mineras romanas. Encuadre horizontal aproximado: 2 km. En amarillo se señala la divisoria con la cuenca del río Negro.	82



Figura 36. En color rojo, muestras tomadas a la batea en la geoquímica de arroyos. BM: Bárcena; N: Navelgas; Nr: Naraval; Ll: Llorín; B: Brañalonga; M. Mallene..... 85

Figura 37. A. Material empleado en el muestreo y la concentración. B. Punto de muestreo 13 (arroyo de Muñás). C. Ensayo a la batea. D. Cola de bateo, idealmente con la fracción densa de la muestra original. E. Aspecto de la cola de bateo, una vez seca, durante la separación magnética..... 87

Figura 38. A. Cristal de goethita, con el típico bandeado irregular que indica un origen ligado a precipitación química. B. En la mitad izquierda de la imagen, granos de óxidos de Fe que conservan las formas cúbicas de la pirita original. C. En el centro de la imagen, dos cristales aciculares de magnetita. D. Cristal de arsenopirita, conservado como inclusión mineral en otra partícula en avanzada hematitización. A, B y D: muestra M7. C: muestra M2. Encuadre horizontal: A y D: 650 μm . B y C: 1,3 mm. 91

Figura 39. A y B. Partículas de oro nativo, ambas de la muestra 8. C y D. Aspecto de las muestras magnéticas; la mayor parte de los granos de tono claro (mayor densidad electrónica) son diferentes tipos de óxidos de Fe. E. Aspecto de un concentrado no magnético. E. Cristal de monacita. Muestras 8 (A, B y D), 7 (C) y 2 (F)..... 92

Figura 40. Partículas de oro nativo sobre las que se han realizado los estudios de inclusiones minerales y heterogeneidades composicionales. 96

Figura 41. Partícula Cab-P4. Izquierda: diferencia en tono entre los dos tipos de inclusiones minerales de la muestra. Derecha: oro nativo finísimamente diseminado en los silicatos..... 98

Figura 42. Partícula Foy-P1. Superficie de la muestra, según se observa mediante SEM-SEI. Nótese la irregularidad superficial de las zonas más ricas en Ag, frente al mejor pulido del oro nativo *sensu stricto*. A la izquierda se observa el trazado de una de las líneas de los arranques con el láser..... 99

Figura 43. Situación del indicio de San Feliz, junto con otros de la parte norte del corredor Esva-Navelgas. 100

Figura 44. Izquierda: aspecto de los suelos (eluviones) de San Feliz. Derecha: detalle, en muestra de mano, de los precipitados oscuros en planos de fractura. 100

Figura 45. A y C. Imágenes, de MOP y SEM-BEC respectivamente, mostrando reminiscencias de pirita en la parte central de algunos cristales de goethita. B, D, E. Imágenes de MOP (B) y SEM-BCE (D y E) mostrando los huecos internos típicos en los cristales de óxidos de Fe. F: orla de óxidos de Fe, no pseudomorfos de piritas, también presentes en las muestras de San Feliz. Encuadre horizontal: 650 μm (A) y 1,3 mm (B). 102

Figura 46. Mapping de Fe, Ti y Si (en todos los casos a partir de las líneas $K_{\alpha 1}$) en un campo de los cristales estriados que combinan óxido de Fe y de Ti. 103

Figura 47. En el centro de las imágenes, puntos de análisis (ver Tabla 9) 29, 46 y 48, respectivamente..... 105

Figura 48. Izquierda, arriba: cruce de El Espín; Izquierda, abajo: La Cabuerna-Tablado del Río; Derecha: alto de Forcallao, en el desvío a Miño. 106

Figura 49. A) Concentrado de El Espín: los minerales más reflectantes de la mitad superior son hematites; el de la inferior izquierda, magnetita; B) Concentrado de Miño: rutilo (primer cuadrante), hematites (tercer cuadrante) y transparentes. C y D. Muestra de El Espín: la partícula reflectante del centro de cada imagen es cinabrio. Encuadre horizontal: A y B: 1,3 mm. C y D: 650 μm 107



Figura 50. Localización de los principales indicios auríferos (primarios y secundarios) en el occidente asturiano (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2010).....	110
Figura 51. Trazado de las posibles estructuras WNW-ESE, con indicación de indicios (estrella roja), yacimientos ya explotados (estrella negra) y lineaciones principales (línea azul). Leyenda igual a la figura anterior.	111
Figura 52. Burgazal, visto desde el S. Al fondo, pico de la Peña de los Peneos.	111
Figura 53. Extracto del mapa geológico continuo de España. El nivel de rocas verdes se indica en azul, sobre el trazado del cabalgamiento de Montefurado.	112
Figura 54. Fila superior: aspecto en afloramiento y en muestra de mano de las epidibasas de Burgazal. A: epidota, actinolita (en el centro) y clinopiroxeno. B: plagioclasa con epidota. C: uralitización del clinopiroxeno. D: actinolita y epidota, con maclas y clivajes característicos. Encuadre horizontal: A, B y D: 1,3 mm. C: 650 μ m.	113
Figura 55. Imágenes tomadas con microscopía óptica en modo reflexión (A y B) y electrónica (C-D-E). A. Pirita (derecha) y pirrotina (izquierda) cristalinas, rellenando espacios. B y C. Pirita rodeando cristales de la roca original (B, plagioclasa, C, titanita) y planos de exfoliación. D. Asociación pirrotina (Po)-pirita (Py) en algunos cristales. E. Asociación pirrotina-calcopirita (Cp). Encuadre horizontal: A: 1,3 mm. B: 650 μ m. ...	115
Figura 56. De izquierda a derecha y de arriba abajo, puntos de análisis en el centro de cada imagen. 1. Pirita (Navelgas, 3469 mg/kg Au). 2. Pirita (Burgazal, 1438 mg/kg Pt). 3. Pirrotina (Burgazal, 2891 mg/kg Pt). 4. Calcopirita (Burgazal, 1442 mg/kg Pt). Encuadre horizontal: 80 μ m.	118
Figura 57. Columna de la izquierda: ejemplos de la monacita tipo I o de mayor tamaño (libre –arriba- y en una partícula mixta -abajo). Columna derecha: ejemplos de la monacita tipo II o de pequeño tamaño (siempre como inclusión mineral).....	119
Figura 58. Valores obtenidos para U-Th y Pb y edades de las monacitas analizadas, con su margen correspondiente de error.	121
Figura 59. Aspecto de los granos (detriticos) de monacita de Oves (izquierda), Obona (derecha, arriba) y Troncedo-Orderias (derecha, abajo).	122
Figura 60. Extractos del mapa geológico continuo (https://info.igme.es/visor/?Configuracion=igme) de España, mostrando sendos niveles de rocas volcánicas en Trevías (figura superior) y Muñás de Abajo-Ore (figura inferior). En amarillo se representa la Fm Cándana, en verde oscuro la Fm Vegadeo y en verde claro, la Serie de Los Cabos. Las rocas volcánicas aparecen en azul. El encuadre horizontal de las figuras es de 1540 m.....	125
Figura 61. Aspectos de las muestras recuperadas en las inmediaciones de las minas de Ore (emplazamiento en el cuadro superior) y Muñás de Abajo.	125
Figura 62. Textura microscópica de las mineralizaciones de Mn de Ore-Muñás de Abajo. A) Romanechita (izquierda) y goethita (derecha) cementando granos de cuarzo. B) Romanechita pseudomorfizando formas cristalinas previas rómbicas (¿carbonatos?). C) Además del cuarzo, en ocasiones se aprecian agujas de filosilicatos en la fracción granular del encajante. D) Romanechita y goethita de relleno de huecos (en este caso, relleno incompleto). E) Goethita rellenando completamente un espacio vacío, mostrando una marcada zonalidad (bandas más oscuras en el núcleo). F) Romanechita (en forma de cemento, abajo a la derecha) en asociación con goethita (más reflectante, parte superior derecha) y pirolusita (mitad izquierda). El encuadre horizontal de todas las imágenes es de 650 μ m, a excepción de las figuras D y F, que resulta de 1,3 mm.....	130



Figura 63. Diferentes aspectos mineralógico-texturales de las mineralizaciones de Mn de Ore-Muñás de Abajo. A) Romanechita cementante (punto anaranjado) y de relleno de huecos (punto amarillo). B) Detalle de la romanechita de relleno de huecos, que muestra dos aspectos, más y menos sombreado, sin diferencia de composición. C) Romanechita cementante, con núcleos oscuros que se corresponden con zonas terminales de menor contenido en Ba. D) Secuencia completa de la mineralización metálica: pirolusita (py)-goethita (go)-romanechita (ro), con la variedad ferrífera de esta última (o “romanechita cementante”). E) Asociación íntima goethita (puntos rojos)-romanechita (puntos amarillos) en texturas coliformes. F) Cristales de moscovita en cemento de romanechita..... 131

Figura 64. Columna estratigráfica del Cámbrico Inferior-Medio en las inmediaciones de San Pedro de Paredes (ITGE, 1993). 135

Figura 65. Niveles albiticos de San Pedro de Paredes. De arriba abajo: afloramiento de Piñera, afloramiento de Ovienes y vista del valle desde el SW (la zona de prados es el trazado de la Fm Vegadeo, a la izquierda –NW- la Serie de Los Cabos; en las pistas forestales se aprecia el tono blanco de las albititas). 136

Figura 66. Aspecto microscópico de la albitita de San Pedro de Paredes: albita cuarzo, moscovita (diagonal) y opacos. Encuadre horizontal: 650 µm. Izquierda: luz normal. Derecha: luz polarizada y analizada. 137

Figura 67. Aspecto, en muestra de mano, de las albititas de Paredes. 138

Figura 68. Sección del nivel albitico de San Pedro de Paredes. Las tramas corresponden a los minerales principales: 1. Albita; 2. Albita+cuarzo; 3. Albita+sericita; 4. Albita+calcita; 5. Albita+óxidos de Fe; 6. Sericita; 7; Dolomita; 8. Fto-K (Venis, 1991). 140

Figura 69. Zonación para el cálculo de reservas del yacimiento de San Pedro de Paredes. 141

Figura 70. Izquierda: Vista, desde el N, de la zona donde estuvo situada la antigua explotación. Centro y derecha: aspecto en muestra de mano de la barita de Muñalén. 144

Figura 71. A) Aspecto representativo de la barita de Muñalén, en forma de agregado policristalino con opacos diseminados. B) Barita (mitad inferior) cuarzo (mitad superior) e insolubles arcillosos en las juntas. C) Alineaciones de inclusiones fluidas secundarias y algunas inclusiones minerales en los cristales de barita de mayor tamaño. D) Barita, opacos y cristales de moscovita (diagonal secundaria) algo meteorizados. E) Imagen tomada con luz reflejada (B: barita; G: goethita; Q: cuarzo y M: moscovita). Encuadre horizontal: A, C y D: 1,3 mm. B: 2,6 mm; E: 650 µm. 145

Figura 72. Diferentes caleros en la zona de estudio. A: Navelgas; B. Navelgas (Castandiel). C: Los Fornones; D. Calleras; E. San Feliz. A y B: cortesía de Alba Iglesias. 146

Figura 73. Aspecto de la Fm Vegadeo en lámina delgada. Términos más puros, poco dolomíticos, sección de Piñera. Encuadre horizontal: 1,3 mm. Los términos impuros se muestran en las figuras 16.C-D-E-F. 148

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Emplazamiento y características de los tres sondeos realizados por RNGM en el entorno de Navelgas (RNGM, 1998).....	51
Tabla 2. Emplazamiento y características de los dos sondeos realizados por RNGM en La Mortera (RNGM, 2005).	70
Tabla 3. Resultados del análisis elemental de las muestras recogidas en La Mortera. 1: Dolomía; 2. Fragmento alterado de posible origen ígneo (oscuro y porfídico); 3. Caliza; 4. Roca residual ferruginosa; 5. Roca residual oxidada; 6. Roca residual caolinitizada. Todos los resultados están expresados en mg/kg. <LOD: por debajo del límite de detección.	72
Tabla 4. Emplazamiento y características de los tres sondeos realizados por RNGM en Santiago Cerredo (RNGM, 2005).	75
Tabla 5. Situación de los puntos de muestreo en la campaña de prospección aluvionar (Coordenadas según ETRS89, huso 29).	86
Tabla 6. Resultados del análisis elemental de las fracciones no magnéticas de las colas de bateo (mg/kg). LOD: por debajo del límite de detección.....	88
Tabla 7. Resultados del análisis elemental de las fracciones magnéticas de las colas de bateo (mg/kg). LOD: por debajo del límite de detección.....	89
Tabla 8. Resultados de los análisis mediante LA-ICP-MS sobre las partículas de oro nativo de origen aluvionar (valores en mg/kg).	94
Tabla 9. Resultados brutos y análisis univariante de los mismos (microanálisis con EPMA sobre goethitas del área de San Feliz).	104
Tabla 10. Coeficientes de correlación obtenidos a partir de los datos de la tabla anterior.	105
Tabla 11. Composición, en óxidos (% en peso) de las epidibasas de Burgazal.	114
Tabla 12. Síntesis de los resultados del microanálisis mediante sonda electrónica, según especies minerales y elementos químicos. Resultados en mg/kg. σ : desviación típica; a: asimetría; k: curtosis. A la derecha, tablas de coeficientes de correlación...	116
Tabla 13. Contenidos (% en peso) en Y y lantánidos en la monacita aluvionar del río Esva.	119
Tabla 14. Contenido en Y, TTRRs y Th de monacitas de diferentes orígenes. 1: Campo de Montiel (Ciudad Real, origen eluvial, Higuera <i>et al.</i> , 2021). 2. Bayan Obo (China, carbonatitas, Chen <i>et al.</i> , 2017). 3. Mountain Pass (USA, carbonatitas, Chen <i>et al.</i> , 2017). 4 (Floresta Azul, Brasil, complejos alcalinos, Alves <i>et al.</i> , 2018). 5. Erzebrige (Alemania, granito, Forster, 1998). 6. Lala (China, IOCG, Chen y Zhou, 2015). 7. Korsnas (Finlandia, skarn, Papunen y Lindsjö, 1972). 8. Costa atlántica norteamericana (aluvionar, Bern <i>et al.</i> , 2016). ND: sin dato.	120
Tabla 15. Resultados del análisis elemental de tres muestras con indicios de mineralización de Fe-Mn procedentes de Muñás-Trevías. Todos los resultados están expresados en mg/kg. <LOD: por debajo del límite de detección.	126
Tabla 16. Composición (% en peso) de la albitita de San Pedro de Paredes (afloramiento de Ovienes).....	137
Tabla 17. Resultado del análisis mediante ICP-MS de una muestra de albitita del afloramiento de Piñera.....	138



Tabla 18. Valores medios de los elementos mayores y menores en el nivel albítico de San Pedro de Paredes y límites para su utilización en la industria cerámica (Venis, 1991).....	140
Tabla 19. Inventario de recursos y reservas del PI Paredes por parte de la Sociedad Venis (Venis, 1991).	142



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La región asturiana es un territorio que ha contado, a lo largo de los tiempos, con una destacada y por momentos frenética actividad minera, fundamentalmente ligada a la extracción de recursos minerales energéticos, sobre todo hulla, pero también antracita. Sin embargo, existen, repartidos por toda la geografía asturiana, multitud de indicios de sustancias metálicas, así como una presencia significativa de diversos tipos de rocas y minerales industriales de interés económico. En relación a la minería metálica, desde mediados del siglo XIX se beneficiaron numerosas mineralizaciones de variada naturaleza cuyo tamaño e infraestructura ha sido, salvo en el caso de la minería moderna del siglo XXI, siempre modesto. Es durante la segunda mitad del siglo XX cuando el desarrollo de las investigaciones ha sido más notable, abarcando un amplio abanico de sustancias que incluyen, de manera no exhaustiva, las siguientes: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, W, Au y Pb. En la actualidad, a pesar de que existen en vigor un número importante de permisos de investigación para sustancias metálicas, únicamente existe minería activa para Au en los yacimientos de El Valle-Boinás y Carlés, propiedad de Orovalle Minerals Corp.

La existencia de Au en los aluviones de algunos de los ríos del NW de la península ibérica es bien conocida históricamente y está bien documentada, especialmente desde los tiempos de la ocupación romana. En particular, en el Principado de Asturias, y en el contexto de las mineralizaciones auríferas, se han definido tres grandes alineaciones de indicios que, adoptando la nomenclatura anglosajona, vienen denominándose “cinturones auríferos” y, de E a W, son el del río Narcea, el de Navelgas y el de Ibias-Los Oscos. Se trata de corredores, más o menos rectilíneos, de trazado aproximado NE-SW y de unos pocos km de anchura sobre los que se alinean multitud de indicios minerales de Au, tanto de origen primario como de origen secundario. El cinturón del río Narcea es el mejor conocido, dado que es el más intensamente explorado y sobre el que se sitúan las únicas minas modernas. El cinturón más occidental, el de Ibias-Los Oscos, presenta una particularidad esencial: la mineralización de Salave, en la actualidad en trámite administrativo para su posible aprovechamiento es, con mucha diferencia, la más importante y la de mayor tamaño de todas. Al igual que las mineralizaciones del cinturón del río Narcea, la de Salave ha sido objeto de continuos programas de exploración durante las últimas décadas, de tal forma que el conocimiento que hoy día tenemos de esta acumulación de Au es relativamente bueno. También se han realizado estudios, tanto técnicos como científicos, de algunos de los indicios más meridionales del cinturón de Navelgas, como puede ser el caso de Penedela. La parte septentrional del cinturón central, el de Navelgas, curiosa y casualmente, es la menos explorada y la que más densidad de indicios auríferos presenta. Como resultado de esta escasa exploración aplicada, el conocimiento geológico-minero de este sector cuenta también con un amplio margen de mejora. Dentro del cinturón de



Navelgas, el indicio más importante es una mineralización primaria que existe unos cientos de m al N de la localidad homónima. También resulta reseñable el carácter aurífero de los ríos Bárcena y Navelgas, que confluyen en el entorno de la localidad de Ese de Calleras formando el río Esva.

Además del intrínseco interés económico, en el caso de Au existe también un argumento de índole científica-académica, habida cuenta de que los recursos auríferos en los tres grandes cinturones a los que se ha hecho alusión en los párrafos anteriores aparecen genéticamente ligados a procesos y rocas diferentes, constituyendo nuestra región un magnífico muestrario de modelos de yacimientos auríferos. Así, mientras que en el cinturón del río Narcea predominan los depósitos tipo skarn (ver, por ejemplo, Spiering *et al.*, 2000), la mineralización de Salave es un yacimiento IRGD (*intrusión-related gold deposit*, Rodríguez-Terente *et al.*, 2018) y los de Ibias responden al modelo hidrotermal de filones de cuarzo con Au (Villa *et al.*, 1993). En el caso de Navelgas, los indicios se sitúan con profusión sobre el único nivel de calizas presente en la parte occidental de la región y generalmente se trata de mineralizaciones de sulfuros finamente dispersos en las calizas y asociados a cierta silicificación (Álvarez y Ordóñez, 2010).

Las consideraciones anteriores, junto al reciente descubrimiento de granos de monacita (principal mineral específico portador de tierras raras) en las arenas de la playa de Cueva (desembocadura del río Esva) han despertado el interés por profundizar en el conocimiento de la geología económica de este sector, y dicho interés es el germen de este trabajo. Dado el carácter de minerales densos y químicamente estables que comparten la monacita y el oro nativo, se ha considerado que un enfoque a nivel de cuenca hidrográfica era la forma óptima de delimitar el marco geográfico. La planificación original se centraba en los indicios auríferos primarios existentes en la caliza cámbrica y en la composición y origen la monacita presente en los sedimentos fluviales de la desembocadura del Esva; como todo trabajo de investigación, según el avance del mismo en el tiempo, se ha ido constatando el interés de incluir otros aspectos inicialmente no contemplados (como puede ser el caso de las mineralizaciones de las epidiasas de las inmediaciones de Burgazal) y, por el contrario, también se han tenido que rebajar las expectativas iniciales en estudiar de forma exhaustiva las calizas que constituyen la mejor guía litológica para el Au, dada la escasez y precariedad de afloramientos muestreables.

Teniendo en cuenta lo anterior, y aunque con una dedicación más modesta, se ha abordado de forma parcial el estudio de los indicios de Mn del sector de Muñas-Ore y se han realizado algunas aportaciones sobre el nivel de albita masiva del entorno de San Pedro de Paredes, así como sobre la acumulación de barita de Muñalén.



1.2 OBJETIVOS

De forma global y sintética, el objetivo de esta tesis doctoral es profundizar en el conocimiento de la geología económica de la zona de estudio propuesta, y establecer los aspectos críticos de las áreas más favorables. Una formulación más detallada es la siguiente:

- a) Tratar de dilucidar el origen y la composición de la monacita presente en la playa de Cueva, y en su caso, valorar tentativamente el interés de la mineralización primaria. Si bien la existencia de monacita en los sedimentos fluviales del Esva es un aspecto conocido antes del inicio del presente trabajo, se trata de un descubrimiento original e inédito del grupo de investigación en el seno del cual se ha llevado a cabo esta investigación.
- b) Profundizar en el conocimiento metalogénico de los indicios auríferos primarios, especialmente los del área de Navelgas.
- c) En base a reconocimientos de campo y trabajos de laboratorio, determinar la posible presencia de indicios de interés sobre las rocas sedimentarias carbonatadas de la Fm Vegadeo en el corredor Navelgas-Trevías
- d) En base a reconocimientos de campo y trabajos de laboratorio, establecer el interés de los apuntamientos de rocas ígneas presentes en la zona de estudio como fuente de elementos de interés.



BLOQUE 1



2. ANÁLISIS DE FUENTES DOCUMENTALES

2.1 INDICIOS Y LABORES MINERAS

Tal y como se ha indicado en el capítulo introductorio, la escasez de bibliografía sobre la geología económica de la cuenca del Esva en relación a la diversidad de sustancias y a su potencial interés económico es una de las razones que han justificado la selección del tema. Cabe señalar, sin embargo, que existe un buen número de publicaciones de carácter histórico y/o arqueológico que abordan el estudio de los vestigios de las labores mineras existentes (esencialmente en la época romana y para Au) en la zona seleccionada y que, de forma indirecta, proporcionan datos, observaciones o comentarios de interés en el marco de este trabajo. Estos estudios difícilmente se enmarcan en una sola cuenca hidrográfica, aunque muchos de ellos incluyen datos concretos relativos a la del Esva. Así, siguiendo la práctica habitual en los proyectos de investigación minera aplicada, se ha considerado oportuno realizar en este apartado una breve reseña de los más importantes de entre estos estudios. No se pretende, por lo tanto, en lo que sigue, recoger de una forma exhaustiva cada una de las citas existentes sobre arqueología minera en la cuenca del Esva, labor seguramente inabordable (en arqueología es muy frecuente la publicación reiterativa) y fuera del alcance de este trabajo. Solamente se citan algunos estudios que recogen y cartografían, de forma ordenada, los indicios mineros históricos de la zona de estudio y también algunos otros que proporcionan datos que se han considerado de interés.

Aunque existen algunos otros, son tres los inventarios reseñables de explotaciones mineras en la zona de estudio. El primero de ellos (Sánchez-Palencia y Suárez, 1985) cita la existencia de 14 indicios o manifestaciones de oro en la Cuenca del Esva, que son los siguientes: Collada (1), Zardaín (2), Navelgas Sur y Norte (3 y 4), Ermita de Andamies (5), Bustiello de Paredes (6), Aguera (7), Longrey (8), Carcabonas de Merás (9), Trevías (10), Rosico de Trevías (11), Cadavedo (12), río Bárcena (13) y Los Fornones (14). De los indicios anteriores, los correspondientes a Zardaín, Navelgas norte, Ermita de Andamies y Carcabonas de Merás corresponden a depósitos clasificados como secundarios, siendo el resto trabajos romanos sobre depósitos primarios.

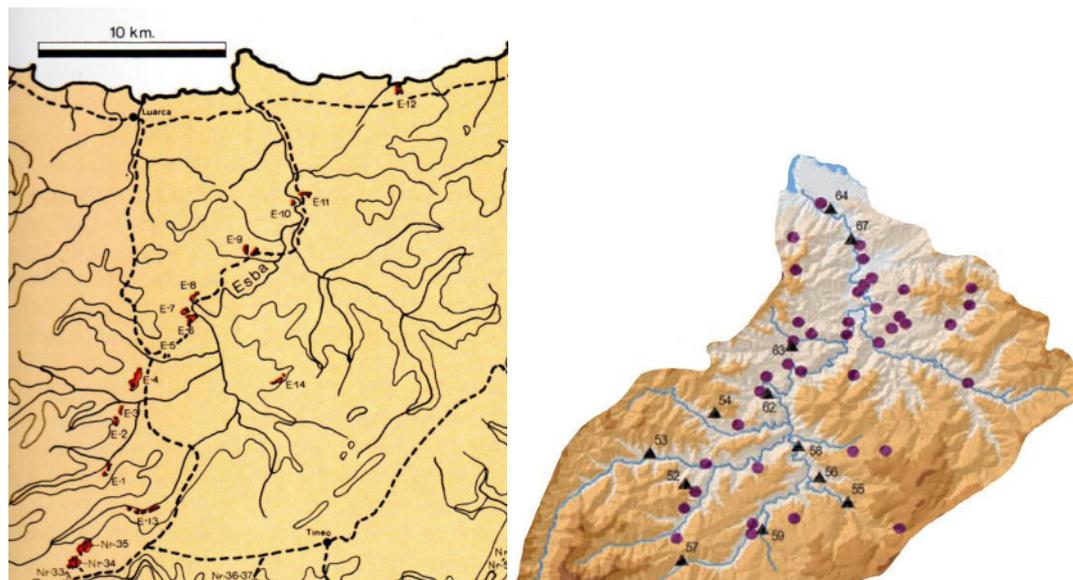


Figura 1. Indicios de minería romana para Au, a la izquierda según Sánchez-Palencia y Suarez (1985) y, a la derecha, según Fernández-Ochoa y Morillo (2012). Nótese en la primera figura la casi perfecta alineación NE-SW. Como se verá posteriormente, este corredor coincide con el trazado cartográfico de las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo.

El arqueólogo Ángel Villa (Villa, 1995), durante la elaboración del inventario arqueológico del concejo de Valdés, aumenta el número de explotaciones mineras y lugares de laboreo romano a 25 emplazamientos, considerando solamente la parte de la cuenca del Esva que pertenece al término municipal de Valdés. Son los siguientes: Reguera Brusca (25), Canero (40), El Forcón (42), La Trapa (44), Carcedo (45), Muñás de Abajo (46), Las Gruebas (48), Pilagarzón (55), Riforco (70), Río Caliente (71), Veneiros (72), Engrueba (81), Longrey (86), Carcabonas (88), Freizaredo (89), Reguera Brava (90), Arroyo Rocamín (91), Malecón (93), La Pachera (94), La Chanona (102), La Veigona (103), Corbazos (104), Huertas (105), Las Carcúas (108) y Trevías (110). El autor destaca la importancia, por el estado de conservación y el movimiento de tierras, del emplazamiento 103 (La Veigona), en las inmediaciones de Brieves. Se trata, sin duda, del inventario más exhaustivo y detallado que existe, aún con la limitación de que no existe algo equivalente para el concejo de Tineo.

Finalmente, Fernández-Ochoa y Morillo (2012) presentan un trabajo a escala de la cuenca cantábrica en el que sitúan sobre la cuenca del Esva un total de 39 explotaciones mineras, combinadas con 12 castros (ver figura anterior). Lamentablemente, no proporcionan los nombres de los lugares correspondientes a las explotaciones.

Al margen de los inventarios anteriores, existen algunos otros trabajos con datos curiosos, tal como la obra de síntesis de Villa *et al.* (2010), más centrada en la metalurgia y en los aspectos relativos a la joyería, pero que contiene algunas reseñas sobre la prospección. De forma particular, recupera un extracto de la Historia Natural de Plinio el Viejo que se reproduce a continuación de forma literal y que hace referencia a cuadrillas de bateadores de oro “*Recorren al efecto las orillas del río Canero, cuya mayor riqueza está en una extensión de cinco leguas,*



particularmente el paso llamado en el país “Pozo del oro”, recogiendo con cuidado hasta las arenas que quedan pegadas á las plantas que crecen en sus márgenes, planta conocida allí con el nombre de Carrizo. Echan luego la arena en una artesa ó cuencos cónicos, de boca muy ancha, los sumergen en el agua y removiéndolas primero con la mano, para desleir más fácilmente la arcilla que aglutina las arenas, imprimen á la vasija varios movimientos giratorios, separando con las manos las materias que vienen á la superficie hasta que no queda en el fondo de la vasija más que las arenas ricas en oro, que recogen luego en una taza ó escudilla. Esta operación la repiten muchas veces hasta terminar el día, reúnen todas las arenas así tan toscamente concentradas por este medio, y sobre ellas vierten cierta cantidad de azogue, que en el momento verifica la amalgación.”

Gutiérrez *et al.* (2015) citan, durante la descripción de los restos de un castillo presumiblemente romano, indicios de explotaciones mineras en Navelgas, Naraval, Muñás y Carcedo, y en el entorno del castillo de Ovienes señalan específicamente la existencia de cortas romanas en Ovienes, Aguera, Bustiello y Longrey.

2.2 TRABAJOS Y ESTUDIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Existen una serie de estudios previos, en general no muy recientes, que acometen el análisis específico de algunos indicios minerales de entre los existentes en la cuenca del Esva. Una excepción a lo anterior lo constituyen los trabajos de Gutiérrez-Claverol *et al.* (1991) y Ruiz y Luque (1988), que cuentan con un marco geográfico más amplio (Zona Asturoccidental-Leonesa en ambos casos). El primero de ellos es de índole estructural, y se centra en las relaciones entre las mineralizaciones metálicas y los grandes lineamientos estructurales deducidos de imágenes de sensores remotos. El segundo, por su parte, es una recopilación exhaustiva de los indicios minerales conocidos, bien ordenada y excelentemente documentada, pero sin apenas aportaciones originales. En este trabajo se cita la presencia de Au en Trevías, Merás, Naraval, Navelgas y Los Fornones, y de indicios de Mn en Trevías y Muñás, a los que asigna contenidos máximos de un 40% en Mn. También se cita la mineralización de barita de Muñalén. Precisamente debido a su carácter generalista y de obra de recopilación, no se incluyen en este documento comentarios relativos a los datos presentados en los trabajos de síntesis regionales de Gutiérrez-Claverol y Luque (1994) y Luque y Gutiérrez-Claverol (2010).

De entre los trabajos más específicos, cabe citar los de IGME (1977) y González-Castro *et al.* (1985, 1986) sobre las mineralizaciones de Mn. El primero es un informe técnico, con una cartografía detallada y con descripciones de muestras de mano que en algunos casos incluyen estudios microscópicos. Se propone como sector más favorable al de Muñás-Ore (frente al de Villanueva) y se cita una génesis ligada a hidrotermalismo de baja temperatura. Los dos trabajos de González-Castro *et al.* son más detallados, y aparentemente derivados de la elaboración del informe anterior. Se presenta la paragénesis de estos depósitos (Villanueva-Muñás-Ore) y se cita que los de Muñás y Ore presentan una anomalía positiva en Ni y Cu,



aunque ya se alude explícitamente su escaso potencial minero. El contenido máximo en Mn se establece en un 35%, algo por debajo del dato proporcionado por Ruiz y Luque (1988).

En relación con el Au, la bibliografía existente se centra en la mineralización de Navelgas (Calvo y Sevillano, 2000; Álvarez, 2003; Álvarez y Ordoñez, 2010) y en los indicios relacionados con el miembro dolomítico de las areniscas del Cámbrico Inferior (Díaz-Asenjo *et al.*, 1984a, 1984b). En su artículo, Calvo y Sevillano repasan y discuten algunos datos históricos de las explotaciones mineras en Navelgas, y ponen de manifiesto el carácter aurífero del río Navelgas. Por su parte, Álvarez y Álvarez y Ordoñez proponen para el caso de Navelgas una génesis hidrotermal: describen la paragénesis de la mineralización e indican la naturaleza refractaria de la mayor parte del Au, que se presenta en solución sólida en la piritita. Los trabajos de Díaz-Asenjo *et al.* se desarrollan en el sector Calleras-Fastias, en el entorno del indicio de Los Fornones. Los autores confirman la presencia, escasa, de Au libre aluvionar, y realizan una campaña de prospección geoquímica de rocas, cuyos resultados indican anomalías positivas en Pb, Zn y Cu (además de Au).

La mineralización de barita de Muñalén (actualmente inaccesible) es descrita por Fernández (1982, 1985) en su tesis doctoral (inédita). El autor indica que esta acumulación presenta morfología irregular (en bolsadas) y que su característica más destacable es la presencia de cinabrio pulverulento tardío que rellena espacios vacíos.

Finalmente, existen algunos estudios relativos a los niveles albíticos que afloran en el entorno de San Pedro de Paredes. Una vez más, es un informe técnico del ITGE (1993) el trabajo pionero. Se propone en este detallado documento una columna estratigráfica de la transición entre la Fm Vegadeo y la Serie Los Cabos, en la que existen unos 150 m de rocas albíticas, de las cuales la mitad superior serían aprovechables industrialmente. Se interpreta este nivel albítico como el resultado del desmantelamiento rápido de depósitos volcanoclásticos traquíticos alcalinos. El estudio incluye también datos relativos a una mineralización similar, en idéntica posición estratigráfica, que se ha venido beneficiando en el sector de Foz-Barreiros (Lugo). Roel (1994) sintetiza el informe anterior en formato de artículo científico. García-Arias *et al.* (2006; 2007) desarrollan modelos teóricos de fusión/cristalización para el quimismo de estas rocas, e interpretan estos depósitos, en la línea de los trabajos anteriores, como resultado de un vulcanismo freatomagmático seguido de un retrabajamiento sedimentario. En los cuatro trabajos anteriores se citan contenidos máximos en Na₂O en torno al 10-12%.



3. ENCUADRE GEOLÓGICO

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Esva se localiza en el principado de Asturias, en su parte occidental, y se extiende, siempre de forma parcial, sobre cinco hojas del mapa topográfico nacional (1:50.000) que, de N a S, son: Busto (12), Boal (26), Tineo (27), Cangas del Narcea (50) y –aunque con un área despreciable- Belmonte (51). Posee una superficie aproximada de 461 km², con una morfología algo elongada en dirección noreste-suroeste, excediendo los 30 km de longitud en esa dirección.

El río Esva nace de la confluencia de los ríos Navelgas y Bárcena del Monasterio a la altura de la localidad de Ese de Calleras. El río Navelgas, el más importante de ambos, nace en las estribaciones del pico Quemado, entre las sierras de Fanfaraón y Leirosa (límite Pola de Allande-Tineo). Por su parte, el río Esva desemboca en la playa de Cueva (Valdés) y cuenta con un caudal medio de unos 10 m³/s. Los límites geográficos de su cuenca están delimitados por los trazados de las sierras de Buseco y Rañadoiro (al W, superando algunas cumbres los 1000 m), de Tineo y La Cuerva (al S) y del Curiscao (al E). Su extensión, principales localidades e infraestructuras se pueden ver en la siguiente figura:

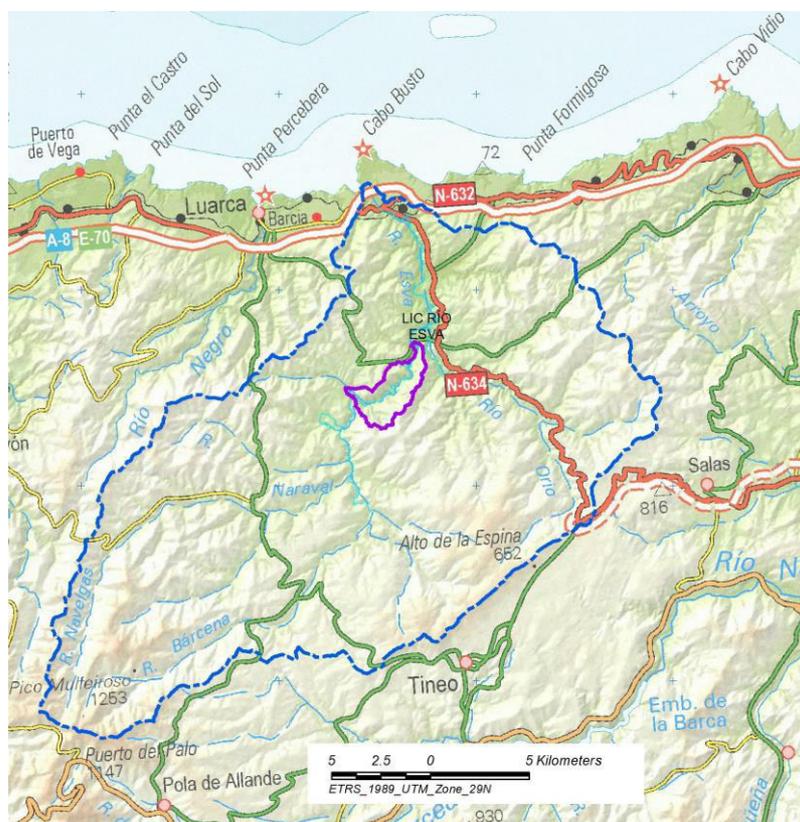


Figura 2. Límites de la zona de estudio (cuenca hidrográfica del río Esva, en azul) y del Monumento Natural de las Hoces del Esva (en morado).



El área de estudio posee, en general, buenas comunicaciones, siendo las principales vías de acceso la autovía A8, la N-632 (ambas de recorrido paralelo a la costa) y el tramo de la N-634 que discurre desde La Espina hasta Canero. La N-634 discurre paralela al cauce del Esva desde su desembocadura hasta la localidad de Brieves. Desde Brieves, se puede tomar la AS-221 a Merás-Naraval, donde ésta confluye con la vía más importante de la zona occidental de la cuenca, la AS-219 (Luarca-Pola de Allande). En el PK 35 de la AS-219 se encuentra Bárcena del Monasterio, desde donde es posible tomar la AS-350 a Tineo. Además de las vías principales que se acaban de citar, existe una densa red de carreteras secundarias que dan acceso a la práctica totalidad de las poblaciones de la zona.

Las poblacionales de la zona de estudio, excepto Trevías, son de pequeño tamaño y las actividades económicas principales son las ligadas a los sectores ganadero y agrícola, por orden de importancia. El sector servicios tiene una importancia modesta y no existen actividades industriales de mediana o gran escala; tampoco existe, en la actualidad, actividad extractiva alguna, aunque sí se encuentran en vigor algunos derechos mineros.

El régimen de precipitaciones es relativamente elevado, y la amplitud térmica de la zona de estudio es moderada, como corresponde a un área afectada por el efecto regulador del mar, característica del clima templado oceánico. Tal y como se ha indicado anteriormente, el río Esva en su cabecera posee como afluentes principales a los ríos Navelgas y Bárcena, ambos de trazado de dirección noreste-suroeste. Posee asimismo una densa red de afluentes transversales, entre los que destacan los ríos Naraval, Merás, Llorín (u Orío) y Mallene (ver Figura 3) y que, en conjunto, constituyen una red de drenaje de varios cientos de km de cursos fluviales. El trazado de los cauces principales se dispone siguiendo las direcciones de las estructuras geológicas de primer orden del distrito: este asunto se abordará con mayor detalle en el apartado de tectónica.

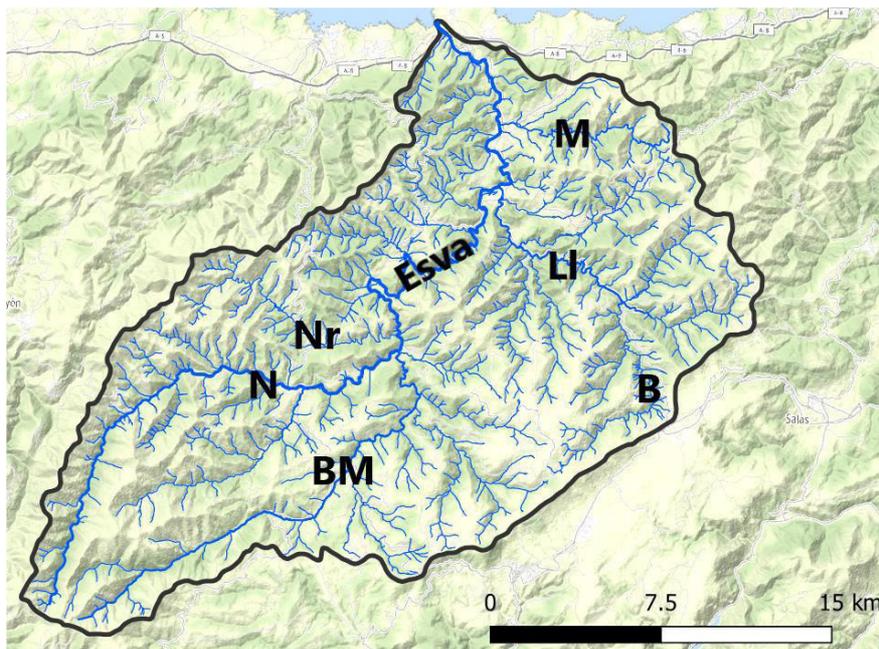


Figura 3. Red de drenaje de la cuenca del río Esva. Los ríos Navelgas (N) y Bárcena (BM) forman el Esva, cuyos afluentes principales son el Naraval (Nr), el Llerín (u Orío, LI) y el Mallene (M). El arroyo de Brañalonga (B) es, a su vez, el principal tributario del Llerín.

3.2 LITOESTRATIGRAFÍA

Desde un punto de vista geológico, la cuenca del Esva se encuentra íntegramente enclavada en la denominada “Zona Asturoccidental-Leonesa” (ZAOL), siguiendo la división propuesta por Lotze (1945) para el macizo ibérico. De forma genérica, los rasgos más característicos de la ZAOL se pueden resumir en dos puntos: el gran desarrollo de los materiales del Paleozoico Inferior y la existencia de un Precámbrico en facies esquistosa. Adoptando un criterio simplista, los límites de la ZAOL vendrían dados por sendas estructuras antiformales: la del Precámbrico del Narcea al E y la del Olló de Sapo al W, separando la ZAOL y la Zona Centro Ibérica (ZCI). A pesar de la relativa homogeneidad litológica característica de la ZAOL, pueden diferenciarse dentro de ella tres dominios diferentes, con algunas características peculiares (Marcos, 1973):

- Dominio del Navia Alto Sil (DNAS)
- Dominio del Manto de Mondoñedo (DMM).
- Dominio de la Sierra del Caurel-Truchas (DSCT).

La zona de estudio se ubica en la unidad más oriental de la ZAOL, dentro del “Dominio del Navia y alto Sil” (DNAS), que representa el autóctono relativo con respecto al dominio del Manto de Mondoñedo. La sucesión del DNAS se caracteriza (ver figura siguiente), como se ha adelantado, por la presencia de pizarras precámbricas, y por el gran desarrollo de rocas metasedimentarias, predominantemente detríticas, del Paleozoico Inferior, que abarca la totalidad del Cámbrico y la parte inferior y media del Ordovícico (Tremadoc y Arenig). Esta sucesión se considera depositada en el margen continental pasivo de Gondwana.

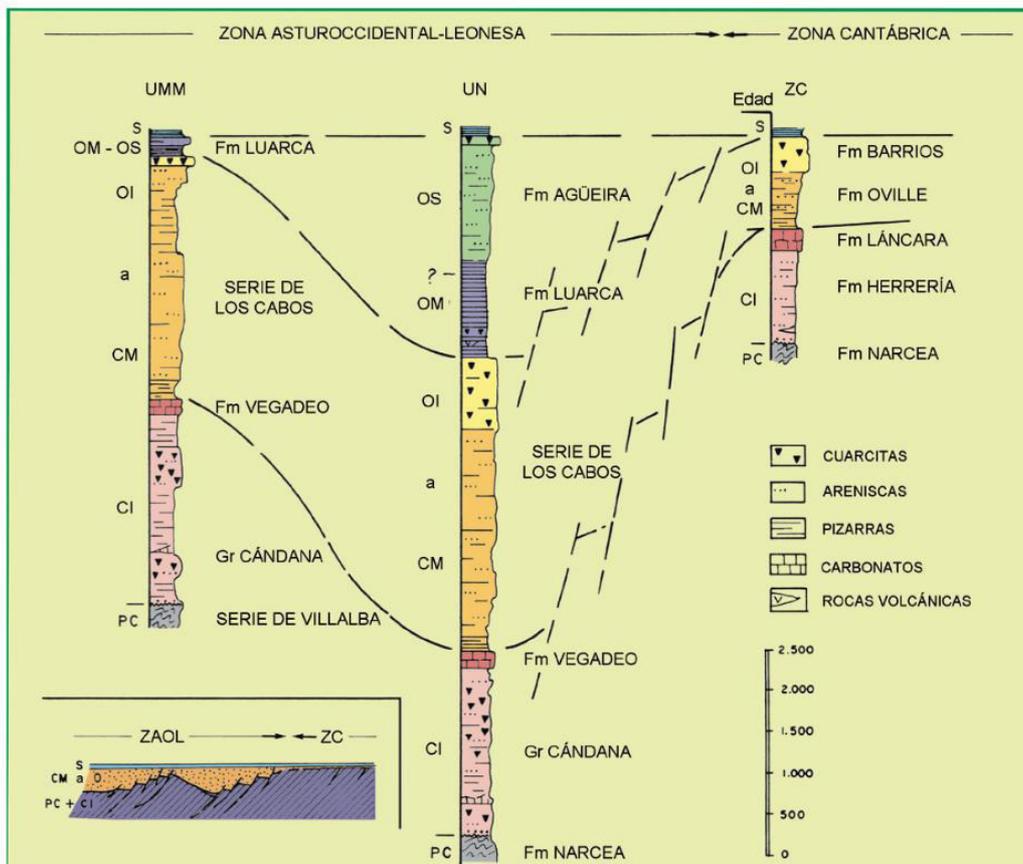


Figura 4. Columna estratigráfica tipo del dominio del dominio del Navia-Alto Sil (UN) y su correlación con las sucesiones del dominio del manto de Mondoñedo (UMM) y de la Zona Cantábrica (ZC) (Marcos *et al.*, 2004).

A continuación, se describen de forma sintética las principales características de las cinco unidades litoestratigráficas principales que afloran en el área geográfica correspondiente a la cuenca del Esva. Su representación cartográfica se muestra en la siguiente figura:

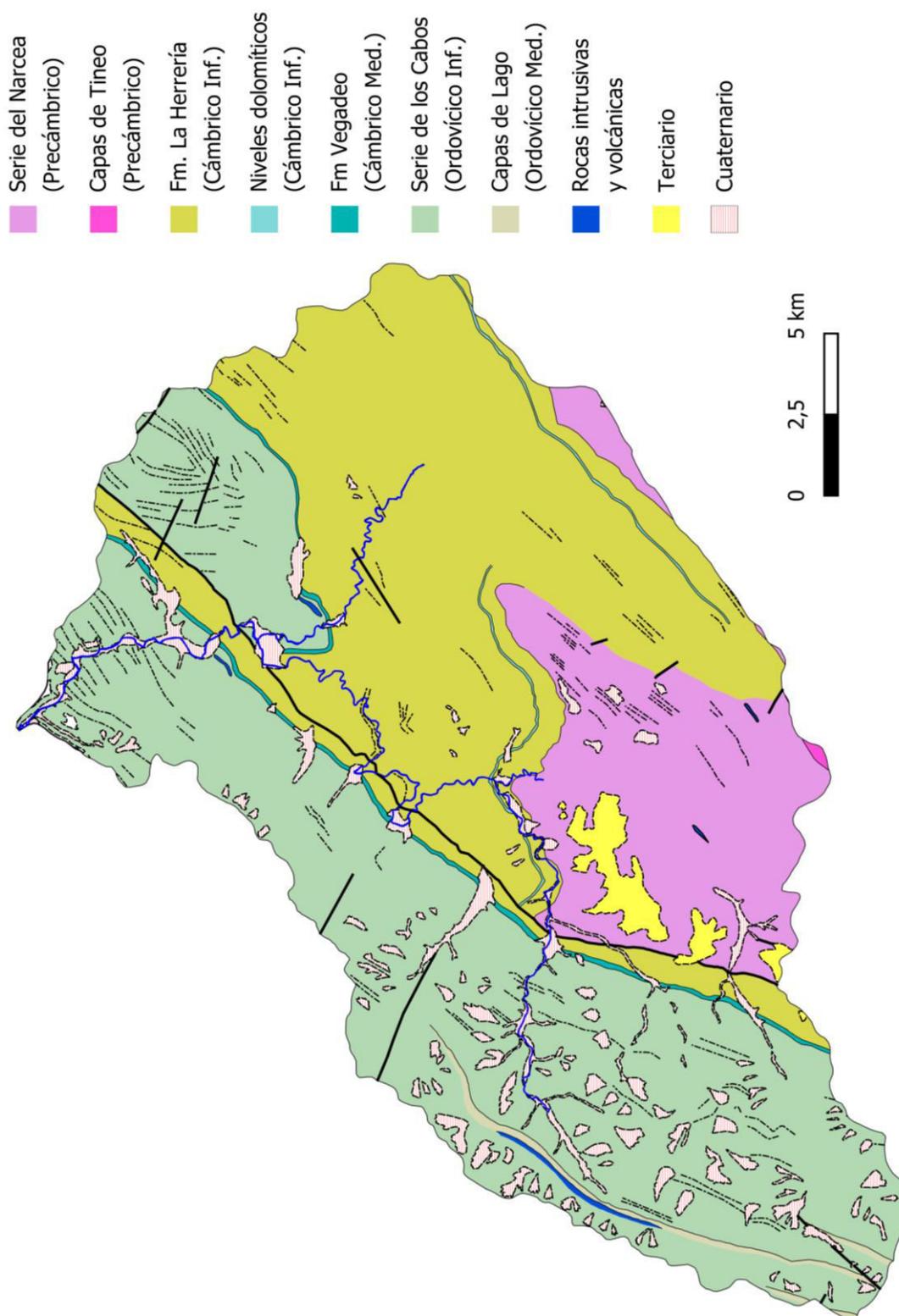


Figura 5. Mapa geológico simplificado de la cuenca del río Esva (norte hacia la izquierda, tomado del mapa geológico continuo de España, <https://info.igme.es/visor/>).



Formación Narcea

Corresponde a una sucesión pelítico-arenosa en estructura antiformal que desde Lotze (1956) se viene atribuyendo al Precámbrico y que sirve como límite entre la Zona Cantábrica (ZC) y la ZAOL. Su potencia es muy variable, oscilando entre 1000 y 2000 metros. No se han encontrado fósiles en esta unidad en Asturias. Sin embargo, en su prolongación hacia el sur, han sido hallados microfósiles de posibles cianobacterias, algas y acritarcos del Precámbrico Superior (Vendiense Superior, Ediacareense), edad ya supuesta con anterioridad por comparación con otras sucesiones estratigráficas de regiones cercanas. La sucesión estratigráfica del Precámbrico no se encuentra bien establecida debido a la monotonía del conjunto y a la existencia de una serie de cabalgamientos que repiten la serie. La mayor parte de los autores se limitan a indicar que se trata de una sucesión esquistos-arenosa de características turbidíticas. Esta serie, en su flanco occidental y en la parte baja, presenta intercalaciones frecuentes de lentejones de rocas volcánicas y volcanoclásticas metamorizadas cuya composición original iría desde riolitas hasta dacitas, e incluso andesitas (Marcos, 1973), en cuerpos concordantes que muestran tránsitos graduales con las rocas en que están encajados. En este sector se alcanza la isograda de la biotita, mientras que en el flanco oriental el metamorfismo parece afectar muy poco a los materiales, pudiendo incluso ser reconocidas sin dificultad diversas estructuras sedimentarias.

El contacto con la serie paleozoica suprayacente es discordante (Ruiz, 1971). Se trata de una discordancia de ángulo generalmente elevado que pone de manifiesto la existencia de una deformación precámbrica con resultado de pliegues asimétricos, pero sin foliación tectónica ni metamorfismo. La parte de la Fm Narcea más próxima a la discordancia, con un espesor de varios metros, presenta rubefacción, posiblemente debida a la alteración subaérea previa al depósito del Cámbrico.

Formación Cándana

Sobre la discordancia asintica, en la base de la sucesión paleozoica, se sitúa una serie de unos 1000 metros de potencia media (de 900 a 1500 metros) conocida como "Fm Areniscas de La Herrería" o "Fm Cándana". Esta unidad está compuesta predominantemente por microconglomerados y areniscas más o menos feldespáticas (desde arcosas a cuarzoarenitas, Arguelles, 1972) rosadas, entre las que se intercalan pizarras y limolitas grises, verdosas y rojizas. En la parte baja suelen encontrarse conglomerados silíceos, capas de dolomía y algunos niveles volcánicos delgados. Muchas de las areniscas de este tramo basal son litarenitas, conteniendo abundantes granos de rocas volcánicas y su edad se ha establecido en el Precámbrico terminal. La sedimentación de esta unidad tuvo lugar en condiciones alternantes fluviales y marinas someras, posiblemente en relación con un complejo deltaico similar al que se desarrollaría más tarde en el Cámbrico Superior y Ordovícico Inferior. No existen estudios exhaustivos de índole estratigráfica y/o petrológica, pero sí de los aspectos



paleontológicos, la mayor parte de los mismos en la sección de Barrios de Luna y, por tanto, fuera del alcance de este trabajo. El paso a la formación suprayacente es siempre gradual, realizándose por medio de una alternancia de areniscas, pizarras y dolomías.

En ciertas localidades de la zona de estudio (Muñalén, Calleras), el nivel dolomítico próximo a la base está bien definido y es diferenciable cartográficamente, presentando en ocasiones débiles manifestaciones de mineralizaciones metálicas, así como acumulaciones de minerales industriales. Ya fuera de la zona de estudio, dentro de este nivel dolomítico se desarrolla una interesante mineralización de magnesita que fue beneficiada en el pasado en las inmediaciones de Valderrodero (Salas).

Formación Vegadeo

Superpuesta y concordante a la Fm Cándana, se dispone una unidad de entre 150 y 200 m de potencia formada principalmente por calizas y dolomías, que se conoce como "Fm Vegadeo" (Barrois, 1882). Se presenta en forma de banda irregular de dirección noreste-suroeste (ver figura anterior), excepto al norte de Trevías donde cartográficamente se puede observar cómo se separa -por contacto mecánico- en dos franjas, que alcanzan la costa en las localidades de la Concha de Artedo y Cadavedo, ambas fuera de la zona de estudio. Las condiciones de afloramiento de esta banda carbonatada son defectuosas e irregulares, presentándose en la actualidad en forma de relieve deprimido y con frecuente recubrimiento cuaternario, lo cual, junto con el metamorfismo y las dolomitizaciones epigenéticas, impide establecer una sucesión precisa. En la mayoría de los sectores en los que aflora la unidad de Vegadeo, su recristalización resulta evidente, generalmente con una reorientación de los cristales, de tal forma que las características sedimentarias y primarias de la serie se encuentran totalmente enmascaradas. No obstante, Zamarreño *et al.* (1975) y Zamarreño y Perejón (1976) han establecido los tipos de facies carbonatadas presentes en la formación Vegadeo, distinguiendo tres miembros que se han denominado inferior, medio y superior.

El miembro inferior está constituido por una alternancia de calizas, pizarras y dolomías, donde las litofacies predominantes son calizas oolíticas y nodulosas con arqueociatos y se suponen formadas en un ambiente sedimentario somero, pero siempre cubierto de agua. En el miembro medio, a pesar de la intensa cristalización y dolomitización de las calizas que lo componen, se han podido diferenciar algunos tipos de microfacies (fundamentalmente laminaciones) que representan una facies de medio mareal. En el miembro superior se han descrito dos tipos de microfacies: biomicritas recristalizadas con abundantes restos de equinodermos y biomicritas fosilíferas que representan una sedimentación de tipo nerítico. Como edad de la Fm Vegadeo se acepta Cámbrico Inferior, determinada de forma indirecta en base a restos de trilobites hallados por encima y por debajo del conjunto calcáreo.



La Fm Vegadeo a priori posee el mayor interés económico como metalotecto a nivel regional, ya que presenta abundantes indicios mineros, especialmente de sulfuros de Pb, Zn, Cu, Sb y Hg, generalmente localizadas en el miembro superior (ver Tornos *et al.*, 1996 para más detalles).

Serie de Los Cabos

A techo de la Fm Vegadeo, aparece un potente conjunto detrítico conocido como “Serie de los Cabos” o “Serie Los Cabos” (Lotze, 1958). Esta formación se presenta como una sucesión monótona de cuarcitas, areniscas y pizarras, y alcanza un espesor de hasta 4000 m. La unidad comienza con un nivel de pizarras y margas verdosas de espesor variable (alrededor de 100 m) en el que progresivamente aumentan las intercalaciones centimétricas areniscosas con abundancia de trilobites del Cámbrico Medio al que se superpone, en continuidad estratigráfica, la potente sucesión terrígena, constituida por una alternancia de pizarras, calizas y cuarcitas de varios miles de metros de espesor.

La edad de la unidad abarca desde el Cámbrico Medio hasta el Ordovícico Inferior (Arenig, según Marcos y Pérez-Estaún, 1981). La interpretación sedimentológica (Baldwin, 1975) indica que la serie está constituida por depósitos marinos de aguas someras, predominando las facies de barras de arenas en la parte superior (más cuarcítica) y las facies intermareales para el resto de la sucesión. En posición variable dentro de los niveles de pizarras verdes que se sitúan inmediatamente por encima de la Fm Vegadeo, se encuentran en algunas localidades sills de rocas volcánicas verdes (diabasas y tobas asociadas).

Pizarras de Luarca

Serie de pizarras negras que se sitúan por encima de la Serie de Los Cabos y que poseen como una de sus características la uniformidad de facies. En general presentan tonos negros, y son lustrosas. Se han diferenciado, a pesar de la citada uniformidad, tres miembros: el miembro inferior está constituido por pizarras negras lustrosas con presencia de pirita y niveles oolíticos de espesor centimétrico y en los niveles superiores presenta pasadas de cuarcita. El miembro medio está formado por cuarcitas blancas (80 m de potencia media) con presencia de trilobites. Finalmente, el miembro superior, cuenta con un espesor medio de 250 m y presenta unas características semejantes a las descritas para el miembro inferior, aunque con menores intercalaciones de bancos de cuarcitas.

Depósitos terciarios y cuaternarios

Los depósitos más recientes son variados y de importancia desigual. Se presentan en las siguientes formas:



- Depósitos paralelos a la línea de costa, principalmente en forma de rasa (superficie plana y elevada con una anchura de hasta 3 kilómetros).
- Rellenos aluviales de los fondos de valle, en todos los casos de escaso desarrollo, a excepción de las llanuras de inundación en el entorno de Brieves (en la confluencia del Esva con el Llorín) y el tramo anexo al cauce del río Esva desde Trevías hasta Canero.
- Derrubios de ladera: son depósitos superficiales, desarrollados principalmente sobre los relieves más pronunciados de la Serie de Los Cabos, constituidos por cantos angulosos cuarcíticos y escasa matriz limoso-arenosa.
- Sedimentos terciarios dispuestos irregularmente y de forma discordante sobre las elevaciones máximas del conjunto precámbrico. Son depósitos de carácter fluvial que presentan desde conglomerados cuarcíticos hasta tamaños muy finos y que, en ocasiones, pueden contar con decenas de metros de potencia. Los más importantes se sitúan en el sector SW de la zona de estudio, asociados al trazado de la falla de Allande (ver Figura 5), en los PKs 30 (Miño-Alto de Forcallao), 38,5 (La Cabuerna-Tablado del Río) y 42,5 (El Espín-Borres) de la AS-219 y se tratan de forma particular en el apartado 5.3 de este trabajo.

En la siguiente Figura 6 se muestra el aspecto que presentan en campo las diferentes unidades litoestratigráficas descritas:

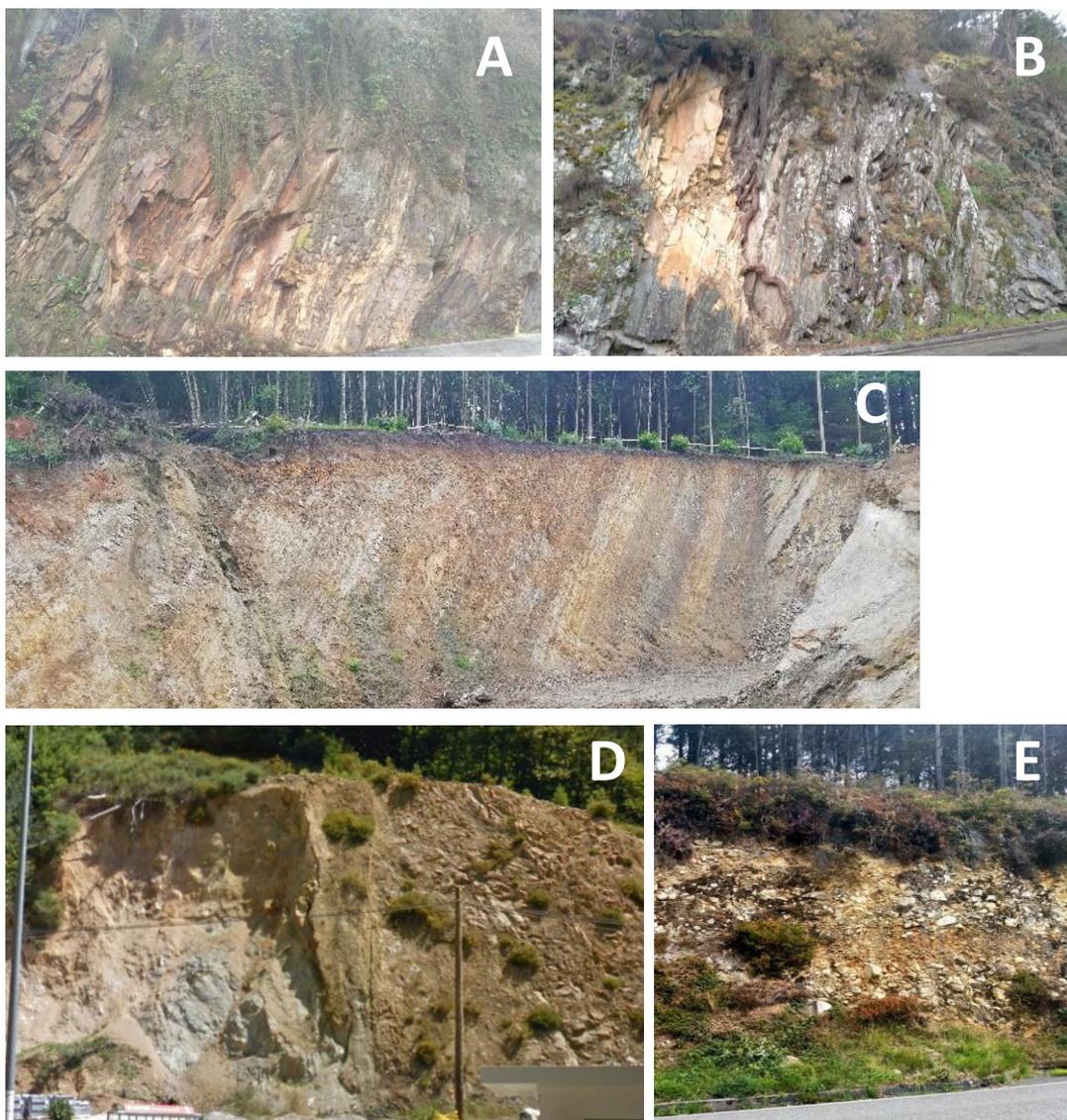


Figura 6. A) Pizarras Precámbricas (Fm Narcea, Oves, PK 467,5 N-634); B) Areniscas de la Fm Cándana (El Pontigón, PK 481 N-634); C) Serie Los Cabos (PK 24 AS-219); D) Calizas y dolomías de la Fm Vegadeo (PK 25,3 AS-219); E) Sedimentos detríticos terciarios en el entorno del Alto del Forcallao (PK 30 AS-219). Nótese la disposición subvertical en las figuras A-B-C y D.

3.3 ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas no son abundantes en la cuenca del Esva, tal y como se puede apreciar en la Figura 5. Únicamente se conoce su existencia, tal y como se ha indicado con anterioridad, en pequeños sills encajados en la serie pizarrosa precámbrica y, también con disposición concordante con la estratificación, en algunos puntos de la Serie Los Cabos.

Dentro de la Serie Los Cabos, existen algunas rocas volcánicas metabásicas que se presentan en forma de estrechos y delgados lentejones de tonos oscuros (50 cm de potencia). También se han localizado rocas atribuibles a tobas riolíticas o riodacitas. Ambos tipos se localizan en los tramos inferiores de la Serie Los Cabos (Rubio, 2010) y en general se interpretan como



fruto de un vulcanismo muy incipiente. Las principales manifestaciones, según la cartografía del mapa geológico nacional, se localizan al sur de Muñás de Abajo y al suroeste de Trevías.

Por otra parte, en la localidad de Burgazal, a unos 6 km al oeste de Navelgas, y ya en el límite occidental de la zona de estudio existe un cortejo de cuerpos ígneos de naturaleza diabásica, probablemente posthercínicos. Se trata de rocas muy retromorfoseadas con gran cantidad de epidota y anfíboles actinolíticos de origen secundario. Rubio (2010) representa, en la cartografía que acompaña a su excelente tesis doctoral, una potente banda, continua, de rocas gabroicas en el contacto entre la Fm Vegadeo y la Serie Los Cabos en las inmediaciones de Navelgas; la existencia de esta unidad no ha podido ser corroborada en los reconocimientos de campo llevados a cabo durante este trabajo, aunque sí se han reconocido cantos rodados de este material en los aluviones del río Navelgas.

Finalmente, en el entorno de San Pedro de Paredes, aflora un interesante nivel de rocas albiticas, también en el contacto entre la Fm Vegadeo y la Serie Los Cabos. Debido a su destacado interés económico, este nivel será objeto de un análisis más detallado con posterioridad y no se insistirá ahora más sobre él.

Resulta de interés poner de manifiesto que, tanto en el occidente de Asturias como en el norte de las provincias de León y Palencia, la mayor parte de los proyectos de prospección más importantes para Au están en relación con intrusiones tipo I, postorogénicas, de tendencia monzonítica que comprenden granitos, granodioritas, dioritas y gabros. Aunque en la cuenca del Esva no afloran o no se han descubierto formalmente, hasta el momento, intrusivos de estos tipos, existen, como se acaba de ver, apuntamientos de rocas ígneas de diferentes composiciones que podrían indicar la presencia de cuerpos mayores, potencialmente interesantes, en profundidad. En concreto, en el marco de los trabajos de investigación minera realizados por Río Narcea Gold Mines en el Cinturón Aurífero de Allande-Navelgas-Esva se constató, en varios de los sectores que se investigaron mediante sondeos mecánicos, la presencia de rocas ígneas, especialmente en Santiago de Cerredo, La Mortera y Lavadoira (este último emplazamiento en el límite S de la zona de estudio, ya fuera de la misma). Visualmente, parecen corresponder a intrusivos de composición gabro-diorítica, sin tenerse constancia de estudios de petrografía hasta la fecha.

3.4 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

La estructura de la zona de estudio es, a grandes rasgos, resultado de la orogenia hercínica. El elemento más importante es el cabalgamiento de Allande (Marcos, 1973), estructura regional que recorre la zona de noreste a suroeste (ver Figura 5). Al W de esta gran fractura la disposición de la serie es esencialmente monoclin, con las capas buzando al W, mientras que al E la estructura es algo más compleja, con presencia de pliegues anticlinales y sinclinales. En el mismo orden de importancia, aunque con un recorrido menor, se sitúa el cabalgamiento de



Montefurado, muy próximo a la divisoria por el SW con la cuenca del río Negro. Ambas estructuras, como se verá más adelante, constituyen importantes controles para el potencial desarrollo de mineralizaciones, especialmente el cabalgamiento de Montefurado en su recorrido sobre la hoja de Cangas del Narcea (50). El análisis de la deformación debida a la fase hercínica ha permitido definir tres fases diferentes (307-360 Ma), que se encuentran ampliamente descritas en la literatura especializada y exceden el alcance de este trabajo. El lector interesado podrá consultar más detalles al respecto en los trabajos de Marcos (1973) y Martínez-Catalán *et al.* (1990; 1992), entre otros. Por el contrario, sí resulta de interés señalar que las rocas poseen una deformación interna con un metamorfismo regional asociado, el cual queda representado por una intensidad baja (zona de la clorita), con excepción de lo que ocurre en el entorno del trazado cartográfico del cabalgamiento de Allande (especialmente al W de la misma), donde se alcanza la isograda de la biotita. El desarrollo de foliaciones es generalizado en las rocas de naturaleza pelítica.

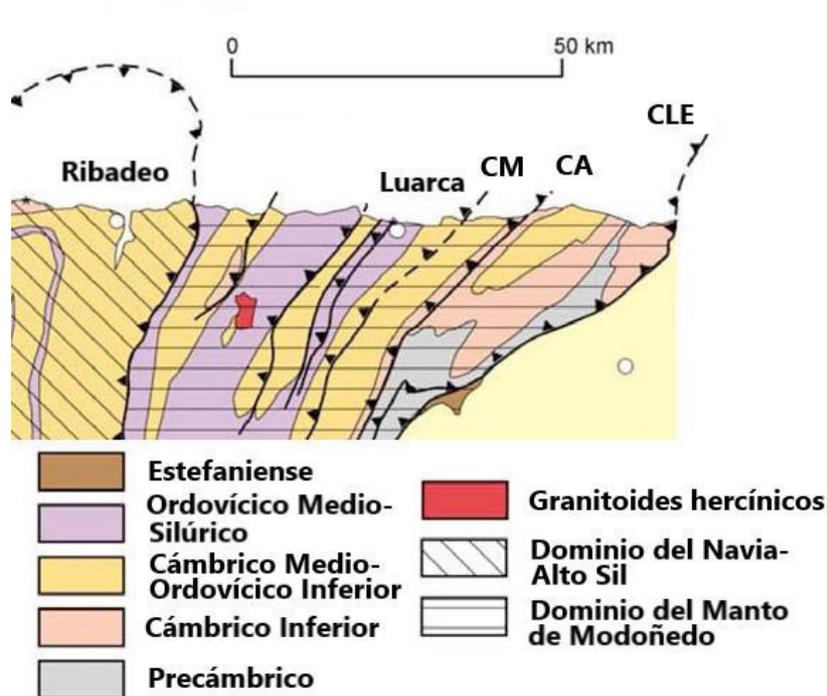


Figura 7. Principales estructuras de la zona de estudio. La discontinuidad más occidental es el cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo (adaptada de Martínez-Catalán *et al.*, 1992). CM: cabalgamiento de Montefurado; CA: cabalgamiento de Allande; CLE: cabalgamiento de La Espina.

Las importantes diferencias de las series cabalgantes (Paleozoico Inferior) y cabalgada (Precámbrico, en el caso de la escama de Allande) en ambos accidentes constituyen otro de los aspectos más característicos de la zona. El cabalgamiento de Allande, posee una disposición geométrica singular, con materiales más modernos sobre otros más antiguos en la traza: este hecho, aparentemente contradictorio, puede ser explicado por la presencia de pliegues apretados anteriores a las fracturas. Las estructuras cabalgantes llevan asociada una zona de cizalla en la que se presenta una deformación dúctil en forma de clivaje de crenulación.



Como se mencionó en el apartado de hidrología, el río Esva posee predominantemente una dirección suroeste-noreste hasta cerca de su desembocadura, donde gira a una dirección sureste-noroeste, coincidente a los sistemas de diaclasado descritos por Marcos (1973) y bien patentes en la hoja correspondiente (Busto, 12) del mapa geológico nacional.

No se han descrito en la zona de estudio estructuras alpinas de importancia; en todo caso, cabe destacar la presencia, evidenciada en la corta El Valle (Belmonte de Miranda), de un cabalgamiento alpino, vergente al noroeste, en virtud del cual los cámbricos se superponen geoméricamente a depósitos terciarios. Este cabalgamiento presenta una dirección noreste-suroeste, coincidente con la de las grandes estructuras regionales y cuenta con una longitud mínima de 10 km y con un salto de al menos 400 m (de Vicente *et al.*, 2007). La existencia de esta estructura, en un contexto geológico semejante al del área de estudio, hace pensar que este tipo de estructuras podrían repetirse en otros sectores, con las importantes implicaciones que para el descubrimiento de acumulaciones minerales tienen.



4. TÉCNICAS INSTRUMENTALES APLICADAS

4.1 MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN (MOP)

El microscopio óptico de polarización (o microscopio petrográfico) permite determinar las características mineralógicas y microtexturales de una roca mediante preparación de láminas delgadas (para minerales transparentes) o secciones pulidas (para los minerales opacos). El equipo, mediante un sistema de lentes, permite amplificar el objeto hasta tamaños en el orden de las unidades de micrómetro. La principal diferencia respecto al microscopio convencional, es la disposición de dos filtros polarizadores: uno entre el condensador y la muestra y el otro entre la muestra y el observador. Con las distintas combinaciones de iluminación, lentes y filtros es posible determinar las propiedades ópticas de los granos o cristales y, por consiguiente, su identificación. La unidad utilizada en este trabajo (laboratorio de Metalogenia de la Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales de Oviedo) es un modelo MDLP de Leica, que cuenta con un revólver que lleva montados cinco objetivos: 5X, 10X, 20X, 50X y 100X (éste último de aceite). El equipo cuenta con una cámara digital para la obtención de imágenes modelo ICC50 W.

4.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Al igual que la anterior, es una técnica de análisis mineral cuyo fundamento reside en el fenómeno conocido como dispersión (o “scattering”) de una radiación X cuando incide sobre la materia. Parte de la radiación X incidente se desvía de su dirección original por interacción con el material irradiado y se recoge en un detector. El máximo de intensidad de la radiación reflejada se alcanza cuando se cumple la ecuación de Bragg, lo que a su vez permite determinar el espaciado entre planos cristalográficos paralelos: dado que el conjunto de espaciados es característico de cada especie cristalina, el diagrama de difracción es propio de cada sustancia cristalina, permitiendo así la identificación de especies. La interpretación es sencilla y muy fiable para fases mayoritarias, pero con frecuencia no concluyente para fases presentes en cantidades inferiores al 3-5% en peso. Obviamente, esta técnica no es aplicable a fases amorfas, pero no tiene limitación en cuanto al tamaño de grano o cristal.

La preparación de la muestra cristalina se obtiene pulverizando la misma en un molino de aros hasta obtener un polvo fino homogéneo, recuperándose para el ensayo la fracción inferior a 63 µm. El equipo utilizado en este trabajo ha sido un difractor de rayos X multipropósito Bruker D8 Discover, de los servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo. Detalles adicionales sobre este equipo se pueden consultar en

<https://www.sct.uniovi.es/unidades/analisis-estructural/difraccionrx/equipos>



4.3 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

La espectroscopía por fluorescencia de rayos X (en adelante, FRX); es una técnica rápida, económica y de carácter no destructivo de análisis elemental de sólidos ampliamente utilizada en investigación minera, minería y metalurgia. Cuando se irradia una muestra con un haz de rayos X, se expulsan electrones de las órbitas internas de los átomos que constituyen la muestra, creando una vacante; idealmente, esta vacante se cubre por el salto de un electrón de una capa superior, que emite el exceso de energía entre ambos niveles (por ejemplo, K y L) en forma de radiación secundaria o fluorescente. De esta radiación secundaria se puede cuantificar tanto la energía asociada como la longitud de onda, dando así lugar a las dos modalidades de la técnica: la espectroscopía por fluorescencia de rayos X mediante dispersión de energía (FRX-EDS) o mediante dispersión de longitudes de onda (FRX-WDS). La energía/longitud de onda de esta radiación secundaria se recoge en un detector de alta resolución (identificando entonces al elemento) y simultáneamente se cuenta el número de señales (fotones) que por unidad de tiempo se producen con esa energía/longitud de onda concreta, lo que permite establecer la concentración del elemento en la muestra.

En el presente trabajo se han utilizado ambas técnicas: la FRX-EDS para la determinación de elementos menores y traza mediante un equipo portátil Niton XL3t GOLDD+ (laboratorio de Metalogenia de la Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales de Oviedo, ver especificaciones técnicas en <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/XL3TGOLDDPLUS>) y la FRX-WDS para la determinación de elementos mayores, en este caso con un espectrómetro PHILIPS PW2404, dotado de un tubo de rayos X con ánodo de Rh con 4 kW de potencia, y 5 cristales analizadores (servicios científico-técnicos comunes de la Universidad de Oviedo, detalles en <https://www.sct.uniovi.es/unidades/analisis-estructural/fluorescencia/equipos>).

4.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Técnica muy versátil, que permite combinar un gran poder de aumento para estudios morfológicos de la muestra con microanálisis a escala de grano de elementos mayores y menores. La excitación de la muestra se realiza mediante un haz de electrones que se propaga por una columna de vacío. En esta técnica se hace uso de los electrones secundarios y de los electrones retrodispersados: mediante la detección de los primeros es posible la obtención de imágenes de gran detalle sobre la morfología de la muestra; por su parte, el registro de los segundos proporciona un marcado contraste en la densidad de los diferentes compuestos presentes, de forma que resultan fácilmente distinguibles. Además, el equipo puede realizar un microanálisis de la superficie barrida en base a espectrometría de dispersión de longitudes de onda (EDS).



Los equipos utilizados en este trabajo han sido sendos Microscopios Electrónicos de Barrido, ambos con cañón de electrones de filamento de wolframio y módulo de microanálisis integrado. Los dos equipos pertenecen a los servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo: el modelo JEOL 6610LV se encuentra en el edificio Severo Ochoa (Campus de El Cristo, Oviedo) y el modelo JEOL JSM 5600, en el Campus de Gijón. Sus características técnicas se encuentran disponibles para consulta en <https://www.sct.uniovi.es/unidades/analisis-estructural/microscopia/equipos>.

4.5 MICROSONDA ELECTRÓNICA (EPMA)

La microsonda electrónica es una técnica complementaria a la microscopía electrónica de barrido: por una parte, carece del poder de microscopía de ésta, pero ofrece a cambio la posibilidad de realizar microanálisis de elementos traza. Su fundamento analítico es similar al utilizado por la fluorescencia de rayos X (FRX), exceptuando que la excitación de la muestra se hace, al igual que en el MEB, mediante un haz de electrones y que el análisis de la radiación X emitida por la muestra se hace mediante espectrómetros de dispersión de longitudes de onda, para lo que resulta imprescindible operar en alto vacío. Una de sus ventajas es la selectividad del punto de análisis, que es válido para volúmenes de unas pocas unidades de micrómetros cúbicos.

El equipo utilizado en este caso es una Microsonda Electrónica CAMEBAX SX-100, de los servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo, que cuenta con cinco espectrómetros WDS, detectores electrones secundarios, retrodispersados y absorbidos y catodoluminiscencia. Sus características técnicas se pueden consultar en <https://www.sct.uniovi.es/unidades/analisis-estructural/fluorescencia/equipos>.

4.6 ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)

El ICP-MS es una técnica de análisis elemental inorgánico que se caracteriza por sus bajos límites de detección, lo que la hace especialmente apta para la determinación de elementos traza. El equipo utilizado en el presente trabajo es un espectrómetro de masas de cuadrupolo tipo ICP-MS con celda de colisión (modelo HP 7500c de Agilent) de los servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo. Sus características técnicas y modo de funcionamiento se detallan en <https://www.sct.uniovi.es/unidades/analisis-quimico/espectrometria/equipos>.

4.7 ABLACIÓN LÁSER ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS (LA ICP-MS)

La combinación de un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente con un dispositivo de ablación láser es una técnica que ha adquirido un gran auge en los últimos años y cuya principal virtud, en lo que al estudio de muestras geológicas se refiere, es la mejora en



resolución analítica que consigue con respecto a la microsonda electrónica. Por el contrario, su selectividad espacial no es tan buena (10-100 μm), y resulta mucho más superficial (penetración en torno a 0,1 μm). La muestra se dispone en una celda de ablación, bajo atmósfera inerte (He o Ar, generalmente) y la acción del láser crea un aerosol a partir del material arrancado que se conduce al espectrómetro de masa por medio de una corriente gaseosa.

El sistema láser utilizado es el modelo Analytes G2 ArF (Photon Machines), de los servicios científico-técnicos del Campus de Mieres. Este láser opera a una longitud de onda de 193 nm y con un límite de potencia de 7 mJ por pulso. Trabaja en el rango de los nanosegundos (4 ns) y dispone de un microscopio óptico de alta resolución acoplado (ver figura siguiente).

4.8 OTROS

Como complemento a las técnicas anteriores, se han realizado puntualmente algunas determinaciones analíticas mediante fire assay (procedimiento Au-AA25, fire assay seguido de espectroscopía de absorción atómica) o ICP-MS (procedimiento ME-MS41L, digestión con agua regia) en los laboratorios de ALS Global (Sevilla). Los detalles de cada método se pueden consultar en <https://www.alsglobal.com/es/geochemistry/geochemistry-fee-schedules>.

A continuación, se muestran algunas imágenes de la preparación de las muestras para los distintos tipos de ensayos, así como el equipamiento utilizado:



Figura 8. A) Resultado de la molienda en seco mediante un molino de aros (2 minutos, 1400 rpm) de una muestra de roca para análisis mediante FRX/DRX. B) Aspectos de las muestras una vez listas para ser sometidas a los ensayos de FRX/DRX. C) Probetas pulidas con muestras de roca para estudios de microscopía óptica de polarización en modo reflexión. D) Probetas pulidas, metalizadas con una monocapa de Au, listas para su estudio mediante microscopía electrónica de barrido (la preparación es equivalente para la microsonda electrónica). E) Celda de ablación del equipo Analytes G2 ArF, con las muestras a estudiar y los patrones.



Figura 9. A) Microscopio petrográfico Leica MDPL (laboratorio de Metalogenia, Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales de Oviedo). B) Analizador portátil mediante fluorescencia de rayos X Niton XL3t GOLDD+. C) Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5600 con módulo EDS Oxford Inca Energy 200 (Servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo, Campus de Gijón). D) Microsonda electrónica CAMEBAX SX-50 en la que se aprecia la configuración de uno de los espectrómetros WDS (Servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo, Campus de El Cristo, Oviedo).



BLOQUE II



5. RECURSOS MINERALES METÁLICOS

5.1 ORO

5.1.1 ORO PRIMARIO

5.1.1.A Introducción

Como es bien conocido, ya desde tiempos del imperio romano, el NW de la Península Ibérica es un área favorable para la prospección de mineralizaciones auríferas. En el contexto regional, y siguiendo criterios prácticos de agrupación de orden geográfico, se han descrito un total de cuatro sectores con indicios de oro: son los distritos de Salave-Porcía y Allande-Ancares en la ZAOL y los de Salas-Belmonte e Infiesto en la ZC. En la síntesis que a continuación se presenta se ha considerado conveniente incluir, además, los de la Unidad del Pisuega-Carrión en la comarca palentina, que también pertenecen a la ZC. Las rocas ígneas que aparecen en estos distritos se corresponden, en general, con intrusiones tipo I, postorogénicas y de tendencia monzonítica que comprenden predominantemente granitos, granodioritas, dioritas y gabros. Esta es una característica común y constituye un rasgo de destacada importancia en lo que respecta a la investigación y exploración de proyectos de oro.

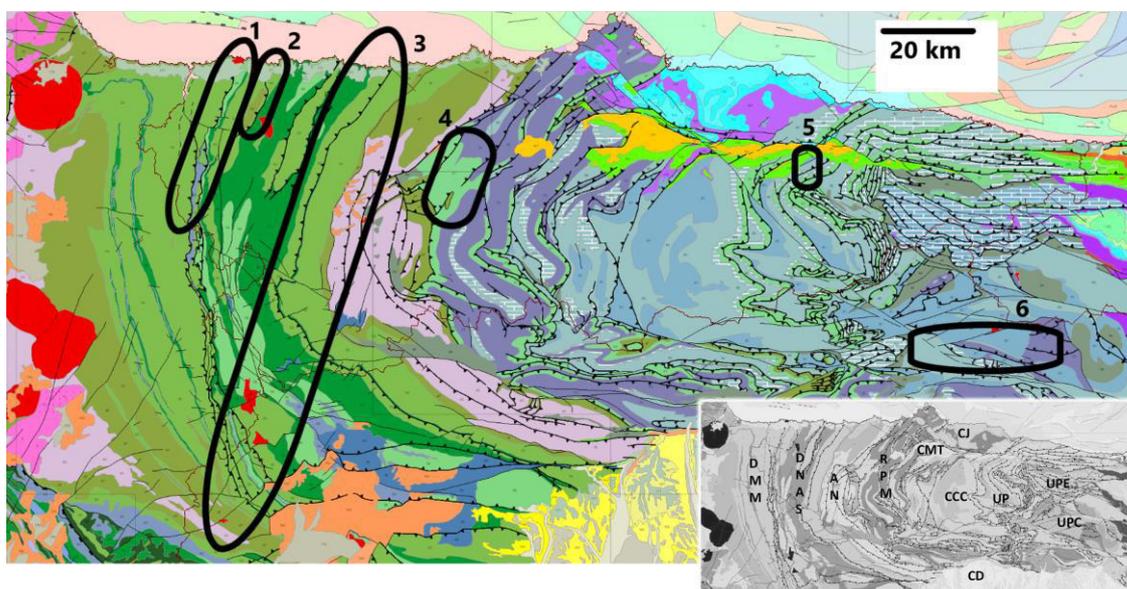


Figura 10. Situación, en el NW de la península, de los distritos auríferos de Salave-Porcía (1-2), Allande-Ancares (3), Salas-Belmonte (4), Infiesto (5) y montaña palentina (6). Adaptado de Gutiérrez-Claverol *et al.*, 1991. Base tomada del mapa geológico nacional continuo. DMM: Dominio del Manto de Mondoñedo (ZAOL); DNAS: Dominio del Navia y Alto Sil (ZAOL); AN: Antiforme del Narcea; RPM: Región de pliegues y mantos (ZC); CCC: Cuenca carbonífera central (ZC); UP: Unidad del Ponga (ZC); UPE: Unidad de Picos de Europa (ZC); UPC: Unidad del Pisuega-Carrión (ZC); CJ: Cuenca jurásica; CMT: Cuenca mesozoico-terciaria de Oviedo.

Distrito de Salave



Se localiza en la zona occidental de Asturias, cerca de la frontera con Galicia, y la mineralización principal aparece en la localidad de Salave, en el municipio de Tapia de Casariego, a unos 35 km al noroeste de la localidad de Navelgas. En general, el sector posee una serie de apuntamientos ígneos con composiciones variables, entre básicos y ácidos. La mineralización –tipo IRGD, ver Rodríguez-Terente *et al.*, 2018- encaja en un cuerpo granodiorítico (330-287 Ma) relacionado con la presencia de alteraciones hidrotermales incluyendo sericitización, cloritización, feldespatización, albitización y carbonatización. Los sulfuros predominantes son arsenopirita y pirita, con zonas con presencia de molibdenita y estibina, encontrándose el Au en forma tanto libre como refractaria, asociado principalmente a la arsenopirita. Estructuralmente, estos cuerpos ígneos se disponen sobre el trazado del cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo, a la altura de la línea de costa actual (el lector interesado en los aspectos estructurales puede consultar detalles adicionales en Gumiel *et al.*, 2008). En la actualidad, existe un proyecto minero en fase de tramitación, en virtud del cual la compañía promotora (Exploraciones Mineras del Cantábrico, filial de Black Dragon Gold Corp.) recuperaría 1,6 Moz con una ley media de 4,27 g Au/t (CSA Global, 2018). Los recursos inferidos sumarían otras 348000 oz. Excluyendo las minas activas del El Valle-Boinás y Carlés, se trata del proyecto más maduro de entre los existentes actualmente para Au en la Península Ibérica.

Distrito de Porcía

En el entorno de la localidad de Porcía, siguiendo la dirección regional NNE-SSW existen unas 15 cortas romanas, sobre el margen oriental del cauce homónimo. Los indicios más importantes son los localizados en Beiral, Arancedo, La Andina, Vaovellón, Vega de Ouria y Brañalibrel, entre otros. La mineralización metálica está compuesta fundamentalmente por arsenopirita y pirita asociadas a pequeños apuntamientos de carácter gabroico, rellenando fracturas y huecos con cuarzo y sulfuros diseminados. Los intrusivos están comúnmente afectados por procesos de hidrotermalismo sobreimpuesto, que es el responsable de algunas alteraciones minerales como silicificación, sericitización y argilitización.

Distrito de Allande-Ancares

Corresponde al sector con mayor número de cortas romanas inventariadas del occidente asturiano, con más de 90 lugares reconocidos, y se solapa de forma parcial con la zona de estudio de este trabajo. Los indicios y cortas están alineados principalmente siguiendo los corredores estructurales de dirección NNE-SSW, donde Gutiérrez Claverol *et al.* (1991) han diferenciado tres cinturones auríferos menores, subparalelos entre sí: el de Valledor, el del Puerto del Palo-Montefurado y el de Allande-Navelgas. La terminación septentrional de estos dos últimos entra en la mitad meridional de la cuenca del río Esva. El cinturón de Valledor incluye principalmente los indicios de Freita Arbosá, Bustantigo, Grobas, Villalaín, Uría, San Antolín de Ibias y Cecos, y se sitúa sobre la cuenca del Navia. El oro se asocia a venas de



cuarzo con arsenopirita, rellenando fracturas. Por su parte, el lineamiento de la Sierra del Palo-Montefurado presenta como indicios más destacados los del Carcabón de Orúa, Montefurado, Xuan Rata, la “fana” de la Freita y Burgazal. Las mineralizaciones en este corredor se presentan, al igual que en el caso anterior y de forma preferente como venas de cuarzo – también con sulfuros tipo arsenopirita y pirita- encajadas en diversos horizontes de la Serie de Los Cabos y asociadas a la estructura regional conocida como cabalgamiento de Montefurado (ver Figura 7). El tercer cinturón, el de Pola de Allande-Navelgas, cuenta con algunas cortas romanas de interés; además de las que se muestran en la Figura 1 se pueden citar las de Cadavedo, Santiago de Cerredo, Lavadoira, Bachicón, Abaniella, Faidiel, San Felix de las Montañas y Monterroso. Todas estas labores antiguas se alinean según una zona de fractura de dirección NE-SW, con frecuentes indicios mineralizados encajados en las calizas de la Fm Vegadeo. Existen apuntamientos de intrusivos al menos en las localidades de Abaniella, alrededores de Navelgas y Monterroso de composición que varía entre gabro y granodiorita en Abaniella y Monterroso, y de tendencia diabásica en el caso de Navelgas. La mineralización se asocia, tal y como se verá en los epígrafes posteriores, a procesos de hidrotermalismo con abundantes fenómenos de silicificación, sericitización y argilitización asociados.

Los cinturones de Pola de Allande-Navelgas y Sierra del Palo-Montefurado han sido investigados a finales del siglo XX: por parte de Río Tinto Minera en los años 70, BP a mediados de los 80 y más reciente e intensamente (1995-2003) por Río Narcea Gold Mines (RNGM). Ninguna de las empresas llegó a proponer proyectos de explotación.

Distrito de Salas-Belmonte

El distrito de Salas-Belmonte se localiza a unos 50 km al W de Oviedo, y a unos 25 km al E de la localidad de Navelgas. Resultan numerosos los indicios y explotaciones romanas, siendo las más destacadas las labores de Godán, Ablaneda, Carlés, La Brueva, Antoñana, Villaverde, Pontigo, Santa Marina, Begega, El Valle, La Rozada, y Boinás. En este sector se ha desarrollado una intensa actividad exploratoria en las últimas décadas, que ha llevado a la puesta en explotación de dos depósitos minerales, en las zonas de Carlés y El Valle-Boinás. Aparecen en este corredor una serie de apuntamientos ígneos a lo largo de 15 km de longitud que se disponen en dirección preferente NE-SW, y que varían en composición de gabros a granodioritas. Estas intrusiones encajan en niveles del Cámbrico en la zona sur del cinturón, y en rocas de edad Devónica al norte del mismo. Dada la persistencia de horizontes calcáreos en las series encajantes, se desarrolla en primer lugar una mineralización de tipo skarn en la que predominan los sulfuros de Cu (esencialmente calcopirita y bornita) a la que sobrepone una cierta actividad hidrotermal tardía, que trae consigo una intensa silicificación y argilitización, con la liberación de cobre nativo y oro libre y que es el evento mineralizador más relevante en términos económicos.



Desde su puesta en producción, las minas de Carlés y El Valle-Boinás han producido al menos 1,5 Moz de Au, existiendo como mínimo una cantidad similar en recursos de diferentes categorías (según www.orvana.com). Este dato proporciona una idea del potencial de los cinturones auríferos del NW de la península

Distrito de Infiesto

El distrito de Infiesto se localiza a unos 40 km al E de Oviedo y a 3 km al SE de la citada localidad, en las inmediaciones de la localidad de Cardes; en este sector aflora un grupo de intrusivos en forma de stocks y sills, los cuales varían en composición desde gabros y granodioritas hasta pórfidos, que se disponen encajados en materiales de edad carbonífera y composición predominantemente calcárea. Se han reconocido al menos tres cuerpos intrusivos, de diferentes composiciones, groseramente alineados según una dirección NE-SW (N55E) y que se pueden seguir durante un trazado de al menos 2,2 km de longitud. Al N de la zona existen materiales cretácicos, discordantes sobre los paleozoicos, por lo que se debe estimar la posibilidad de que existan otros intrusivos cobijados por los sedimentos recientes. Al igual que en el caso de los depósitos de Salas-Belmonte, las mineralizaciones son tipo skarn, con una variada paragénesis de sulfuros de Cu-As (arsenopirita, magnetita, Bi nativo, pirita, cubanita, calcopirita, tetraedrita, esfalerita, boulangerita, galena rica en plata y Au nativo según García Iglesias *et al.*, 1979). Debido al solape de diversos tipos de guías (estratigráficas, estructurales y litológicas) similares a las existentes en zonas donde se han descubierto acumulaciones económicas, el sector de Cardes cuenta con un interesante potencial, siendo hasta la fecha una de las áreas menos investigadas.

Distrito de la montaña palentina

El distrito se localiza en el N de la provincia de Palencia (en el distrito que geológicamente pertenecería a la ZC) y en la esquina NE de la provincia de León, a unos 120 km al SE de Oviedo. Existen en este sector una serie de pequeños apuntamientos ígneos relacionados con estructuras de dirección NW-SE, E-W y NE-SW: los más importantes son los de La Pernía, Camporredondo, Peña Prieta, La Reina y Riaño, y composicionalmente varían de gabros y dioritas a granodioritas. En las áreas de Carracedo, Peña Prieta y Camporredondo se han reconocido (y explotado parcialmente) mineralizaciones tipo skarn, con interés económico principalmente por el Cu. Asimismo, en las localidades de La Reina, Riaño, Boca de Huérgano, Pedrosa del Rey, Burón, Salamón y El Escaro las mineralizaciones, de carácter hidrotermal, presentan un control principalmente estructural (están próximas a la falla de León) y están enriquecidas en As y Sb. En relación al Au, destaca entre el resto el indicio de Salamón, que según Crespo *et al.* (2000) sería un depósito tipo Carlin de edad pérmica. Las paragénesis minerales son ricas en sulfuros (arsenopirita, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, estibina y Au, Ag, Sb y Bi nativos) y en fases supergénicas derivadas de su alteración.

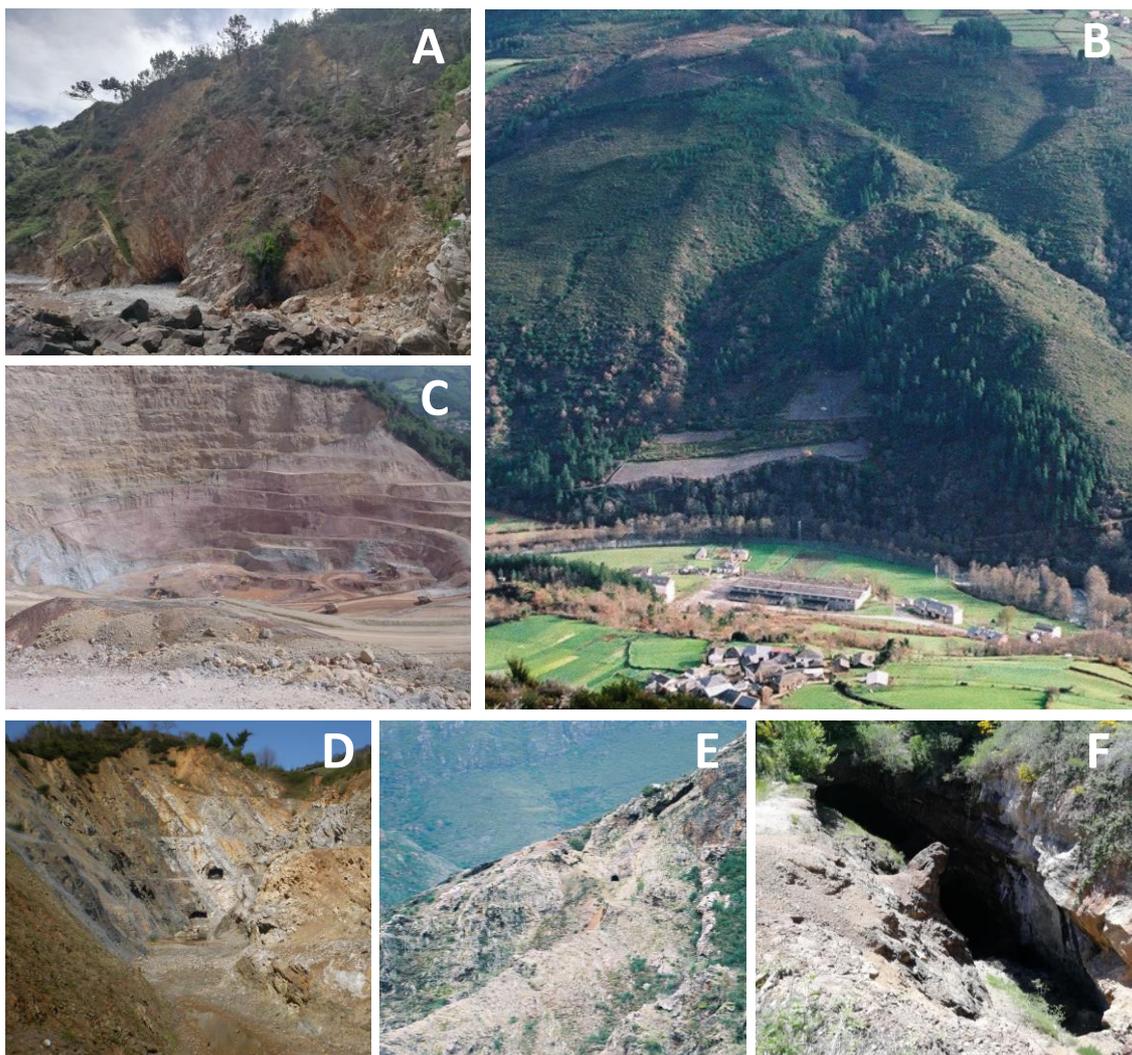


Figura 11. Diferentes aspectos de algunas minas e indicios de Au. A) Playa del Figo (Tapia de Casariego), serie encajante de la mineralización. En primer plano, salida de la galería de desagüe romana (tapada por la vegetación) y galería de exploración. B) Trabajos romanos en las inmediaciones de San Antolín de Ibias. C) Corta Boinás Este, mina El Valle-Boinás (2001, cortesía de RNGM SA). D) Explotación de Carlés Norte (2010). E) Labores de mediados del siglo XX en Penedela (Ibias). F) Antigua explotación a cielo abierto en el skarn de Carracedo (Polentinos, Palencia).

Finalmente, y en relación a la zona de estudio, se debe señalar que, aunque el carácter aurífero de los ríos Navelgas y Bárcena es seguramente el rasgo más destacado de la geología económica de la cuenca del Esva, bien es sabido que se trata de acumulaciones de origen exógeno, ligadas al desmantelamiento de mineralizaciones primarias que deben existir en las partes altas de las cuencas hidrográficas correspondientes. En el caso del río Navelgas, la única mineralización primaria que se conoce con certeza es la existente en la propia localidad de Navelgas, unos cientos de metros al N del río. En el caso del río Bárcena se deben señalar como primarios los indicios de Santiago Cerredo y La Mortera. Los tres emplazamientos, pero especialmente los dos últimos, cuentan con huellas a gran escala de trabajos mineros romanos. En este capítulo se presentan algunos resultados de orden práctico derivados del estudio de muestras recogidas en las zonas de interés.



5.1.1.B Navelgas

Localización y antecedentes mineros

La localidad de Navelgas se localiza al NW del término municipal de Tineo. Desde la capital del concejo, se accede a Navelgas por la AS-217 en dirección a Pola de Allande; a la altura de la localidad de Piedrafita, se toma la AS-218 hasta Bárcena del Monasterio, desde donde el ramal N de la AS-219 conduce directamente a Navelgas. En el Principado de Asturias, pese a ser un núcleo marcadamente rural, disfruta de cierta popularidad, entre otras cosas, por la práctica en el cauce del río homónimo, de la recuperación de oro con batea. Directamente relacionado con lo anterior, en el año 2006 se abrió al público el Museo del Oro de Asturias (MOA).

En los alrededores de Navelgas existen vestigios de explotaciones de época romana, que consistieron en labores tanto de cielo abierto como de interior. Es complicado conocer el volumen y leyes explotadas por cielo abierto, pero parece probable la explotación de las zonas alteradas, argilitizadas y oxidadas de la Fm Vegadeo. La envergadura de la zona explotada podría tener una superficie aproximada de 200·75 metros, elongada en dirección NE y paralela tanto al trazado de la banda calcárea como al del cabalgamiento de Allande. No se han documentado más actividades de exploración o producción hasta los años 50 del siglo XX, cuando la Sociedad Aurífera Asturiana SA (SAA) solicitó un derecho minero y comenzó a lavar las arcillas de relleno de los karst; posteriormente comenzaron trabajos de interior, rehabilitando labores antiguas. Una vez rehabilitados los trabajos romanos, se realizaron labores de seguimiento y transversales con el objeto de situarse bajo las zonas con las principales labores en superficie. En el transcurso de las investigaciones, se localizó una zona de fractura con presencia de oro corroborada mediante datos de análisis y bateo de muestras. La SAA centró sus esfuerzos en esa zona, profundizando un plano inclinado hasta el nivel -10, realizando asimismo diversas chimeneas y reconocimientos. En esa zona llegaron a registrarse valores máximos de 14 g Au/t con una ley media de 7-8 g Au/t. Debido a la imposibilidad de seguir las labores en la zona de brecha, y no encontrar mineralización en los transversales bajo los trabajos superficiales, abandonaron los trabajos de interior y comenzaron a lavar los aluviones del río Navelgas. Para ello emplearon una dragalina, pero debido a los modestos aluviones y al encajamiento del cauce, los resultados fueron negativos, abandonando los trabajos en 1954 con la liquidación de la sociedad. La SAA tenía instalada una planta piloto de tratamiento en la bocamina, en donde el mineral arrancado, una vez machacado y molido, se pasaba por una mesa de plancha de cobre, en donde se amalgamaba con mercurio quedando retenido en el mismo el oro libre contenido en el mineral extraído.

La Real Compañía Asturiana de Minas, a través de su filial CEMIM (Compañía de Explotaciones Minero-Industriales y Marítimas) realizó una campaña de muestreo en cauces de las cuencas de los ríos Navelgas, Naraval y Bárcena en el periodo comprendido entre 1972 hasta 1975. En 1974 decidió rehabilitar la entrada a las galerías existentes, con el objeto de recoger el mayor



número de datos posible y muestrear las labores previas. Las galerías de explotación existentes atraviesan la Fm Vegadeo de muro a techo: se reproducen aquí, literalmente, por su elevado interés, las series que se han descrito por CEMIM:

- Los 12,40 m iniciales corresponden a un paquete carbonatado (calcita y dolomita) blanco con cristales de pirita.
- 8,65 m de dolomía gris oscura a negra y de aspecto pizarroso, fracturada con ligero bandeado.
- 8,15 m de caliza marrón a veces ligeramente verdosa, frecuentemente margosa, con cristales de pirita.
- 1,60 m de caliza gris oscura fresca y compacta.
- 2,30 m de zona de fractura con desarrollo de karst con relleno de calcita.
- 2,00 m de dolomía beige oscura con bandas de cristales de pirita y dendritas de pirolusita.
- 2,60 m de calizas dolomíticas de color beige de grano fino y con presencia de pirita.
- 5,70 m de dolomía beige con cristales de pirita oxidados, dendritas de pirolusita y presencia de fracturas.
- 8,95 m de dolomía gris oscura a negra, ligeramente pizarrosa y bandeada.
- 5,70 m de caliza dolomítica de color beige de grano fino a medio, con bandas de pirita.
- 1,95 m de carbonatos tipo calcita y dolomita con pirita.
- 4,30 m de dolomía marrón masiva con pirolusita y pirita.
- 14,50 m de zona de fractura en carbonatos.
- 2,55 m de dolomía gris con fracturas angulosas.
- 0,85 m de diabasa.

Después de estos 80 m, la serie continúa con dolomías grises de grano fino a medio, con intervalos pizarrosos. Los últimos 25 m pueden presentar un fino bandeado dentro de la dolomía, siendo este tramo final más calcáreo que el resto. La dirección de los estratos está en el abanico entre las direcciones N10E a N60E, buzando hacia el oeste, en coincidencia con las estructuras regionales. El sistema principal de fracturación presenta una dirección N60-65°E y buzamientos que varían desde verticales a 60° al W. En los trabajos de CEMIM (Ruiz, 1975) se describen otros dos sistemas de fracturas: una familia que buza al SE, posteriores a las primeras (las desplazan) y otro sistema de dirección N340-360°E y pendiente hacia el este. Los técnicos de CEMIM también describen el desarrollo de brechas de potencia variable (0,05 a 0,5 m) con presencia de hidrotermalismo con frecuente silicificación, existiendo presencia de sulfuros en las zonas de brecha con diseminación hacia los hastiales. La fractura principal, donde se concentraron los esfuerzos, se sitúa cerca de la base (4-8 m), desarrollándose sobre ella cavidades kársticas parcialmente rellenas de arcillas de descalcificación. Como resultados de estos trabajos, CEMIM recogió un total de 39 muestras, de las que únicamente 5 presentaron indicios de Au: dos muestras tomadas sobre la fractura principal (1,5 y 0,4 g Au/t), otra corresponde al techo de la fractura (0,2 g Au/t) y otras dos situadas en la serie de techo (ambas con 0,2 g Au/t).



A finales del siglo XX se ha tenido constancia de que tanto Riotinto Minera como RNGM investigaron el cinturón Aurífero de Allande-Navelgas. No se dispone de detalles sobre los resultados de Riotinto, pero sí se conocen algunos aspectos de la investigación de RNGM que, en 1998 llevó a cabo una detallada campaña de investigación (cartografía general y de detalle, programa de muestreos geoquímicos sobre la Fm Vegadeo, 3 perfiles geoquímicos NW-SE y estudios geofísicos de magnetometría sobre el área central de las principales labores). Como colofón a esta campaña previa, RNGM realizó tres sondeos con recuperación de testigo para evaluar el potencial de mineralización en profundidad, con un total de 801,40 m perforados. Los detalles de estos tres sondeos se resumen en la siguiente tabla:

SONDEO	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z	DIRECCIÓN	INC	LONGITUD	RECUP.
NAV-1X	699189.880	4809586.850	283.180	115	-50	342,95	95.96
NAV-2X	699421.740	4809759.860	339.060	115	-50	298,45	89.26
NAV-3X	699315.940	4809549.950	338.220	125	-45	160,00	89.09
TOTAL						801,40	

Tabla 1. Emplazamiento y características de los tres sondeos realizados por RNGM en el entorno de Navelgas (RNGM, 1998).

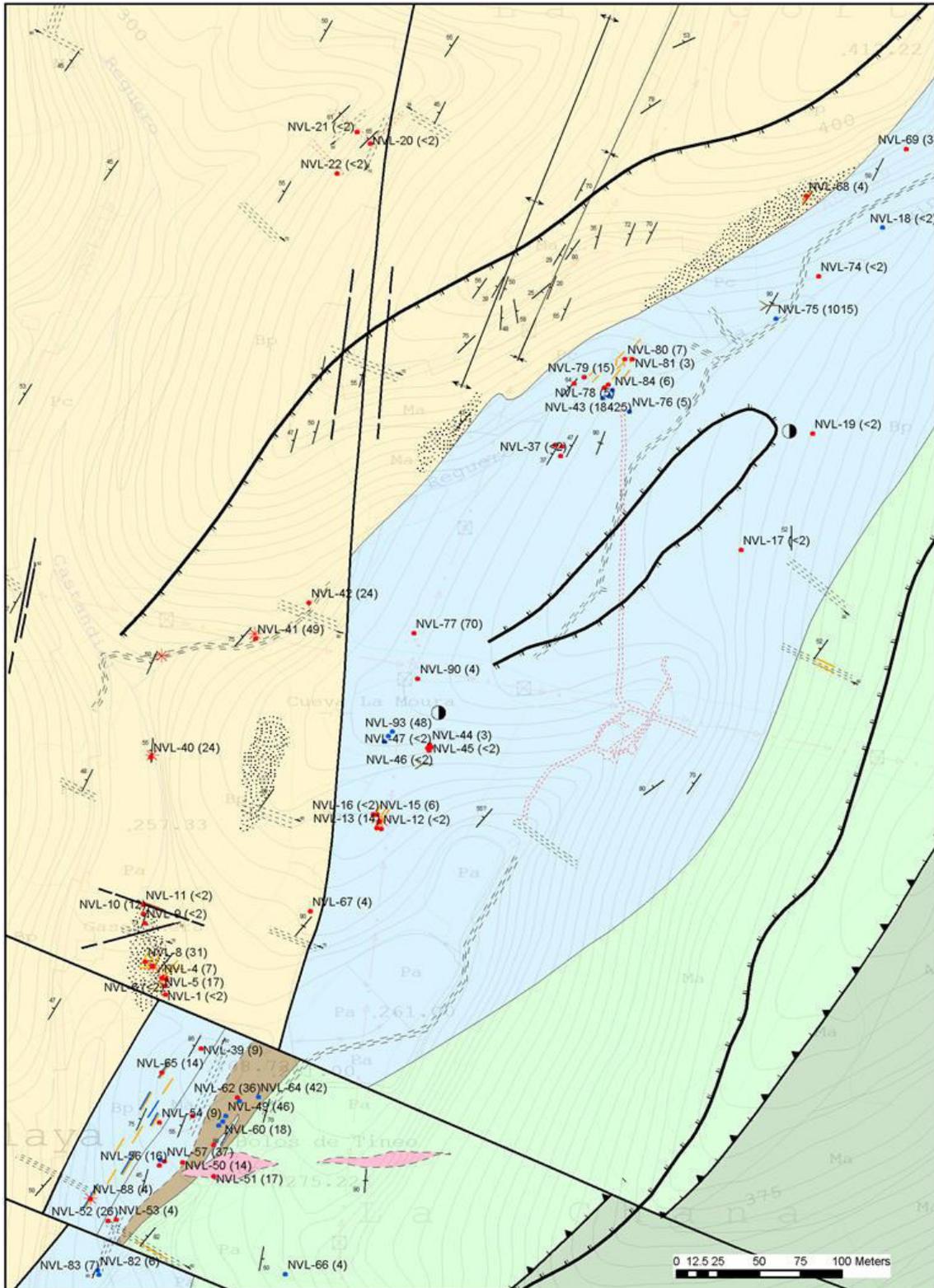


Figura 12. Cartografía de detalle del trazado de la Fm Vegadeo al N de Navelgas (según RINGM, 2002).

El sondeo número NAV-1X interceptó zonas de calizas más o menos recrystalizadas, con zonas brechificadas y sectores con pirita diseminada, pero sin alteraciones ni zonas mineralizadas importantes. Únicamente 2 m (234-236) proporcionaron 108 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de Au, sin valores



destacados de otros elementos. El sondeo NAV-2X realizado a 250 metros al noroeste del primero, interceptó en las partes altas zonas de alteración muy oxidadas, incluso con pirita oxidada. El resto del sondeo cortó unidades calcáreas más o menos brechificadas con pirita diseminada y zonas parcialmente silicificadas. A los 174,7 cortó unos 5 m de intrusivo de carácter básico. Este sondeo proporcionó varios tramos (25,55 m en total) con anomalía subeconómica de Au (entre 123 y 416 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y un curioso tramo (3,30 m, a partir de los 211,90 m) con 2600 mg/kg de Hg. El tercer sondeo se realizó en la misma sección que el primero, pero tratando de cortar las zonas de labores más cerca, a unos 30 m debajo de las mismas. Se interceptó la Fm Vegadeo con zonas de calizas brechificadas, zonas oxidadas y silicificadas y también tramos con pirita diseminada. Los análisis proporcionaron cuatro tramos (un total de 11,35 m) con leyes de Au subeconómicas (364-1132 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Los estudios más recientes son los de Álvarez (2003) y Álvarez y Ordóñez (2010); estos autores señalan que se trata de una acumulación hidrotermal, encajada en la formación carbonatada, que lleva asociadas alteraciones tales como silicificación, dolomitización y cloritización-flogopitización. La pirita es el sulfuro principal, que está acompañado de calcopirita y pirrotina; junto con la pentlandita, que forma mixtos con la pirrotina, constituyen la mineralización sulfurada. Son muy frecuentes las zonas de mineralización alterada, ricas en goethita y hematites. En cuanto al Au, existe en forma nativa, escaso y en partículas micrométricas, y también en forma de Au refractario invisible, detectado por microsonda electrónica en la red cristalina de la pirita en valores medios de 700 mg/kg.

Geología local

La mineralización de Navelgas se localiza al N de la localidad que le da el nombre, en el corredor aurífero de Allande-Navelgas-Esva. Como se ha indicado con anterioridad, los indicios romanos y las antiguas explotaciones se sitúan sobre la Fm Vegadeo, para la cual se acepta, en el contexto regional, un espesor aproximado de 200 m.

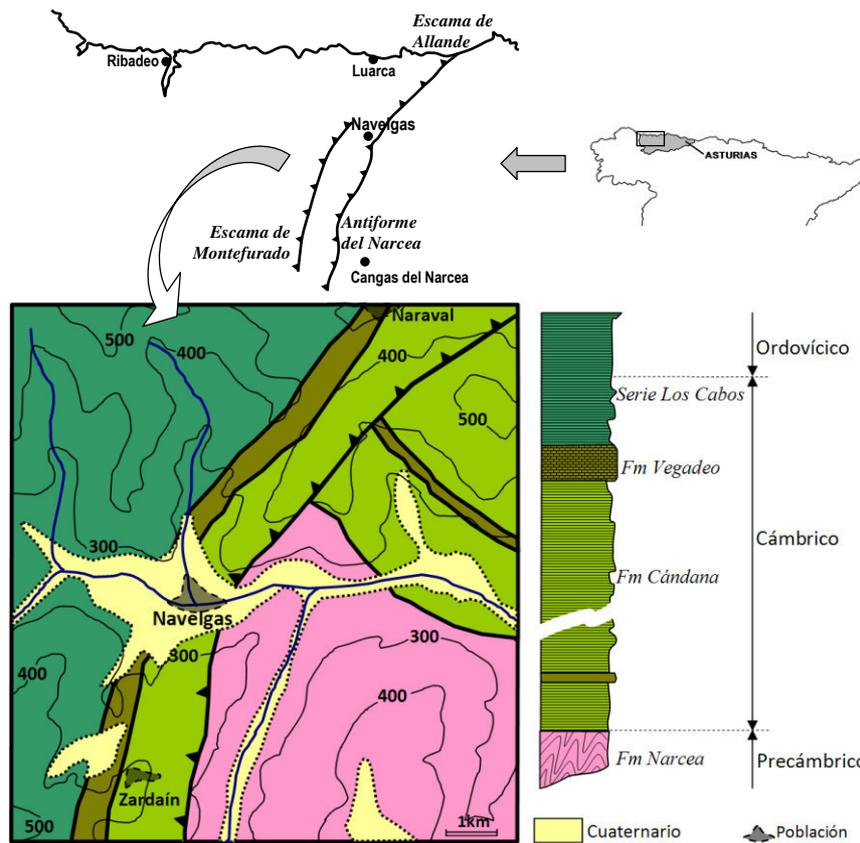


Figura 13. Cartografía simplificada de la localidad de Navelgas y su entorno, según Álvarez y Ordóñez (2010).

Unos cientos de metros al W de la localidad de Navelgas la traza del cabalgamiento de Allande pone en contacto el flanco occidental del antiforme del Narcea con la parte superior de las areniscas y arcosas de la serie de Cándana. En concordancia se superponen, a continuación, al W, la Fm Vegadeo y la Serie de Los Cabos, que son parcialmente recubiertas por los aluviones del río Navelgas, de poco espesor. La geometría del conjunto Cándana-Vegadeo-Los Cabos sigue, en líneas generales la dirección N20-30°E/60-80W, acorde a la estructura regional. La mejor sección de observación para la Fm Vegadeo, parcial en todo caso, se encuentra en los alrededores de la gasolinera de Navelgas, sobre el PK 25,2 de la AS219 y en el recorrido que hay entre ésta y el área recreativa de Entrepeñas (ver Figura 15).

El contacto Fm Vegadeo-Serie de Los Cabos está tectonizado, mostrando una foliación marcada y fracturas abiertas (hasta 4 cm) con presencia de micas (aparentemente términos intermedios entre la moscovita y la biotita) y de precipitados de calcita cristalina. En la siguiente imagen se muestra el aspecto de la caliza cámbrica en el citado punto de observación:



Figura 14. Aspecto en afloramiento del techo de la Fm Vegadeo.

En el talud oriental del camino que conduce al área recreativa (y a la bocamina de las antiguas labores de la mina “Luarquesa”) es posible observar la presencia de las areniscas de la serie de Cándana, coincidiendo el cambio de pendiente con el muro de la Fm Vegadeo. Desde este punto hasta los taludes de la gasolinera, la Fm Vegadeo tendría un espesor real de 177 m, que es el máximo que se le puede asignar a la unidad calcárea en este sector. Resulta bastante evidente que la prolongación al SW de la banda de calizas está sesgada mediante un contacto por falla, tal y como se propone en la cartografía de RNGM (ver Figura 12). Si bien no es posible determinar el trazado exacto de la falla, sí resulta evidente que, de seguir de forma normal su recorrido, se debería encontrar de nuevo la Fm Vegadeo en las casas de La Atalaya donde, sin embargo, aparecen la cuarcitas y pizarras de la Serie de Los Cabos. Anexa a la gasolinera existe una explanada, donde se emplazó en el pasado una industria chacinera, en cuyo talud N se puede reconocer una sección parcial (aproximadamente la mitad superior) de la Fm Vegadeo, y donde resultan bien patentes los fenómenos de karstificación a escala decimétrica, con los huecos rellenos de arcillas que contienen abundante pirita. En muestra de mano es una caliza gris, margosa, con frecuentes fracturas abiertas cicatrizadas con calcita blanca y ocasionales acumulaciones de pirita finamente dispersa.

Como se ha indicado anteriormente, Rubio (2010) propone una cartografía en la que incluye un nivel, de unos 150 m de potencia, concordante entre la Fm Vegadeo y la Serie de Los Cabos, de (lit.) “*sills y diques gabroicos con anfíbol y plagioclasa*” cuya presencia no ha podido ser verificada in situ. También se ha citado (ver apartado anterior) la presencia de este tipo de rocas, interestratificadas en la Fm Vegadeo, en las labores de interior (Ruiz, 1975).

La Serie de Los Cabos se presenta bien estratificada (ver Figura 6.C), en bancos decimétricos de tonos claros (blancos, anaranjados o amarillentos) y con un predominio claro de los



componentes cuarcíticos sobre los pizarrosos, y en ningún caso se ha podido observar mineralización sulfurada sobre la misma.

Estudios mediante microscopía óptica

En este apartado únicamente se incluyen los aspectos novedosos con respecto a trabajos anteriores, con los que no se han encontrado, en líneas generales, diferencias de interpretación significativa (esencialmente, Álvarez (2003) y Álvarez y Ordoñez (2010)), pero con respecto a los cuales sí ha sido posible aportar datos originales y de interés práctico. La totalidad de las muestras a las que se refiere el estudio mediante microscopía óptica y electrónica se han tomado en la sección de la Fm Vegadeo que se puede reconocer entre el campo de bolos y la gasolinera de Navelgas (ver figura siguiente), si bien también se han examinado láminas delgadas y secciones pulidas históricas, tomadas en las labores de interior durante la campaña de CEMIM de 1975, y que se custodian en el laboratorio de Metalogenia de la Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales de Oviedo.



Figura 15. Sección de muestreo de la mineralización de Navelgas. Encuadre horizontal: 370 m. (1) Gasolinera. (2) Restos de antigua industria chacinera. (3) Campo de bolos. (4) Acceso a la antigua mina. (5) vía AS-219. SLC: Serie de Los Cabos. FC: Fm Cándana.

Microscopía óptica de transmisión (roca encajante)

La caliza de la Fm Vegadeo es, ciertamente, una roca microcristalina/cristalina en lámina delgada, con una dolomitización irregular, ocasionalmente importante, y con una importante participación de material detrítico, sobre todo a techo (donde llega a alcanzar el 70%), y con algunos rasgos de metamorfismo de grado bajo (Figura 16.A y Figura 16.B). Los cristales de esparita forman, en el caso más general, texturas en mosaico y presentan carácter equidimensional con tamaños de 100-150 μm de diámetro, habitualmente maclados, con los bordes netos. Entre los cristales de calcita aparecen con mucha frecuencia acumulaciones de



opacos que, por su morfología, constituyen agrupaciones de cristales. En estos casos, es muy frecuente reconocer los hábitos cúbicos de la pirita o sus pseudomorfos de alteración (Figura 16.F). La microfracturación es importante, encontrándose casi siempre sellada, en la mayor parte de los casos por calcita cristalina tardía y, en algunas ocasiones, por material detrítico de tamaño de grano muy fino (cuarzo y filosilicatos, “insolubles arcillosos”). También ocasionalmente se pueden encontrar fracturas, cuya apertura puede ser incluso milimétrica, cicatrizadas con cuarzo que suele presentar tintes rosados en muestra de mano. No se ha observado, en ningún caso, la textura original sedimentaria, así como tampoco se ha podido reconocer la presencia de fósiles.

A pesar de que en trabajos anteriores (Zamarreño y Perejón, 1976) se establece una columna tipo para la Fm Vegadeo en la ZAOL con un miembro intermedio dolomítico, entre las muestras recogidas las evidencias de dolomitización no son abundantes y se restringen a la microescala. En su parte superior, la Fm Vegadeo es, como se acaba de señalar, un calco-esquisto en el cual el contenido en carbonato es casi siempre inferior al 50% de la muestra, y se manifiesta en cristales grandes (150-200 μm) de calcita aislados en una masa de cuarzo en tamaño limo (nunca sobrepasa las 80 μm de diámetro) y filosilicatos, entre los que únicamente se distingue la moscovita (Figura 16.C, Figura 16.D y Figura 16.E). Esta facies también se encuentra mineralizada, y es la más frecuente en el entorno de la gasolinera. Para tratar de conocer mejor los filosilicatos presentes se realizó una determinación de fases cristalinas mediante DRX, obteniéndose como resultado la presencia de cuarzo, calcita, caolinita y goethita.

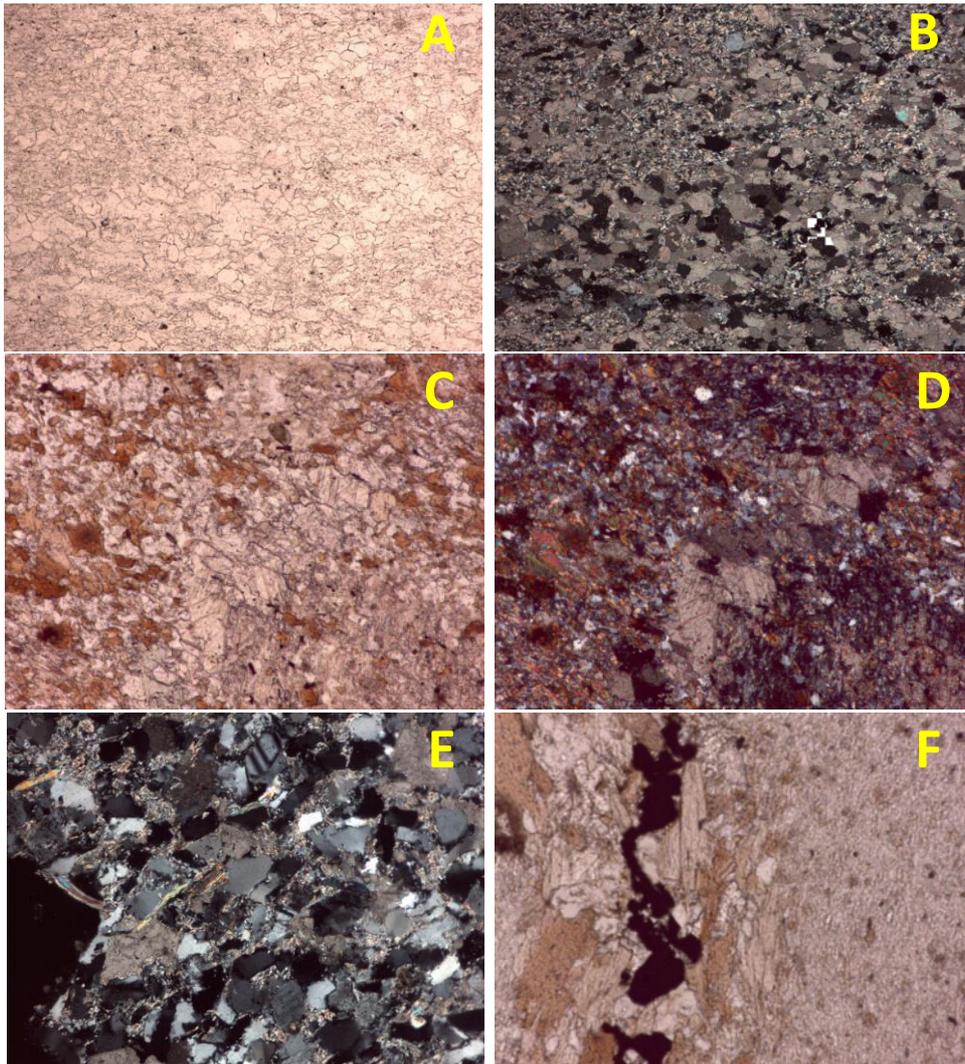


Figura 16. Diferentes aspectos derivados del examen microscópico de muestras de la Fm Vegadeo en la sección entre el campo de bolos y la gasolinera. A) Aspecto típico de la facies más común de la Fm Vegadeo (carbonato cristalino/microcristalino silicificado). B) Imagen anterior, con luz polarizada y analizada. C) Facies de techo: calco-esquistos. D) Imagen anterior con luz polarizada y analizada. E) Detalle de la facies calco-esquistosa: granos de cuarzo, plagioclasa (maclada) y moscovita con cemento carbonatado (imagen con luz polarizada y analizada). F) Diseminación de opacos, ligados a una zona de fractura. Encuadre horizontal: 2,6 mm, excepto para imagen C, que es de 1,3 mm.

Microscopía óptica de reflexión

La paragénesis conocida para esta mineralización es pirita-calcopirita-pirrotina, la última de ellas asociada a pentlandita (Figura 17.A). Como minerales de alteración/supergénicos se conoce la existencia de goethita y hematites que, en su mayor parte, sustituyen a la pirita con diferentes intensidades. También es conocido (Álvarez, 2003) que existe oro refractario invisible asociado principalmente a la pirita.

En el examen de las muestras que se han preparado durante este trabajo, se ha podido comprobar que, siguiendo lo indicado en estudios previos, el constituyente esencial de la mineralización primaria es la pirita, pudiendo diferenciarse dos etapas separadas en el tiempo,



la primera de ellas de tamaño de grano más grueso (hasta superar el mm) y formas subhedrales. La pirrotina y la calcopirita son frecuentes, pero en al menos un orden de magnitud menor que la pirita. Un aspecto curioso es la intensidad de la meteorización de los sulfuros, que suele ser, o bien muy marcada, o bien inapreciable, sin apenas términos intermedios. La alteración de la pirita genera principalmente goethita, que suele respetar la morfología de la pirita original, y en la cual es posible apreciar, ocasionalmente, pequeñas partículas de oro nativo (1-10 μm) a modo de inclusiones minerales (Figura 17.B). Un aspecto relevante y original es la presencia, acompañando a los sulfuros anteriores, de arsenopirita, citada en este trabajo por primera vez en esta mineralización. Se ha observado su presencia, abundante, en dos muestras tomadas en el tercio superior de la Fm Vegadeo. La arsenopirita aparece en asociación con la calcopirita, disponiéndose ambas según la dirección de la estratificación, en las salbandas de una fractura sellada. La arsenopirita, subordinada a la calcopirita en cantidad, muestra un carácter precoz y tamaño de grano grueso (hasta 880 μm). Aparece como cristales subhedrales en el seno de la calcopirita, o en equilibrio con ella, tal como se puede apreciar en figuras posteriores (Figura 17.C-D-E-F). Si se observa con mucho aumento, parece apreciarse una exsolución mineral de otro compuesto (¿cubanita?) en el seno de la arsenopirita (Figura 18.F). Los dos sulfuros parecen reemplazar al carbonato original, y frecuentemente aparecen acompañadas de cuarzo idiomorfo de origen hidrotermal, que también presenta decenas/cientos de μm de diámetro. Este cuarzo, en su mayor parte, presenta evidencias (golfos de corrosión, Figura 17.D) de ser anterior a los sulfuros.

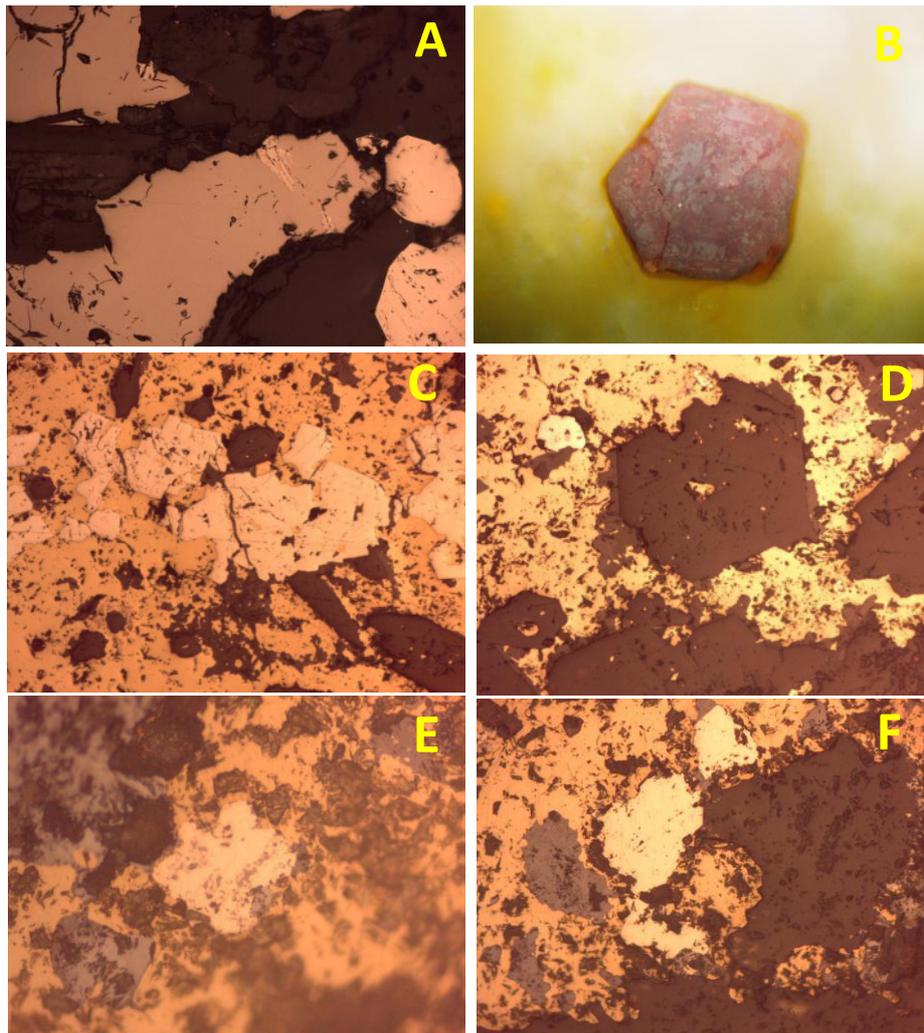


Figura 17. Detalles de la mineralización metálica de Navelgas. A) Pirita (izquierda) y pirrotina con inclusiones de pentlandita (tono más claro). B) Goethita, pseudomorfa de pirita, con una pequeña inclusión de oro en la parte central. C) Calcopirita (dorado) y arsenopirita (subhedral, blanco). D) Cuarzo hidrotermal, con bordes corroídos, en asociación con calcopirita y arsenopirita. E) Calcopirita, reemplazando tímidamente a la arsenopirita y con neoformación de sulfuros secundarios de Cu (tonos grises del primer cuadrante). F: Calcopirita, arsenopirita y mineral no identificado (gris, podría ser calcosina). El encuadre horizontal es de 1,3 mm en la figura C, de 650 μm en las figuras A, D y F y de 260 μm en las figuras B y E.

En las muestras con arsenopirita, la calcopirita es el sulfuro predominante, apareciendo en tamaños que superan ampliamente el mm. Son muy frecuentes los restos del carbonato original en su seno, y su superficie es más oquerosa y peor pulida que la arsenopirita. También aparece otra especie opaca, de color gris y reflectividad media-baja, que acompaña a calcopirita y arsenopirita y que no ha podido ser identificada de forma concluyente (ver Figura 17.F). La calcopirita apenas muestra alteración (Figura 17.E). Localmente, también se ha podido identificar la presencia de pirrotina en equilibrio con calcopirita y arsenopirita, aunque en tamaños muy pequeños.

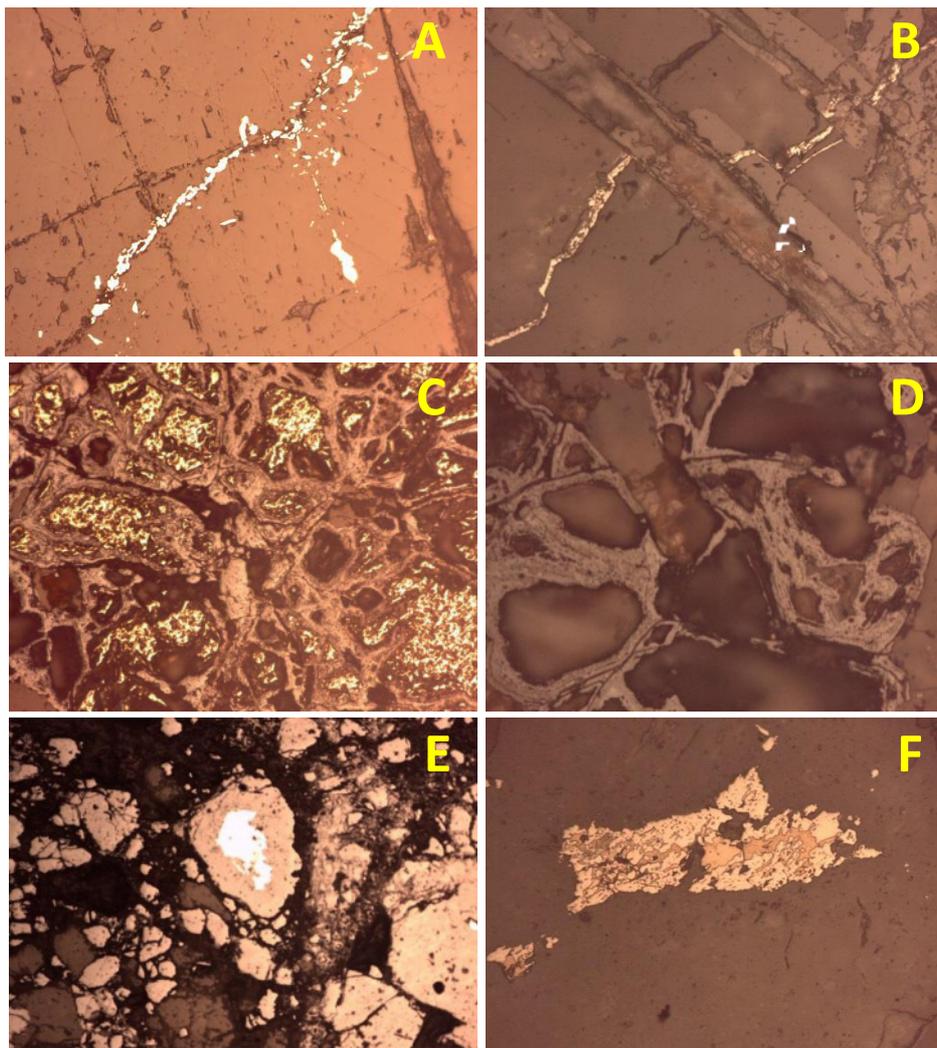


Figura 18. Detalles de la mineralización metálica de Navelgas. A y B) Mineralización de pirita controlada por fracturas C y D) Goethita, secundaria de pirita, con y sin restos del sulfuro original en los núcleos. D) Cuarzo hidrotermal, con bordes corroídos, en asociación con calcopirita y arsenopirita. E). Otro detalle de un avanzado proceso de transformación de pirita en óxidos de Fe. F) Arsenopirita, en asociación con otra fase no identificada de forma concluyente (ver explicación en el texto). El encuadre horizontal es de 650 μm en las figuras A y F y de 1,3 mm en el resto.

En las muestras que contienen arsenopirita, la pirita es menos frecuente, con cristales dispersos, euhedrales y subhedrales, con los bordes algo corroídos y con multitud de imperfecciones superficiales. En pocos casos se han podido observar relaciones de intercrecimiento con la arsenopirita, pero cuando ha sido posible, la pirita se ha mostrado con un carácter temprano. Son frecuentes también, en la roca matriz, más finas, dispersiones de cristales, transparentes pero brillantes, que, a tenor de los resultados de los análisis de la roca total mediante FRX se cree que pueden ser óxidos de Ti.

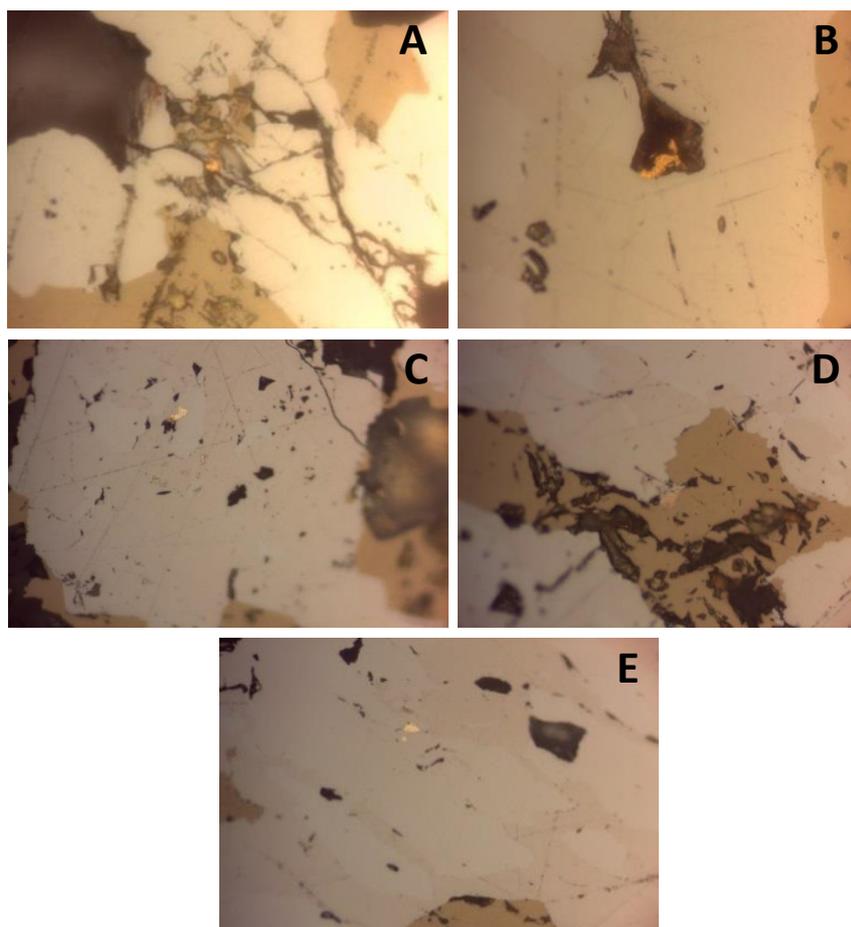


Figura 19. Pequeñas partículas de oro nativo asociado (centro de las imágenes), en diferentes maneras, a arsenopirita y calcopirita (ver detalles en el texto). Encuadre horizontal: 650 μm , excepto para la figura B, que resulta de 260 μm .

En algunas zonas, aunque no es lo más frecuente, se puede observar un claro control de la mineralización de sulfuros por fracturas, sobre todo en zonas ricas en cuarzo (Figura 18.A y Figura 18.B). En las facies bandeadas el único componente de la mineralización metálica es la pirita, subhedral y, menos frecuentemente euhedral, de tamaño de grano milimétrico, en buen estado de conservación, con superficies algo oquerosas y frecuentes rayas de pulido: esta pirita se asocia únicamente a zonas intensamente silicificadas. En las partes más intensamente oxidadas, que se corresponden con tonalidades marrónáceas en muestra de mano, predomina la pirita en claro estado de meteorización, en el que se ve reemplazada por goethita desde las partes externas de los cristales (Figura 18.C y Figura 18.E). En ocasiones, en estas texturas la pirita desaparece completamente, rellenando el hueco la goethita solamente de forma parcial (Figura 18.D): esta goethita presenta la textura típica de una génesis supergénica, en capas envolventes. Como se verá en un apartado posterior, esta goethita presenta una gran similitud con la goethita aluvionar (aurífera) de San Feliz (ver apartado 5.1.2.D).

Los microcristales de Au nativo son muy escasos. A tenor del valor medio de Au refractario indicado en la pirita por Álvarez (2003), la mayor parte del preciado metal en esta mineralización se encontraría en esta forma. En el marco del presente trabajo también se han



realizado algunos análisis con microsonda electrónica sobre el contenido en Au de las piritas, que resulta ser de 625 mg/kg (ver más detalles en el apartado 5.2). En cualquier caso, se debe citar su existencia de forma libre en el encajante carbonatado (1-5 μm), asociado a la goethita (Figura 17.B) y también en las asociaciones calcopirita-arsenopirita, más frecuentemente como inclusión mineral en la segunda (ver Figura 19).

Estudios mediante microscopía electrónica

La microscopía electrónica se ha utilizado en este trabajo como complemento a la microscopía óptica, con objeto de identificar –con ayuda del microanálisis- algunas de las especies que no es posible resolver de manera concluyente con procedimientos ópticos. De forma más concreta, esta técnica ha resultado de gran utilidad en los siguientes casos:

- A) Identificación de inclusiones minerales asociadas a la arsenopirita, de pequeño tamaño.
- B) Identificación de minerales transparentes, fuertemente cristalinos, que acompañan a la mineralización sulfurada.
- C) Determinación de la composición de minerales metálicos distintos a los descritos mediante microscopía óptica.

La arsenopirita, ya descrita en el capítulo anterior, se encuentra asociación con la piritita y la calcopirita, y ocasionalmente presenta inclusiones minerales de una fase de tono muy claro y también muy reflectante. Se puede apreciar en la Figura 20.A. Los puntos de análisis 1 y 2 de la figura superior confirman la estequiometría de arsenopirita y calcopirita, respectivamente, mientras que las inclusiones reflectantes similares al punto 3 resultan ser Bi nativo. El microanálisis 4 resulta no concluyente, dado que presenta cantidades de S, Fe y As que no se corresponden bien con la arsenopirita que, además, sabemos que es el mineral huésped. La Figura 20.B es un detalle del cristal sobre el que se realizó en microanálisis 3 de la Figura 20.A. En la Figura 20.B se pudo confirmar (microanálisis 2) que el componente con mayor densidad electrónica es, en efecto, Bi nativo, mientras que el componente de tono similar a la arsenopirita que acompaña al Bi nativo como inclusión mineral resulta ser lollingita.

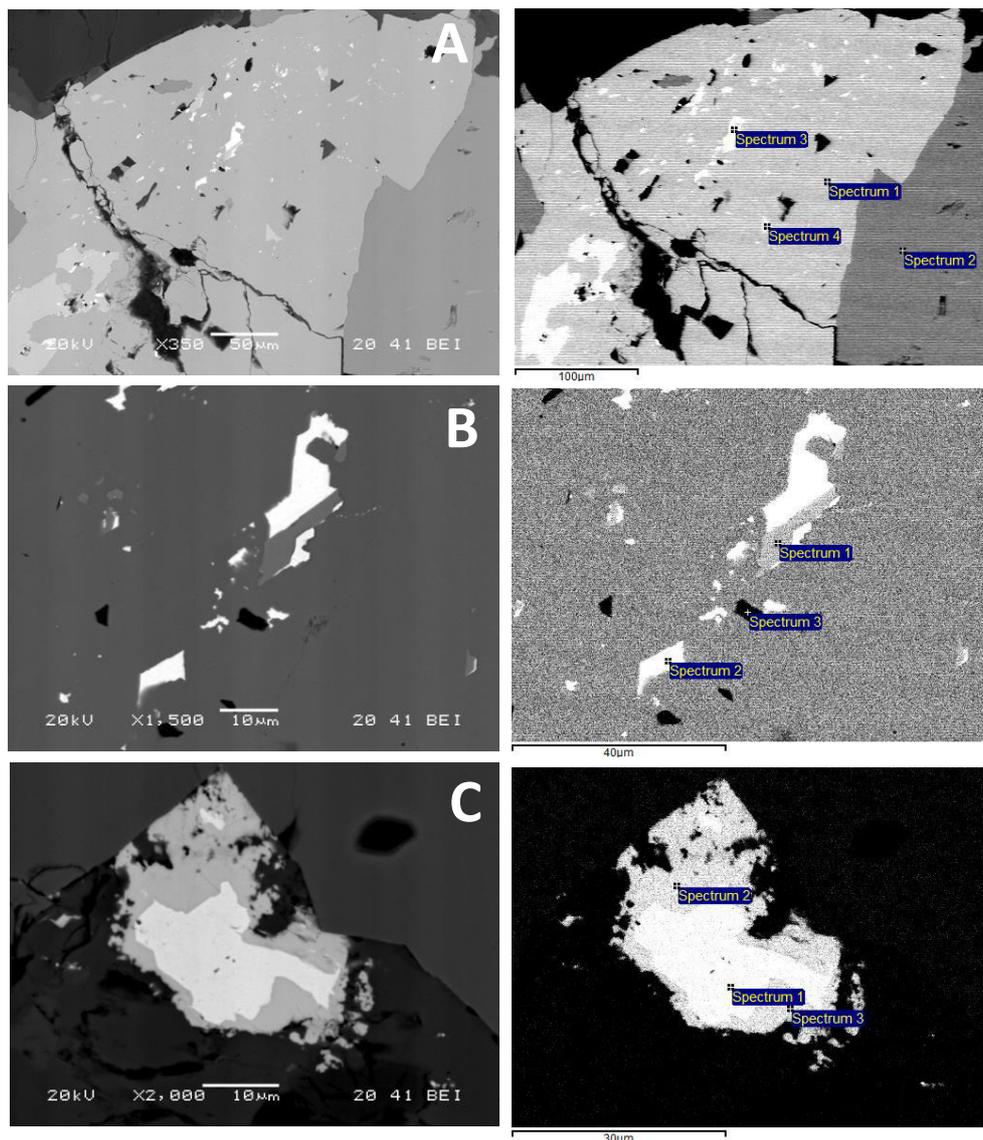


Figura 20. Diferentes formas de aparición de las inclusiones minerales que se asocian a la arsenopirita. Ver explicaciones en el texto.

Aunque de forma muy poco frecuente, el Bi nativo se pudo apreciar cómo en algunos casos que presenta una aureola de alteración, que avanza desde el perímetro externo de los cristales hacia el interior de los mismos, desarrollando un reemplazamiento parcial que deja una isla de Bi nativo en núcleo; este fenómeno se puede apreciar en la Figura 20.C. El microanálisis ha permitido determinar que la alteración del Bi nativo genera bismutinita. Ninguna de las tres fases (Bi nativo, lollingita y bismutinita) había sido citada en esta mineralización hasta el momento.

En otra de las muestras recogidas en la sección de la Fm Vegadeo del entorno de la gasolinera de Navelgas, durante su estudio en una sección pulida mediante microscopía óptica de polarización en modo reflexión han llamado la atención unos cristales grandes, de un mineral transparente, que parece acompañar a la mineralización de sulfuros (ver Figura 18.B). Si se



examina con microscopía electrónica, con detección de electrones retrodispersados es posible diferenciar tres variedades, siendo la primera de ellas muy predominante, y todas ellas portadoras de tierras raras ligeras (La, Ce y Nd). Se muestran en la siguiente figura:

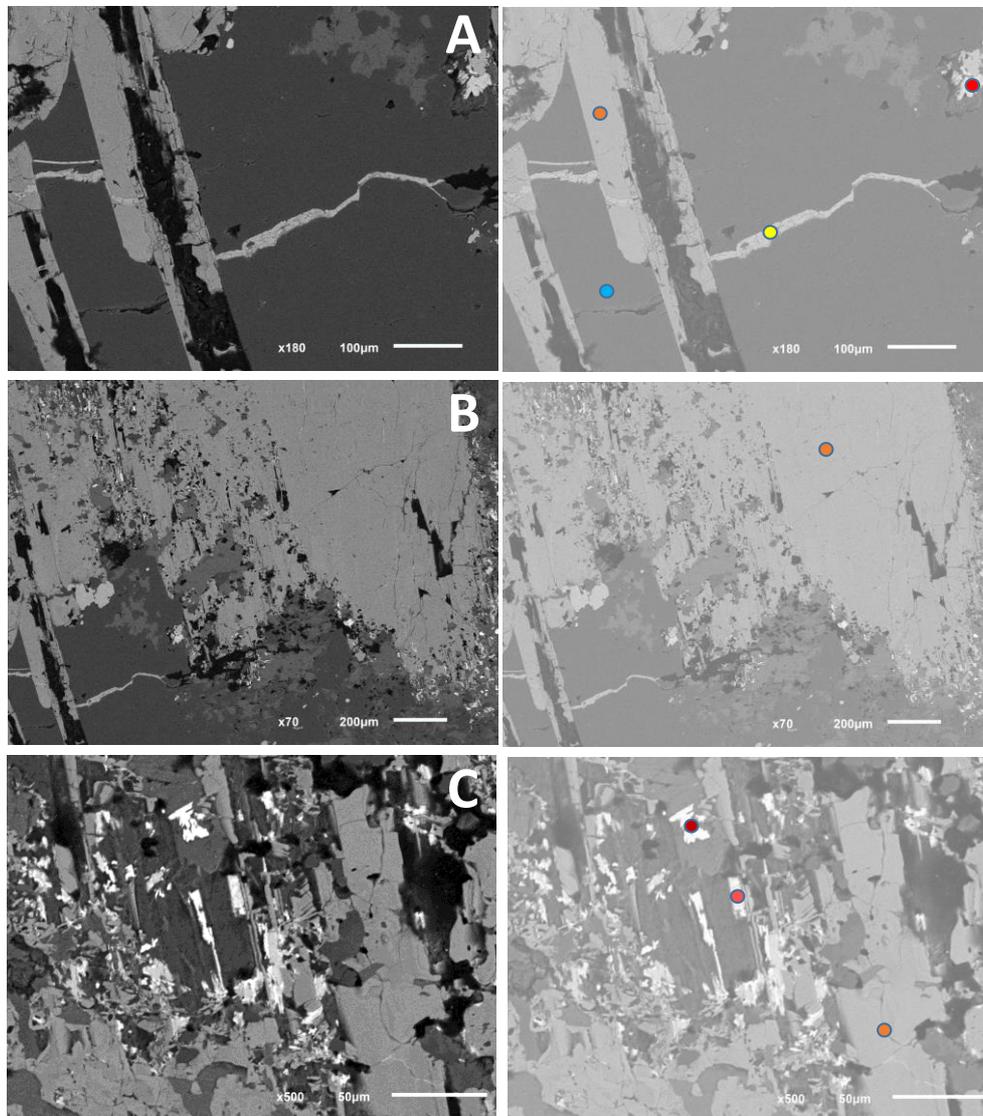


Figura 21. Minerales portadores de La, Ce y Nd. Ver explicación en el texto.

En la Figura 21.A se aprecia un control por fracturas muy claro para las fases con mayor densidad electrónica, que el microanálisis revela que son, por orden de aparición, un silicato de Ca-Fe con La-Ce-Nd (puntos rojo y anaranjado) y, transversalmente, pirita (punto amarillo), todo ello encajado en cuarzo (punto azul), también de relleno de fracturas, aunque este detalle no se aprecie por la escala de observación. El punto rojo/anaranjado señala un carbonato de Ca con F y tierras raras, que podría responder, composicionalmente, al diagnóstico de parisita. El silicato cuenta con Si-O-Al-Ca y Fe como constituyentes esenciales, y presenta valores de Ce-La-Nd (en orden de importancia) inferiores al 5% en cada uno de los lantánidos. El orden de prelación es el mismo en la posible parisita, pero en este caso los contenidos en Ce exceden el 13% y la y Nd se sitúan por encima del umbral del 5%. Los resultados numéricos de estas



analíticas se presentan en el Anexo I. La Figura 21.B es una imagen de la anterior, pero con menor aumento, de tal forma que la ganancia de campo permita poner en contexto el tamaño del silicato de Ca-Fe con tierras raras. Si se observa con más aumento la zona inferior derecha (Figura 21.C), manteniendo el color anaranjado igual que antes, se pueden observar pequeños cristales más reflectantes (punto rojo más intenso) que resultan ser de monacita. Al igual que las anteriores especies de tierras raras, la monacita contiene, por orden de importancia, Ce, La y Nd.

Como se ha indicado en el apartado previo, las partículas de Au nativo son bastante escasas, y no superan en general las 10 μm de diámetro, si bien en algunos casos se han llegado a apreciar algunas que pueden exceder las 20 μm . Tal es el caso de la que se muestra en la figura siguiente: se dispone en matriz de arsenopirita, y el microanálisis mediante EDS que incorpora el equipo ha detectado, en un análisis de área, cantidades apreciables de Fe (1,9%) y As (0,4%). El 97,7% restante es Au, sin presencia detectable de Ag mediante esta técnica.

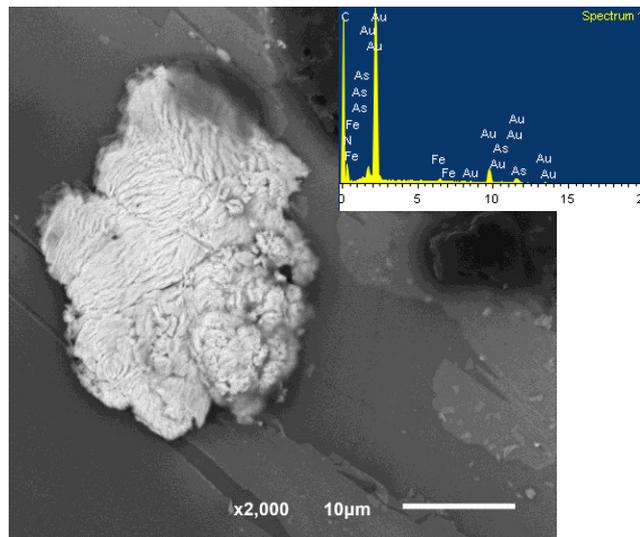


Figura 22. Partícula de oro nativo, con una curiosa textura superficial (inclusión en arsenopirita).

Finalmente, se ha empleado la combinación SEM-EDS para tratar de identificar alguna especie que, en tamaños pequeños, y con presencia cuantitativamente despreciable, aparece asociada a los sulfuros principales (pirita-calcopirita-pirrotina-arsenopirita) y que, como el en caso de Bi nativo, no ha sido posible identificar con garantías solamente mediante microscopía óptica. Los dos casos estudiados se muestran en la figura siguiente: a la derecha se observa una panorámica de los cristales grandes de pirita, a los que se asocian otras dos fases metálicas, y que se señalan con cuadros blancos, mostrándose aumentadas en las imágenes de la izquierda. En la parte superior, las analíticas no ofrecen dudas, tratándose de gersdorfito, sin Co detectable y con contenidos menores de Sb. En la parte inferior, ni siquiera el microanálisis es del todo concluyente: se trata de un sulfuro de Ni con un 7,2% de Fe (*¿violárita?*).

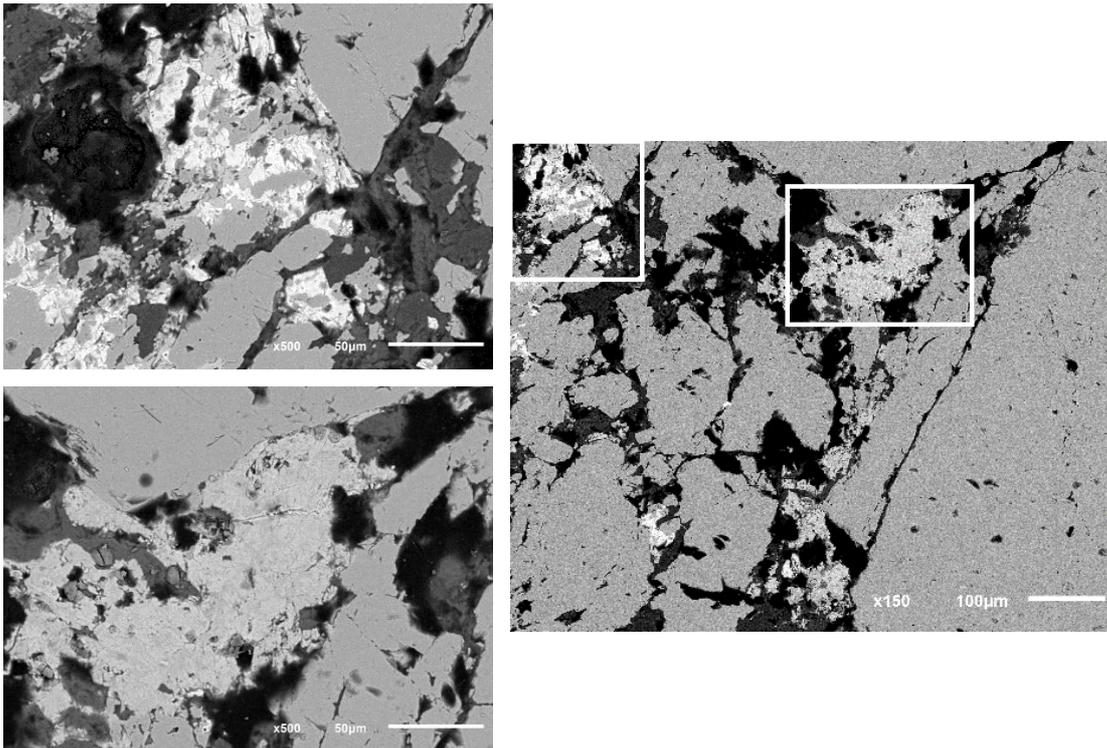


Figura 23. Gersdorffita-Sb (arriba) y posible violarita, en asociación con la pirita (derecha).

Síntesis

La mineralización de Navelgas se ha podido comprobar que, tal y como adelantaron autores anteriores, se restringe a las calizas algo dolomitizadas y recristalizadas de la Fm Vegadeo, que a techo evolucionan a calco-esquistos. Tiene carácter epigenético, naturaleza hidrotermal, cierto control por fracturas y siempre se encuentra silicificada, de forma más o menos intensa. En muestras de afloramiento, presenta dos facies diferentes, una fresca y otra oxidada. Cuando la mineralización está fresca, se presenta en forma de sulfuros finamente diseminados, mientras que la facies oxidada, oscura (marronácea) en muestra de mano, está constituida por goethita y hematites, generalmente pseudomorfos de la pirita original y caolín.

La paragénesis sulfurada conocida hasta el momento era pirita-calcopirita-pirrotina (+pentlandita). La elaboración de este trabajo ha permitido añadir a esa lista arsenopirita, Bi nativo, bismutinita, lollingita, gersdorffita y, con reservas, violarita. La secuencia temporal aproximada que han seguido esos minerales es la siguiente (se indican con un asterisco las identificaciones originales de este trabajo):



Mineral	Fe - Cu - Ni	As - Bi - Au	TTRRS	Supergénico
Pirrotina	—			
Pentlandita	—			
Pirita	■			
Calcopirita	—			
Gersdorfita *	----			
Violarita *	----			
Lollingita *		—		
Bi nativo *		—		
Bismutinita *		—		
Arsenopirita *		—		
Au nativo		----		
Monacita *			—	
Parisita *			—	
Goethita				■
Hematites				—
Calcosina *				----

Figura 24. Secuencia temporal de las especies presentes en la mineralización de Navelgas. Se han separado las asociaciones Fe-Cu-Ni, As-Bi-Au y TTRRS, dado que no siempre es posible establecer sucesiones temporales entre ellas. La monacita y la parisita sí son anteriores a la pirita

Además de los sulfuros y elementos nativos anteriores, se ha podido confirmar la presencia de carbonatos y fosfatos de tierras raras (parisita y monacita), en el primer caso en forma de grandes cristales euhedrales. El tamaño de los cristales de monacita (5-10 µm) no permite realizar una datación de la misma mediante microsonda electrónica. Al margen de los sulfuros y las especies portadoras de tierras raras, existen óxidos de Ti y también ilmenita.

La presencia de Ni (en forma de pentlandita, gersdorfita y, quizá, violarita) resulta relevante desde el punto de vista de la investigación minera y, de forma indirecta, apoya la hipótesis de la existencia de cuerpos intrusivos de carácter básico. Existe, aunque muy escaso, Au nativo que, excepcionalmente puede llegar a 20 µm de diámetro. Puede aparecer libre en los cristales de calcita del encajante y también como inclusión mineral en la mineralización sulfurada, principalmente asociado a pirita y/o arsenopirita.

5.1.1.C La Mortera

Localización y antecedentes mineros

La Mortera es un pequeño núcleo rural que se sitúa unos 6 km al noreste de Pola de Allande y 9 km al suroeste de Navelgas (PK 47 de la AS-219), en el corredor aurífero que podríamos denominar, en función de los resultados de este trabajo, “Esva-Allande-Navelgas”, cerca de la terminación meridional de la cuenca del Esva, sobre la misma divisoria con la cuenca del Narcea. Sobre el límite norte del pueblo se pueden observar en el terreno dos pequeñas excavaciones, de edad posiblemente romana, ambas elongadas siguiendo una dirección N20E según su eje mayor.

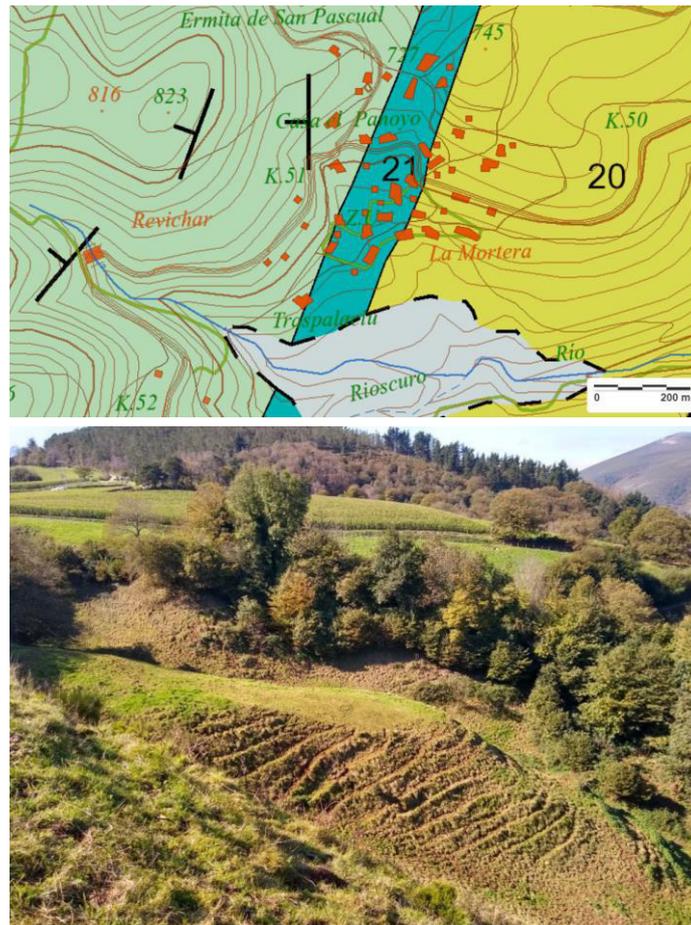


Figura 25. Arriba: extracto del mapa geológico continuo de España (<https://info.igme.es/visor/>) en los alrededores de La Mortera (de oeste a este, Serie de Los Cabos, Fm Vegadeo y Fm Cándana). Abajo: aspecto, desde el norte, de la meseta que separa las dos cortas de La Mortera.

Las excavaciones se encuentran situadas sobre la Fm Vegadeo. Esta unidad posee, en general en este sector, una dirección aproximada coincidente con la señalada para el eje de las cortas. La potencia del conjunto calcáreo es difícil de estimar por la escasez e irregularidad de afloramientos, pero podría superar el centenar de metros. Se adivina un sistema de fracturas oblicuo a la dirección de la estratificación, de dirección N20W.

No se tiene referencia desde trabajos de investigación minera en esta zona desde la época romana hasta finales del siglo XX, cuando Río Narcea Gold Mines investigó y realizó diversas tareas de exploración, que culminaron con la realización de dos sondeos con recuperación de testigo: uno en el año 1996 y otro, mediante un "Joint Venture" con Barrick Gold, en el año 2000. El metraje de los dos sondeos en conjunto fue de 579,95 metros. Las características de los sondeos de La Mortera (MOR), incluidas las coordenadas de los collares en el datum ETRS 89, se pueden ver en la siguiente tabla:



SONDEO	X _{UTM}	Y _{UTM}	Z	DIRECCIÓN	ÁNGULO	PROFUNDIDAD
MOR-2	696181	479901	659	155	-45	299.80
MOR-1	695924	4799362	731	300	-45	280.15

Tabla 2. Emplazamiento y características de los dos sondeos realizados por RNGM en La Mortera (RNGM, 2005).

No se dispone de los resultados numéricos derivados de estos dos sondeos, pero sí es sabido que el sondeo número 2 de La Mortera interceptó varios niveles métricos de intrusivos de carácter básico, hecho que fue confirmado en el reconocimiento de campo, tal y como se detalla un poco más adelante.

Reconocimiento de campo

La principal limitación en el estudio de este emplazamiento es la práctica inexistencia de afloramientos. Sobre las antiguas cortas romanas actualmente hay prados de siega, limitándose los pocos afloramientos parciales reconocibles a zonas de talud muy alteradas y a un gran bloque suelto de caliza dolomitizada (se señala con una flecha en la Figura 26.A). En la siguiente imagen se puede ver, en la pared de una de las cortas, una zona de falla de 25 cm de potencia y dirección N20W, con un sector más caolinitizado a la izquierda, compuesto de arcillas (Figura 26.B y Figura 26.C). Esta facies oxidada y caolinitizada es la que se ha podido muestrear y constituye, por lo tanto, objeto de estudio en el presente trabajo. Se puede observar, en otro afloramiento próximo, la transición de la serie calcárea de dolomías cristalinas sanas a una dolomía oxidada y limonitizada por proximidad a una zona de fractura. La Figura 26.D muestra esa transición, siendo el pico del martillo el punto aproximado que marca la transición entre la zona fresca y la alterada. Se puede observar, además, la presencia de venillas de calcita subparalelas al contacto entre los dos tipos de dolomía. En la parte norte de la corta se ha localizado un pequeño afloramiento con la posible presencia de rocas intrusivas (con biotita reconocible de visu) en el punto X_{UTM}= 696120, Y_{UTM}=4799981 (ETRS89, huso 29).



Figura 26. A: el punteado amarillo señala los límites del conjunto de las dos cortas (encuadre horizontal aproximado: 335 m). La flecha amarilla señala un gran bloque suelto (ver texto). B y C) Detalle de la facies caolinitizada y alterada. D) Límite neto entre la dolomía fresca y alterada, en muestra de mano.

Durante el reconocimiento de campo se han recogido varias muestras, la mayor parte fragmentos sueltos encontrados en la parte interior de las cortas romanas, que se han podido agrupar en 6 conjuntos: calizas, dolomías, rocas porfídicas alteradas (podrían indicar la presencia de cuerpos intrusivos superficiales) y “rocas residuales”. Dentro del conjunto de rocas residuales, se han podido diferenciar, a su vez, tres tipos, que se han denominado, por su aspecto en muestra de mano “ferruginosa”, “oxidada” y “caolinitizada”. Las dos últimas son las que se muestran en la Figura 26.B y Figura 26.C, en tonos oscuro y claro, respectivamente.

Análisis elemental

Las 6 muestras a las que se acaba de hacer referencia fueron debidamente preparadas en el laboratorio (secado, cuarteado y pulverizado), tras lo cual se analizaron mediante FRX-EDS. Los resultados se muestran en la siguiente tabla. Los valores de Mo, Pb, Se, Hg, Au, W, S, Te, Sb, Sn, Cd, Ag y Pd se situaron, para todas las muestras, por debajo de los límites de detección de la técnica y no se muestran en la tabla de resultados.



MUESTRA	1	2	3	4	5	6
Zr	99.24	636.49	69.94	10.34	75.38	833.28
Zr Error	3.85	9.67	3.63	2.58	4.64	8.41
Sr	214.59	545.03	85.89	118.39	2.92	17.35
Sr Error	4.42	8.33	3.27	3.54	1.89	1.62
U	< LOD	< LOD	< LOD	7.42	< LOD	5.98
U Error	6.39	8.42	5.81	3.73	11.27	3.68
Rb	40	4.22	8.83	< LOD	27.33	17.58
Rb Error	2.48	2.45	1.89	2.17	4.69	1.88
Th	< LOD	20.37				
Th Error	3.72	6.63	4.26	3.52	13.02	3.32
As	17.88	38.57	26.96	11.1	107.6	42.67
As Error	2.67	4.49	3.18	2.62	8.76	3.42
Zn	93.03	151.31	13.57	11.04	28.61	< LOD
Zn Error	8.05	11.73	5.67	5.1	8.97	7.19
Cu	162.27	41.25	18.16	< LOD	110.14	301.59
Cu Error	13.12	12.64	10.43	14.04	19.1	15.57
Ni	62.99	< LOD	112.43	62.34	575.03	< LOD
Ni Error	24.92	51.07	29.23	26.51	52.15	35.03
Co	< LOD	201.13	< LOD	108.56	< LOD	< LOD
Co Error	80.96	132.84	112.77	57.1	428.42	72.98
Fe	23476.58	100315.8	37832.35	22960.77	358483.41	19412.49
Fe Error	188.77	467.24	272.54	197.71	1062.32	169.21
Mn	672.62	1142.67	10010.64	1271.78	29523.61	702.96
Mn Error	48.43	80.74	177.65	64.77	397.83	47.9
Cr	77.24	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	76.22
Cr Error	14.19	32.86	23.47	21.5	59.91	15.07
V	52.41	181.65	56.8	35.77	364.87	123.84
V Error	21.92	78.79	24.84	18.55	90.92	35.34
Ti	836.87	19749.56	555.02	< LOD	5139.68	5400.74
Ti Error	61.3	233	64.72	86.33	225.93	97.56
Sc	597.64	< LOD	497.12	1081.51	< LOD	34.59
Sc Error	103.99	56.06	102.79	154.71	53.73	18.69
Ca	167669.8	10348.33	137281.2	300862.3	< LOD	3623.71
Ca Error	686.78	230.94	675.68	1018.63	270.37	114.27
K	16967.71	3429.99	5854.93	1017.36	15404.74	2988.34
K Error	338.67	202.56	253.03	247.56	532.64	134.04
Ba	< LOD	< LOD	88.55	117.31	257.09	< LOD
Ba Error	49.96	51.57	35.15	35.74	45.68	37.32

Tabla 3. Resultados del análisis elemental de las muestras recogidas en La Mortera. 1: Dolomía; 2. Fragmento alterado de posible origen ígneo (oscuro y porfídico); 3. Caliza; 4. Roca residual ferruginosa; 5. Roca residual oxidada; 6. Roca residual caolinitizada. Todos los resultados están expresados en mg/kg. <LOD: por debajo del límite de detección.

De la tabla anterior se desprende que ninguno de los contenidos en elementos de interés económico es muy destacable. Se han sombreado en color azul los valores que merecen un comentario adicional y, tal y como se puede observar, únicamente las muestras 2 (posible intrusivo) y 5 (roca residual oxidada, ver Figura 26.B, posición del martillo) presentan cierto interés. En el caso de la muestra 2 son los contenidos en Fe y Ti, ambos en el orden de elementos mayores (10% de Fe, 1,97% de Ti), los que destacan. En el caso de la roca residual oxidada, el contenido en Fe es muy elevado, y también, en menor medida, el de Mn, totalizando entre ambos un 38,83% en peso (55,47% en Fe₂O₃ equivalente). También proporciona una cierta señal, débil, en Ni. Lo que llama la atención no es el valor de Ni en sí (575 mg/kg), pero sí que se encuentre en una muestra gossanizada. Debido a las limitaciones



de la técnica empleada para el Au (límite de detección entre 5 y 10 mg/kg), estas dos muestras fueron enviadas a un laboratorio externo para determinar su contenido en Au mediante fire assay (ver <https://www.alsglobal.com/es/geochemistry/precious-metals-analysis/gold-by-fire-assay>), resultando de 0,02 mg/kg para la muestra 2 y de 0,01 mg/kg para la muestra 5.

A pesar del escaso interés por el contenido en Au, se ha considerado oportuno estudiar con un mayor detalle las muestras número 2, 5 y 6 por su probable origen endógeno, y por dilucidar a que es debido el elevado contenido en Ti.

Determinación de especies cristalinas mediante DRX

Las muestras 2, 5 y 6 se ensayaron mediante DRX (40 mA, 45 kV, ánodo de Cu, ver listas de picos y fichas aceptadas en el Anexo II) con el siguiente resultado:

- Muestra 2 (¿intrusivo?): cuarzo, albita y clorita.
- Muestra 5 (roca residual oxidada): cuarzo, caolinita y montmorillonita.
- Muestra 6 (roca residual caolinitizada): cuarzo, caolinita y moscovita.

Resulta, a priori, sorprendente la ausencia de compuestos de Fe en la muestra 5; la única explicación que conjugaría la validez de los resultados de FRX-EDS y DRX es que el Fe aparezca en compuesto poco o nada cristalinos. Con objeto de profundizar un poco más en el conocimiento de la muestra 2, y dado que el origen del Ti queda sin resolver, se realizaron estudios mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica.

Microscopía óptica de polarización

La muestra 2 es, en efecto, una roca cristalina, que en lámina delgada muestra un tamaño de grano medio y una meteorización avanzada. El constituyente esencial es la clorita, secundaria, que aparece en cristales subhedrales, en ocasiones tirando a anhedrales, que llegan a las 250 µm de diámetro. El cuarzo y la plagioclasa son también abundantes; el primero suele estar bien conservado, pero la segunda se encuentra bastante alterada, con los bordes corroídos. Además de la marcada alteración, el otro rasgo más destacable de la muestra es la presencia en cantidad importante de opacos, grupo dominado por cristales euhedrales y subhedrales de hábito acicular, íntimamente asociados a la clorita. Es un hecho conocido que, en la transformación de biotita a clorita, el Ti de la primera no suele encontrar acomodo en la red cristalina de la segunda, formándose óxidos de Ti en los planos de exfoliación, por lo que estos opacos constituyen, como se probará a continuación, las especies portadoras de Ti. Un ejemplo de la textura microscópica representativa de la muestra se puede ver en la figura siguiente:

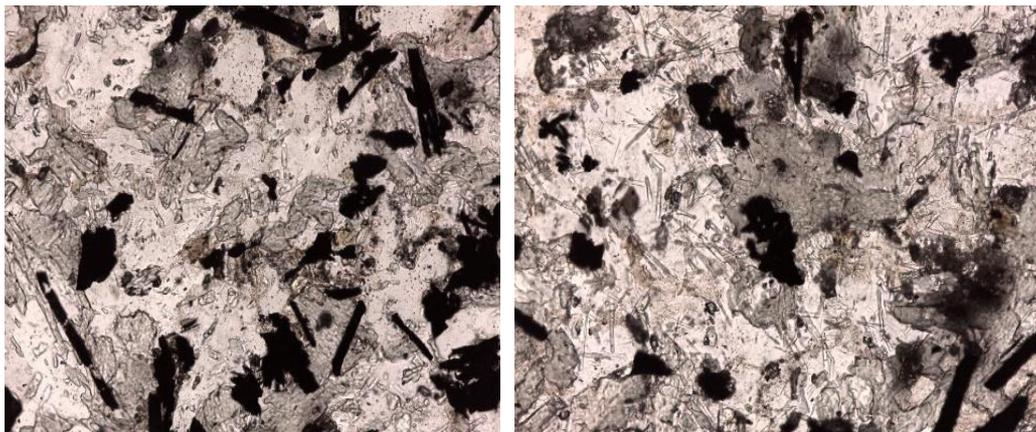


Figura 27. Aspecto, en lámina delgada, de una muestra de roca intrusiva recogida en las explotaciones romanas de La Mortera. Encuadre horizontal de las imágenes: 1,3 mm. Nótese la importancia cuantitativa de los opacos.

Microscopía electrónica de barrido

Únicamente se ha utilizado el SEM-EDS en esta muestra para verificar la naturaleza de los opacos que se pueden ver en la figura anterior, y confirmar su contenido en Ti. En las imágenes siguientes se muestran sendas vistas de la superficie de la muestra:

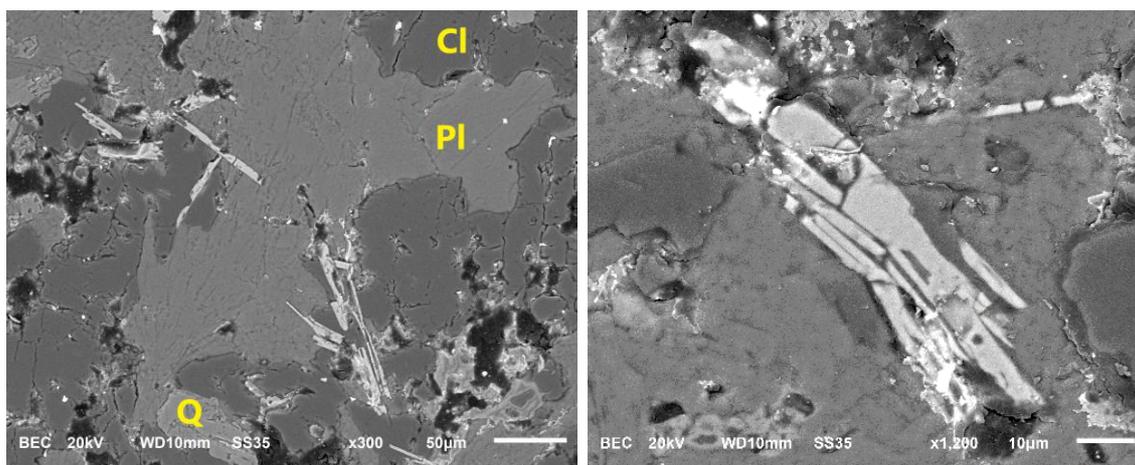


Figura 28. Izquierda: imagen tomada con electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. Los cristales aciculares son los opacos de la figura anterior (CI: clorita; Q: cuarzo; PI: plagioclasa). Derecha: detalle de un cristal de ilmenita (ver explicación en el texto).

El microanálisis sobre la parte intermedia, más limpia, del cristal acicular de la Figura 28 derecha proporciona contenidos en torno al 30% tanto de Fe como de Ti, siendo el resto oxígeno: el diagnóstico es, por lo tanto, concluyente, tratándose de ilmenita.

5.1.1.D Santiago Cerredo

Localización y antecedentes mineros

La localidad (caserío) de Santiago Cerredo se sitúa a media distancia entre las poblaciones de Pola de Allande (al S) y Navelgas (al N), a unos 7,5 km de cada una de ellas, y a 1,5 km al NE



de La Mortera, desde donde se accede. También se llega a través de un desvío al N que sale del PK46 de la AS-219, justamente tras abandonar Samblismo. Al igual que ocurre en La Mortera, es visible la presencia de cortas romanas, igualmente elongadas en dirección NE-SW y de aproximadamente 1 km de longitud, hoy totalmente cubiertas de vegetación. En la siguiente imagen se puede reconocer, por la diferente vegetación, la zona de cortas al E y NE de la localidad de Santiago Cerredo.



Figura 29. Vista aérea del sector de Santiago Cerredo, señalando en color rojo la planta de los sondeos realizados por RNGM.

La investigación minera conocida en este sector se debe a principalmente a RNGM, aunque otras empresas del sector realizaron algunos muestreos anteriormente, así como geoquímicas de suelos y arroyos y campañas de geofísica terrestre y aerotransportada. En la actualidad, se dispone de una detallada cartografía y de cierta información relativa a tres sondeos con recuperación de testigo que se llevaron a cabo por RNGM en los años 1996 (sondeos SCR 1 y SCR 2) y 2000 (sondeo SCR 3). Los sondeos SCR 1 y 2 se realizaron de SE a NW para interceptar el objetivo debajo de la corta principal, mientras que el sondeo SCR 3 fue realizado de NW a SE en la misma sección que el sondeo SCR 1. El metraje total de los tres sondeos realizados ascendió a 1030,80 metros. Las características de los sondeos, incluidas las coordenadas de los collares en el sistema ETRS 89, se pueden ver en la siguiente tabla:

SONDEO	X _{UTM}	Y _{UTM}	Z	DIRECCIÓN	ÁNGULO	PROFUNDIDAD
SCR-1	696727	4800937	561	300	-45	127.95
SCR-2	696680	4800801	594	300	-45	293.35
SCR-3	696435	4801129	646	120	-50	609.5

Tabla 4. Emplazamiento y características de los tres sondeos realizados por RNGM en Santiago Cerredo (RNGM, 2005).



Los resultados de los sondeos, a pesar de haberse intersectado en todos ellos zonas de brechas oxidadas con presencia de cuarzo y jasperoides, además de diseminaciones de pirita en las zonas donde la oxidación no había destruido los sulfuros primarios, no se consideraron suficiente para continuar con la investigación. Todo ello, a pesar de que en varios tramos se detectaron indicios de Au. Así, en el sondeo SCR-1 se interceptaron dos tramos con valores medios de 1,48 mg Au/kg (del metro 46 al 47,5) y 0,44 mg Au/kg (del metro 75 al 79,9). Los valores máximos del sondeo SCR-2 son algo más pobres (0,19 y 0,18 mg Au/kg, respectivamente en los tramos 9,3-12,7 y 116,4-118 m), mientras que el sondeo SCR-3 proporcionó los mayores contenidos en Au (1,41 mg/kg en el tramo 494,4-499,8 m y 2,42 mg/kg entre los 508,9 y los 509,9 m). Lamentablemente, no se dispone de muestras procedentes de dichos sondeos para un detallado estudio de mineralogía y geoquímica. En cualquier caso, sí se ha podido consultar la cartografía que, con dichos resultados, se elaboró por el equipo de geología de RNGM, y que se muestra en la siguiente figura. Los colores azules corresponden a las unidades calcáreas de la caliza de Vegadeo mientras que las verdes corresponden a las unidades siliciclásticas. Los colores marrones son las brechas arcillosas y jasperoides oxidadas donde encajaría la potencial presencia de Au.

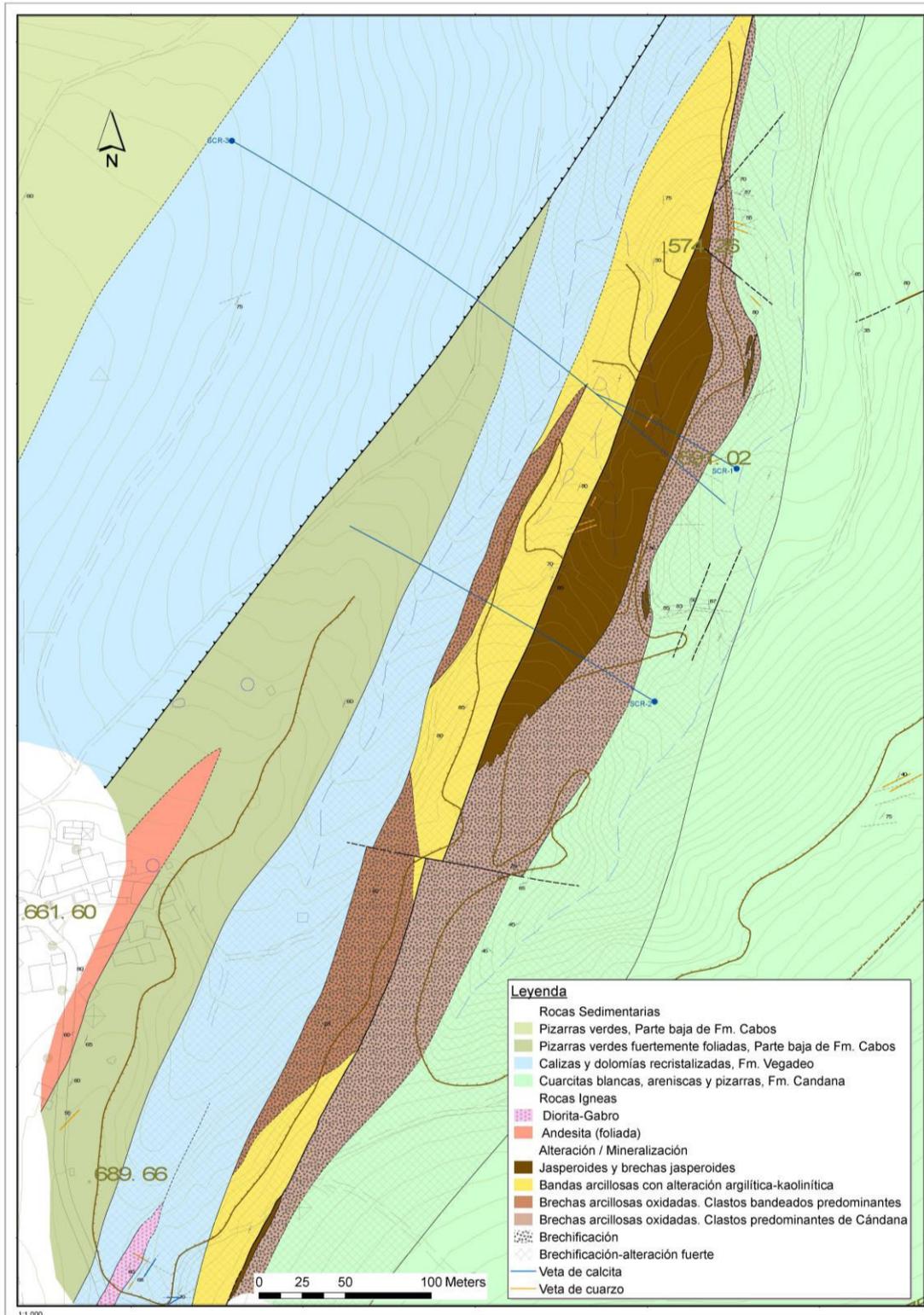


Figura 30. Cartografía de detalle del trazado de la Fm Vegadeo al NE de Santiago Cerredo (según RINGM, 2002).

Reconocimiento de campo

Al igual que ocurre en el caso de La Mortera, la densa cubierta vegetal imposibilita casi del todo la observación del macizo rocoso (ver figura siguiente). Los afloramientos son prácticamente



inexistentes y siempre muy limitados. En algunos casos se puede reconocer, de forma muy parcial, la presencia de dolomías beigeas y materiales residuales, de textura un tanto brechoide. Son frecuentes los depósitos superficiales de óxidos de Fe tipo limonita. No se ha observado la presencia de rocas ígneas, ni tan siquiera fragmentos sueltos.

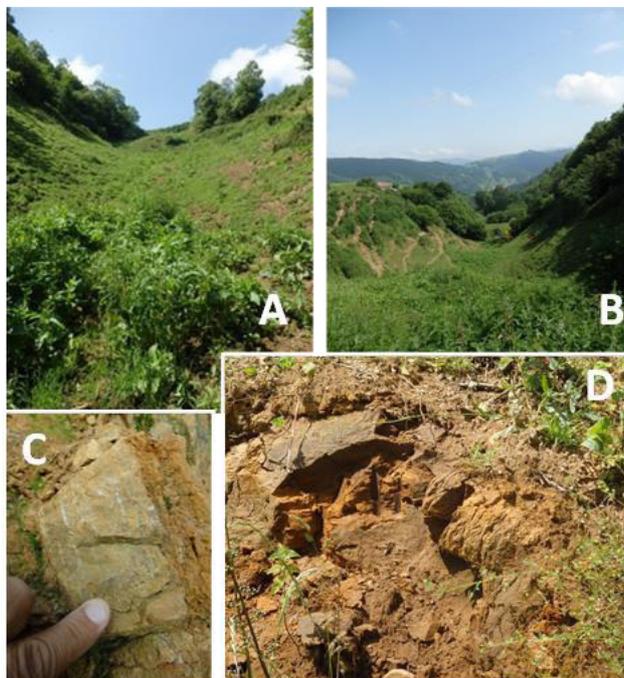


Figura 31. A y B: vistas del estado actual de la corta de Santiago Cerredo. C: aspecto, en afloramiento, de las dolomías beigeas. D: afloramiento de un término residual, terroso, muy oxidado.

Resultados (Microscopía óptica y análisis elemental)

El material que se ha podido recoger en este emplazamiento (3 muestras), tomado esencialmente de los afloramientos que se muestran en la figura anterior, presenta señales muy débiles de mineralización. En las dos secciones pulidas que se han realizado, únicamente es posible reconocer pseudomorfos de piritas, ya completamente oxidados y de 30 μm de diámetro máximo, así como algunos pequeños cristales de lo que podrían ser óxidos de Ti y/o de Ti/Fe. También se han observado dos pequeñas partículas, de tamaños en el orden de 1-2 μm con una reflectividad superior, que podrían ser oro nativo o electrum, aunque se trata solamente de una hipótesis con muchas reservas. Dado el escaso interés de estas muestras, únicamente se realizó con las mismas un análisis elemental mediante FRX-EDS. De entre los metales de transición, únicamente aparecen el Fe y el Ti como elementos mayores, en concentraciones máximas del 8,79% y del 1,22%, respectivamente. En el rango de elemento menor, una vez más en el contexto de los metales de transición, cabría citar al Ti en una de las muestras (0,46%) y al Mn en otra de ellas (1,03%, coincidiendo con el máximo de Fe). Los elementos clásicamente considerados trazadores potenciales de Au, como serían el As, el Se o el Te, se encuentran siempre por debajo de los límites de detección (unidades de mg/kg). Los resultados completos se pueden consultar en el Anexo III.

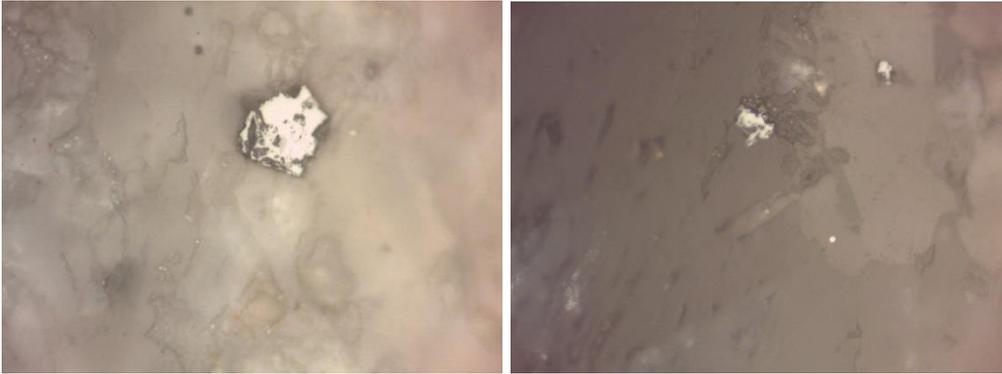


Figura 32. Izquierda: óxido de Fe, pseudomorfo de una pirita original. Derecha: dos cristales de óxidos de Fe en la parte superior, y un punto más dorado y reflectante, que podría ser oro nativo. Encuadre horizontal: 260 μm en ambas imágenes.

5.1.1.E Otros

Tal y como se ha citado en el capítulo introductorio, existen en la zona de estudio diversos indicios de minería romana, tanto sobre indicios primarios como sobre acumulaciones tipo placer. En este apartado final del capítulo relativo a las mineralizaciones de Au de tipo primario se hará una breve referencia a otros emplazamientos que también se han visitado, pero en los que el examen visual de los materiales muestreables indicaba un interés bajo o muy bajo y, por limitaciones de tiempo, finalmente no se consideraron prioritarios y no se procedió con el estudio microscópico, aunque en algunos casos se realizaron análisis para el contenido en Au.

Los Fornones

El indicio de Fornones se encuentra documentado en la literatura, indistintamente, como primario o secundario. Debido a que existen registros claros de trabajos romanos a cielo abierto sobre el macizo rocoso, en este trabajo se ha considerado dentro de los de carácter primario. El indicio en sí se sitúa aproximadamente a 800 m al sur de la localidad de Las Paniciegas y a 1200 m al norte de Fastias ($X_{\text{UTM}}=706937$, $Y_{\text{UTM}}=4809760$, Huso 29, ETRS89): en la zona se puede observar una gran zanja en forma de hoz de unos 2 metros de anchura y unos 19 metros de longitud. El rumbo de la excavación se corresponde con una dirección aproximada N60W, mientras que la estratificación va en dirección NE. La roca de caja existente es el nivel carbonatado (dolomítico) de la serie de Cándana. El canal está excavado en cuarcitas y areniscas de la serie de Cándana, sin presencia de mineralización aparente. Los habitantes del lugar (casa Eugenio de Las Paniciegas) cuentan que le llamaban “el cuello del oro”, aspecto que se corresponde con el plano que posee en su trabajo fin de carrera Vázquez (1982) (“Contribución al estudio de los yacimientos auríferos de la zona de Los Fornones (Tineo)”), y que denomina “coladoiro”.

En la siguiente imagen, la punta del bolígrafo muestra la posición del “coladoiro”, mientras que los trazos continuos corresponden a los arroyos de la zona y los trazos discontinuos la posición cartográfica del nivel carbonatado de Cándana. Resulta reseñable que Vázquez (1982) incluye



en su trabajo algunas fotografías de partículas de oro aluvionar recogidas durante la fase de muestreo (los puntos de toma de muestras se indican en la figura siguiente):

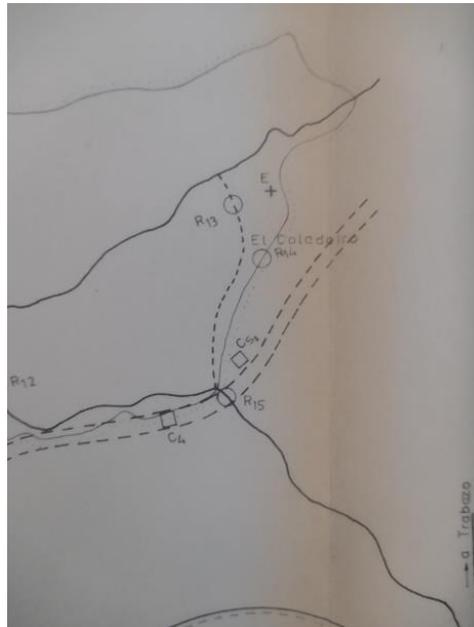


Figura 33. Plano de situación de Los Fornones. Con línea discontinua se señala la unidad dolomítica de la serie de Cándana..

Un reconocimiento de campo revela que, en las partes superiores del "coladoiro" existe una depresión en forma de concha, en la cual parece haberse explotado a cielo abierto el material existente. Las dimensiones, aproximadas, de la corta son unos 300 m de ancho y 200 m de longitud. El escaso material aflorante en esta corta corresponde a pizarras muy argilitizadas, encajadas en unidades pelíticas. No se ha podido identificar el nivel carbonatado en la zona por la ausencia de afloramientos, aunque se sospecha que este nivel probablemente hubiera sido el objeto de la explotación, apoyado por el hecho de la existencia de restos de caleros a menos de 200 m del coladoiro. La dirección del nivel carbonatado es aproximadamente E-W, desde la localidad de Navelgas hasta la proyección al norte de la localidad de Fastias, donde el nivel gira a dirección NE-SW.



Figura 34. A. Canal de lavado (“coladoiro”) de Los Fornones (mirando hacia el W). B. Punto de muestreo. C: Estado actual de la explotación a cielo abierto de Los Fornones.

Resultados (Microscopía óptica y determinación del contenido en Au)

No se ha localizado el nivel carbonatado cerca del coladoiro de Fornones. Sin embargo, en los archivos de la Escuela de Ingeniería de minas, energía y materiales de la Universidad de Oviedo, se han localizado algunas secciones pulidas procedentes de este indicio gracias a la ayuda de D. Jesús García Iglesias. Estas muestras se han examinado por medio del microscopio óptico y se ha podido comprobar la existencia de una mineralización, débil, de pirita idiomorfa, bien conservada, en una matriz carbonatada y de textura cristalina. Estos cristales de pirita presentan diámetros en el intervalo 50-100 μm y no parecen acompañados por ningún otro sulfuro. No se ha observado la presencia de partículas de oro nativo.

Una muestra tomada en la base de la corta de Los Fornones, junto con otras dos recogidas en zonas próximas en las que sí ha sido posible identificar el nivel dolomítico de la serie de Cándana (“Paniciegas” y “Llaneces de Calleras”) fueron debidamente preparadas en el laboratorio y enviadas para análisis de Au mediante fire assay (ensayo Au-AA25 de ALS), obteniéndose resultados muy poco prometedores (<0,01 mg/kg para la primera y 0,01 mg/kg para las dos últimas).

Candanedo



Candanedo es una pequeña aldea del municipio de Tineo, perteneciente a la parroquia de Naraval, a la que se accede desde el PK 20,5 de la AS-219, mediante una pista asfaltada que sale hacia el W y sigue, a contracorriente, el curso del río Naraval. No se han encontrado referencias sobre la posible existencia de Au en este emplazamiento, ni en publicaciones ni tampoco en ningún informe interno de empresas de exploración minera. El interés que ha despertado durante la realización de este trabajo nace del análisis de fotografía aéreas y de satélite, apreciándose, entre las localidades de Folgueras del Río y Candanedo ($X_{UTM}=695174$, $Y_{UTM}=4813654$), unos claros desmontes en forma de concha cuyo aspecto lleva a pensar que se trata de trabajos romanos (ver figura siguiente). Geológicamente, el sustrato está formado por niveles muy cuarcíticos de la Serie de Los Cabos, con escasas pasadas pizarrosas y la zona de las labores romanas se encuentra próxima a la terminación septentrional del cabalgamiento de Montefurado.

Se han recogido muestras de sedimento del arroyo que drena la zona de las labores romanas, que fueron posteriormente ensayadas a la batea, recuperándose únicamente escasas partículas de óxidos de Fe. El examen, en muestra de mano y con lupa binocular, de fragmentos recogidos en la base de las cortas no presenta síntomas de mineralización. Ante el escaso interés observado, únicamente se envió una muestra (cuarcita fracturada, con la fractura sellada por materiales terrígenos y óxidos oscuros) para determinar el contenido en Au, que fue analizado mediante el mismo procedimiento detallado en el caso de Los Fornones, con resultado negativo ($< 0,01$ mg/kg).

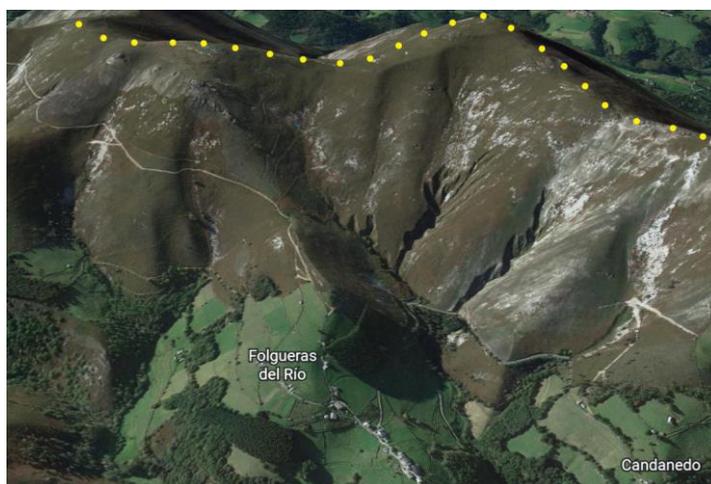


Figura 35. Excavaciones según líneas de valle en el sector entre Folgueras del Río y Candanedo que podrían ser labores mineras romanas. Encuadre horizontal aproximado: 2 km. En amarillo se señala la divisoria con la cuenca del río Negro.

Naraval

Localidad y parroquia del municipio de Tineo, que se encuentra en el PK 22 de la AS-19. Se sitúa, desde el punto de vista geológico, en la base de la Serie de Los Cabos, sobre el cuaternario del río homónimo. Existe un indicio aurífero, citado en la bibliografía, en el entorno



de la capilla de San Dimas, a 1 km al E del pueblo, y ya sobre las areniscas de Cándana ($X_{UTM}=700824$, $Y_{UTM}=4811082$). En un informe técnico de RNGM (RNGM, 1995) se cita la existencia de (lit.) *“Corta romana de escasas dimensiones; parece que explotaron parte del recubrimiento terciario”*. En la actualidad, en esta zona existe una extensa plantación de pinos, de considerable altura, que enmascara del todo la identificación sobre el terreno de labores romanas que, en todo caso, no debieron ser muy importantes. En fotografía aéreas antiguas, al NE de la ermita, sí es –con las debidas reservas- posible adivinar, de forma difusa, una posible zona excavada. RNGM muestreó este indicio en 1995, recuperando tres muestras de facies oxidadas (brechas, arcillas y pizarras) en todos los casos con contenidos en Au inferiores a 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En este trabajo, el emplazamiento se consideró de bajo interés y no se muestreó, aunque se considera oportuno reflejar su existencia en este apartado final relativo al Au primario.

Muñalén/Vega de Muñalén

Se trata de dos indicios, muy próximos, citados en los informes de las campañas de exploración de RNGM de mediados de los años 90 del siglo pasado. El indicio de Muñalén se refiere a la antigua explotación de barita, que se describirá con mayor detalle en el apartado 6.2 de este trabajo y, por lo tanto, no se insistirá más sobre ella ahora. Se trataría de una labor romana situada en un paraje conocido como “La Escura” o “La Oscura”, sobre el conjunto precámbrico. Los autores del informe indican que (lit.) *“existe una silicificación importante, con filones de cuarzo de dirección N40E con goethita y limonita, y también brechas ricas en cuarzo”*. Añaden *“corta romana que se observa mal debido a una replantación forestal”*. RNGM muestreó este indicio, donde analizó un total de tres muestras, todas ellas con analíticas desfavorables. El indicio de Vega de Muñalén se localiza con relativa seguridad en fotografías aéreas antiguas, justo al S de los dos meandros que describe el río Navelgas entre Muñalén y Vega de Muñalén; actualmente, la zona es inaccesible, por lo que no se ha podido muestrear ($X_{UTM}=701928$, $Y_{UTM}=4808757$).

Ferrerías de Merás

Al igual que en los casos anteriores, la existencia de este indicio únicamente se conoce por su descripción en el informe técnico de RNGM de 1995. En este informe, el indicio se denomina realmente “Ferrerías de Paredes”; teniendo en cuenta que tal localidad no existe, y situando las coordenadas en un mapa, se trata sin duda del lugar de Ferrería de Merás, al cual se accede por una pista asfaltada que une Merás con San Feliz. En la parte descriptiva de la ficha del indicio se indica que (lit.) *“afloran las calizas de Vegadeo, granito y hay rocas alteradas (caolinitizadas-arenitizadas y gossanizadas).../... La alteración es, en general, fuerte, aunque las calizas cercanas al granito no están muy afectadas.../... Posible corta romana. En la zona aparecen restos de escorias de Fe (según los lugareños, se habla de un tesoro con monedas antiguas)”*. A pesar de haber recorrido el trazado de la Fm Vegadeo en el entorno del pueblo



cuidadosamente, este interesante indicio no se ha podido localizar; tampoco ha sido posible con la colaboración de Luis J. Méndez, ingeniero de minas y natural del caserío de Los Pontones (1 km al NE de Ferrera de Merás), quien trató de localizar el lugar exacto que se describe en el informe, y buen conocedor de los habitantes del entorno.

Este indicio es un interrogante que, por lo tanto, queda abierto. Al margen de su posible interés económico, la presencia de rocas ígneas en conjunción con la Fm Vegadeo resulta algo, a priori, interesantísimo; naturalmente, este presunto granito no aparece representado en ninguna cartografía conocida. Es extraño, en cualquier caso, que nadie del lugar haya podido identificar el lugar; también parece poco probable, por otra parte, una confusión de índole geográfica por parte de los autores del informe, dos experimentados geólogos. En este caso, RNGM recogió y analizó un total de 7 muestras: aunque ninguna de ellas proporcionó valores de Au más allá de las unidades de $\mu\text{g}/\text{kg}$, en una de ellas (descrita como “gossan con cuarzo hialino en filoncillos y geodas”) se obtuvieron valores de Cu, Hg y Zn en el orden de las centenas de mg/kg .

5.1.2 ORO SECUNDARIO

5.1.2.A Introducción

Este apartado del trabajo se divide en cuatro secciones bien diferenciadas; se procede, en el orden lógico, a justificar cada una de ellas. Una de las herramientas básicas en una campaña de prospección de recursos minerales, en sus inicios, es una geoquímica de arroyos: se trata de un método, simple, barato y rápido que permite, a través del muestreo de sedimentos fluviales y su ensayo a la batea, concentrar la fracción más densa que, en minería metálica, suele ser la que presenta interés económico. En este sentido, se ha muestreado a la batea la red de drenaje, completa, del río Esva, y los resultados se presentan y se comentan en el primer bloque de este apartado. Por otra parte, y como ya se ha indicado en varias ocasiones, la principal guía litológica para Au en la zona de estudio es la caliza de la Fm Vegadeo, y existe una larga tradición de recuperación de Au aluvial en los cauces de los ríos Navelgas y Bárcena. En ellos, de forma particular, se ha realizado un muestreo en determinados puntos donde se conoce la elevada probabilidad de recuperar pequeñas partículas de oro nativo. Sobre las partículas recuperadas se han realizado estudios de imagen y microanálisis para tratar de recabar datos adicionales sobre los materiales encajantes de la mineralización y sobre los elementos menores y traza del oro nativo. Todo ello se presenta en el segundo bloque del capítulo.

En la localidad de San Feliz, en las inmediaciones del trazado de la Fm Vegadeo, se ha podido muestrear material eluvionar de forma muy cómoda debido a la muy reciente apertura de pistas forestales con ocasión de la concentración parcelaria. Se trata de un suelo cohesivo, rojizo, y con presencia de óxidos de Fe pseudomorfos de pirita, que han sido objeto de estudio en detalle mediante microsonda electrónica. Los resultados, interesantes, se muestran y discuten



en el tercer bloque. Finalmente, también se han muestreado de forma parcial, diversos retazos aislados de conglomerados terciarios que se disponen discordantes sobre el basamento paleozoico en algunas zonas de cotas elevadas (sierra de Pedruces, alto del Forcallao, divisoria con la cuenca del Narcea). Estas muestras, una vez ensayadas a la batea, han proporcionado una fracción densa que también ha sido objeto de estudio, presentándose los resultados en el cuarto y último bloque de este capítulo.

5.1.2.B Geoquímica de arroyos

Sobre la cuenca hidrográfica del río Esva se han señalado un total de 14 puntos de muestreo, tanto sobre el curso principal como sobre los principales tributarios. Se señalan en la figura siguiente:

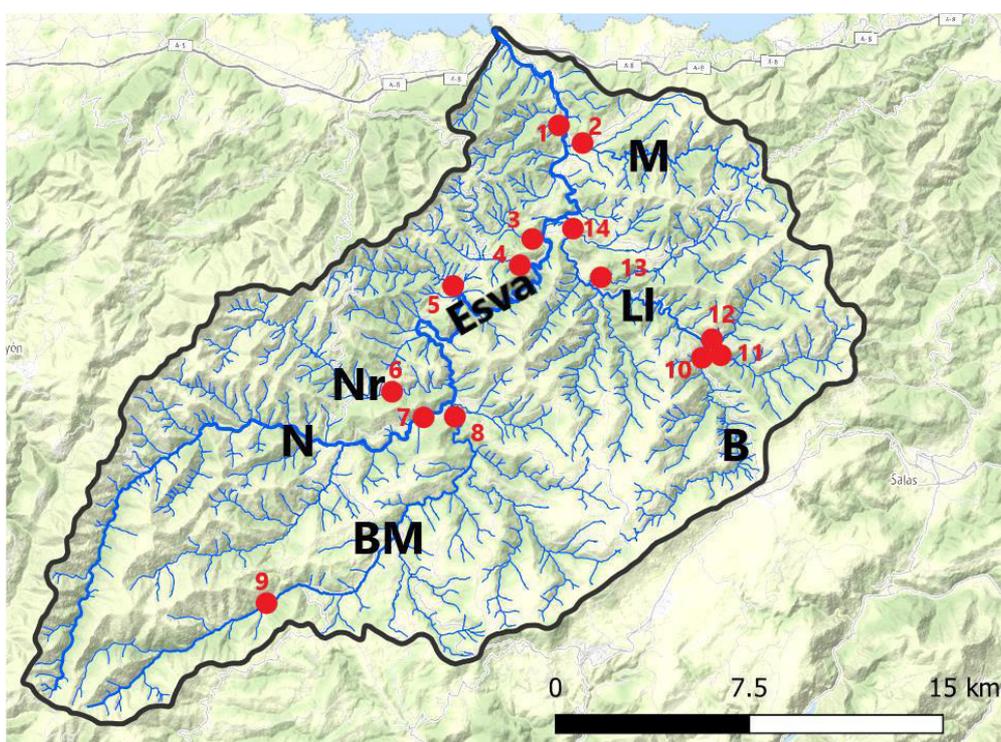


Figura 36. En color rojo, muestras tomadas a la batea en la geoquímica de arroyos. BM: Bárcena; N: Navelgas; Nr: Naraval; LI: Llorín; B: Brañalonga; M: Mallene.

La situación exacta de los puntos de muestreo y el cauce muestreados en cada caso se muestran en la tabla siguiente:



Punto	X _{UTM}	Y _{UTM}	Río
1	707319	4821069	Esva (aguas abajo de la desembocadura del Mallene)
2	707824	4821020	Mallene (antes de su desembocadura en el Esva)
3	706689	4817146	Arroyo de Ferrera (antes de su desembocadura en el Esva)
4	704901	4816298	Merás (antes de su desembocadura en el Esva)
5	702991	4815374	Candanín (o arroyo de la Vieya)
6	700670	4810635	Naraval (aguas abajo del pueblo)
7	702290	4809763	Navelgas (puente de Vega de Muñalén)
8	703767	4810109	Bárcena del Monasterio (puente de Ese de Calleras)
9	697345	4802394	Bárcena del Monasterio (La Fanosa-Riocastiello)
10	713285	4813418	Brañalonga (aguas arriba del cruce de Castañedo)
11	713365	4813426	Arroyo de Lavio (aguas arriba del cruce de Castañedo)
12	713429	4813494	Custrechu o Llerinos (aguas arriba del cruce de Castañedo)
13	708592	4815569	Arroyo de Muñás (antes de su desembocadura en el Llorín)
14	707573	4817558	Llorín (puente de Brieves)

Tabla 5. Situación de los puntos de muestreo en la campaña de prospección aluvionar (Coordenadas según ETRS89, huso 29).

La metodología seguida para la toma de la muestra es la clásica: se identifica, en algún lugar accesible del cauce, una zona favorable para la sedimentación de materiales detríticos pesados (zonas de disminución de la velocidad del flujo tales como recodos, barras arenosas, resaltes de niveles más duros transversales al cauce...) y se toman varios kg de muestra en la batea con ayuda de una pala. Se realiza el ensayo a la batea, con una unidad de tipo californiano, dotada con riffles, y la cola de bateo, de unas pocas decenas de granos, se recoge en un bote de plástico debidamente etiquetado. Tras eso, se lleva al laboratorio, donde se deja secar al aire. Una vez secas, las muestras fueron sometidas a un análisis elemental mediante FRX-EDS. De algunas de las muestras, así como de los correspondientes concentrados magnéticos, se han realizado secciones pulidas. Todo el proceso se ilustra en el siguiente grupo de imágenes:



Figura 37. A. Material empleado en el muestreo y la concentración. B. Punto de muestreo 13 (arroyo de Muñas). C. Ensayo a la batea. D. Cola de bateo, idealmente con la fracción densa de la muestra original. E. Aspecto de la cola de bateo, una vez seca, durante la separación magnética.

Los resultados del análisis elemental de las fracciones (magnéticas y no magnéticas) se muestran en las siguientes tablas. Los contenidos de Au, Se, Sc y W no se muestran, al situarse para todas las muestras por debajo de los límites de detección. En la fracción no magnética, tampoco se ha incluido, por la misma razón, el Co. Se resaltan en tono azul los valores anormalmente elevados (entendidos como los que superan a la media del conjunto de datos –para cada elemento- más dos veces la desviación típica) y que presentan algún interés aplicado.



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mo	6.41	3.49	<LOD	5.76	12.31	<LOD	196.7	6.36	3.17	8.48	12.66	147.34	106.3	21.88
Mo Error	1.51	1.48	2.25	1.57	1.88	2.3	10.28	1.61	1.63	1.62	2.02	5.85	5.9	2.01
Zr	307.72	156.81	236.56	314.59	750.2	286.15	15518	268.22	361.9	244.1	851.3	6866.67	7194	705.36
Zr Error	3.02	2.42	2.82	3.17	4.74	3.08	34.48	3.09	3.47	2.98	5.24	18.41	19.15	4.82
Sr	8.07	15.64	10.23	7.35	11.38	22.5	98.02	30.46	27.02	31.86	25.89	19.97	13.38	21.58
Sr Error	0.8	1	0.88	0.82	0.91	1.1	3.42	1.25	1.18	1.28	1.19	1.54	1.44	1.13
U	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18.83	<LOD	4.85	<LOD	3.73	9.96	13.86	<LOD
U Error	2.6	2.93	3.08	2.89	2.99	3.07	4.74	3.17	2.3	3.27	2.16	3.11	3.2	3.09
Rb	23.96	33.92	49.36	35.79	39.55	45.28	48.05	44.44	62.52	48.47	45.46	39.78	32.65	35.87
Rb Error	1.17	1.42	1.62	1.41	1.47	1.57	2.94	1.6	1.82	1.67	1.61	2.05	1.98	1.48
Th	4.68	2.67	4.13	4.78	9.14	4.7	16.19	4.73	7.18	5.16	7.89	12.26	12.34	3.99
Th Error	1.33	1.4	1.43	1.42	1.76	1.45	3.75	1.56	1.6	1.59	1.63	2.44	2.5	1.61
Pb	<LOD	<LOD	3.51	3.17	99.14	6.76	29.19	9.42	11.52	9.11	10.52	<LOD	<LOD	49.62
Pb Error	2.67	2.89	1.94	1.89	4.38	2.08	5.48	2.26	2.3	2.27	2.31	4.3	4.5	3.5
As	2.68	6.98	6.33	5.87	<LOD	3.82	15.47	9.1	<LOD	8.39	<LOD	5.86	9.95	<LOD
As Error	1.59	1.84	1.82	1.77	4.31	1.85	4.8	2.13	2.89	2.12	2.92	2.53	2.77	3.73
Hg	4.6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Hg Error	2.8	4.5	4.36	4.4	4.45	4.43	8.98	4.69	4.55	4.75	4.55	6.37	6.47	4.72
Zn	20.25	17.43	30.08	13.97	7.41	25.02	32.72	34.27	34.35	33.62	25.61	26.07	25.91	29.24
Zn Error	3.51	3.69	3.99	3.5	3.34	3.87	7.5	4.29	4.18	4.27	4	5.34	5.44	4.16
Cu	10.07	12.89	16.31	14.03	16.53	11.83	67.02	20.96	15.31	14.07	12.98	14.4	38.32	<LOD
Cu Error	6.2	6.8	6.73	6.55	6.71	6.67	14.84	7.22	6.93	7.13	6.97	9.56	10.38	10.47
Ni	18.39	36.28	20.45	20.26	<LOD	18.09	<LOD	32.25	26.12	31.61	17.8	<LOD	28.96	13.94
Ni Error	7.1	7.93	7.59	7.44	11.15	7.59	26.41	8.2	7.9	8.24	7.96	17.46	12.17	8.06
Fe	5904.3	16120.42	10571.8	8390.5	10031	9823.2	25795	25341	14546	27331.9	13187	8963.95	13086	18639
Fe Error	63.1	109.76	87.77	77.7	84.15	84.77	218.9	138.57	103.7	144.64	99.88	104.76	127.9	119.24
Mn	85.37	173.49	251.66	136.62	44.47	176.84	109.1	211.18	131.9	369.68	167.7	105.6	222.2	175.25
Mn Error	21.28	25.41	26.2	23.34	21.22	24.68	42.74	27.12	24.31	30.2	25.29	31.07	35.33	25.78
Cr	17.47	48.36	49.08	28.38	38.29	46.57	58.32	69.91	49.57	45.39	61.39	43.84	35.98	28.76
Cr Error	6.28	9.13	8.08	7.99	8.14	8.24	9.52	10.67	8.72	9.81	8.97	7.72	8.52	8.33
V	31.09	58.71	59.11	59.95	52.95	44.8	91.5	105.2	75.5	61.49	87.26	64.57	83.1	39.13
V Error	10.15	15.23	14.83	13.89	15.35	15.49	21.54	20.33	16.4	17.67	17.09	13.88	17.96	13.56
Ti	1472.3	1717.13	2702.61	2113.7	2940	2722.1	4754	3028.2	2778	2611.79	3265	2586.75	4336	1602.26
Ti Error	33.77	49.65	51.61	46.97	54.34	54.36	76.88	68.53	56.44	60.96	59.66	48.06	65.34	45.19
Ca	340.45	364.04	393.56	181.21	297.1	581.63	2404	654.86	698.6	499.24	479	288.91	453.5	438.5
Ca Error	31.56	47.78	45.29	37.63	41.21	48.14	74.64	63.71	56.18	54.64	51.07	39.04	46.55	47.04
K	8053.2	11234.15	13221.5	9063	10106	12048	10796	15428	15999	11451.7	13902	10536.9	11116	11001.5
K Error	123.7	193.22	187.84	160.22	169.4	185.46	192.6	247.92	221	209.72	207.1	162.54	183.4	185.45
S	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	366.4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S Error	132.48	175.06	173.81	156.27	156.7	171.59	162	237.38	211.4	213.93	200.4	164.96	173.7	190.32

Tabla 6. Resultados del análisis elemental de las fracciones no magnéticas de las colas de bateo (mg/kg). LOD: por debajo del límite de detección.



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mo	7.28	10.06	12.71	8.75	<LOD	<LOD	16.32	10.01	<LOD	8.42	6.48	8.15	<LOD	8.47
Mo Error	2.63	3.3	2.73	2.94	1.99	2.4	4.84	2.92	2.27	4.29	4.04	4.87	7.22	4.08
Zr	385.55	327.65	210.23	475.56	47.27	35.75	438.11	193.53	17.36	616.91	685.07	1182.28	471.82	134.75
Zr Error	5.59	6.56	4.67	6.56	1.59	1.87	10.32	4.92	1.47	10.19	9.93	13.43	10.77	6.31
Sr	41.37	43.66	26.71	19.64	<LOD	19.95	139.2	31.08	3.39	36.92	60.72	22.13	22.59	21.51
Sr Error	2.17	2.8	2.02	1.83	1.02	1.34	6.06	2.32	0.88	3.14	3.47	2.64	3.27	3.01
U	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	10.62	15.96	<LOD	<LOD
U Error	5.42	7.47	6.23	6.21	2.15	3.16	11.51	7.05	2.66	9.55	5.95	6.34	11.38	10.96
Rb	46.6	44.96	62.44	59.42	3.3	8.47	26.78	64.16	5.47	42.65	35.86	23.52	15.65	25.69
Rb Error	2.64	3.43	3.2	3.12	0.78	1.22	4.59	3.56	1.02	4.18	3.68	3.61	4.34	4.35
Th	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18.61	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	15.46	<LOD	<LOD
Th Error	4.86	8.19	6.48	6.3	1.86	3	10.95	7.05	2.62	11.8	9.67	7.68	16.18	14.26
Pb	50.72	45.61	21.86	31.72	21.84	6.76	132.13	29.29	<LOD	35.71	16.64	29.62	82.97	52.79
Pb Error	5.8	7.52	5.22	5.57	2.72	2.82	15.06	6.22	3.45	8.9	7.01	8.32	13.58	11.24
As	45.49	133.7	72.32	101.96	14.53	22.87	200.64	92.08	4.36	66.71	41.21	26.54	42.83	57.4
As Error	5.72	9.24	6.14	6.94	2.57	3.01	16.47	7.39	2.06	9.01	6.9	7.35	11.82	10.51
Zn	519.74	189.32	181.08	160.25	7.34	33.28	254.56	128.68	21.15	148.72	186.42	220.85	155.15	166.01
Zn Error	17.37	14.72	12.34	11.78	3.3	5.25	22.96	12.23	4.46	16.63	16.26	18.31	20.23	19.37
Cu	53.13	75.3	70.58	92.4	<LOD	19.95	118.95	94.38	14.75	157.52	93.88	172.05	141.65	146.46
Cu Error	14.47	20.63	16.66	17.1	9.15	8.78	32.52	19.17	7.89	27.87	23.65	27.44	34.87	32.22
Ni	104.19	141.79	83.29	125.43	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	68.56	71.51	264.84	96.77
Ni Error	17.66	26.26	20.11	20.18	10.94	16.78	66.36	35.39	15.05	52.1	30.69	33.17	44.99	41.65
Co	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	431.92	<LOD	1994.2	<LOD	1892.96	1343.1	1145.91	<LOD	<LOD
Co Error	395.09	678.37	482.12	459.22	129.5	155.57	1312.58	398.4	207.68	655.56	548.26	599.03	1343.67	1243.61
Fe	328599	627887.9	419369	387759	77815	167886	1309562	533561	150337	947680	765861	834147	1330636	1255379
Fe Error	752.81	1289.84	913.91	872.13	244.6	436.98	2475.34	1115.7	390.31	1846.86	1545.5	1690.29	2577.5	2356.56
Mn	8588.9	7474.44	4433.67	6403.9	1019	2741.9	19073.5	4328.9	529.39	7785.44	5029.4	944.99	21098.9	8479.44
Mn Error	157.04	192.11	132.28	149.69	41.98	76.88	397.32	145.89	44.05	239.88	187.6	152.31	425.96	283.34
Cr	178.82	106.73	143.93	155.34	<LOD	172.74	339.98	181.5	149.03	278.43	291.32	1027.19	98	200.19
Cr Error	16.42	15.64	15.02	15.4	27.09	19.17	24.45	16.51	19.55	19.93	20.47	28.94	20.65	21.23
V	207.25	81.09	114.6	104.78	107.5	154.27	177.26	137.33	134.19	197.06	261.47	473.51	116.57	147.78
V Error	36.11	27.8	27.39	27.33	60.89	42.38	41.45	29.84	34.23	35.1	43.72	65.99	38.67	41.99
Ti	9192.4	3634.23	4398.13	4150.1	32519	11221	6272.54	4438.3	6112.1	6192.48	11602	33124.9	6192.58	8670.07
Ti Error	131.34	94.98	94.66	94.12	246.8	157.68	142.62	101.11	120.42	121.75	160.33	257.74	137.32	153.37
Ca	1716.6	1173.81	965.33	435.25	1131	4134.8	3505.9	242.03	850.31	319.35	1840.3	286.89	798.86	604.75
Ca Error	93.76	86.94	81.52	69.75	89.81	132.09	144.51	73.58	84.02	77.04	104.5	75.74	97.61	88.65
K	10070	8151.59	11742.6	8696	7500	6277.7	6569.38	12218	5235.9	7476.08	7273.6	6400.88	4406.95	4323.75
K Error	244.66	230.34	254.8	225.51	235.4	220.07	253.57	268.98	207.94	235.82	234.73	220.72	217.4	207.29
S	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1233.2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S Error	447.81	471.18	412.17	444.92	564.5	411.59	651.51	447.54	577.59	541.62	532.29	549.9	665.65	628.74

Tabla 7. Resultados del análisis elemental de las fracciones magnéticas de las colas de bateo (mg/kg). LOD: por debajo del límite de detección.

Tal y como se desprende de la observación de los resultados que se presentan en las tablas anteriores, los valores, en cuanto a contenido elemental, de las muestras de concentrados a la batea no presentan, en líneas generales, valores llamativos. El Zr es más elevado en las muestras no magnéticas, con contenidos reseñables en las muestras 7, 12 y 13. Se debe suponer que es debido a la naturaleza no magnética del circón. Esas muestras coinciden, además, con los máximos de U y Th. Los valores obtenidos para el Fe en algunas de las muestras magnéticas se encuentran fuera de rango debido a la saturación del detector, y a la calibración del equipo, no apta para concentraciones tan elevadas. Los máximos de Fe en la fracción magnética coinciden con los de Mn (muestras 7 y 13), lo que invita a pensar que se ambos elementos aparecen al menos en cierta medida, en forma de los óxidos correspondientes.

En cuanto a su contenido global en elementos de interés económico, las muestra 7 presentan valores algo más elevados que el resto. Por su localización, sabemos que se sitúa aguas abajo de la barra calcárea y de la mineralización de Navelgas, y también del nivel dolomítico de la Fm



Cándana que cuenta con algunos indicios de interés. También resulta llamativo el relativo elevado contenido en Co en las fracciones magnéticas de las muestras 10, 11 y 12, tomadas muy próximas entre sí y sobre arroyo que drenan un sustrato muy parecido.

Dadas las escasas posibilidades de identificación mineral concluyente mediante lupa binocular, se realizaron secciones pulidas con algunas de las muestras que presentaban mayor interés, que fueron estudiadas mediante microscopía óptica y electrónica. En las fracciones magnéticas, aunque con variaciones importantes entre muestras, el elevado contenido en Fe se explica por la presencia de óxidos de este metal, esencialmente en forma de hematites, pero también de goethita (ver Figura 38.A). La magnetita, no tan frecuente, también está presente (Figura 38.C). Son frecuentes, en hematites y goethita (algo más en esta última) los pseudomorfos de secciones hexagonales de las piritas precursoras (Figura 38.B y/o Figura 39.C, granos con puntos amarillos). Estos óxidos de Fe están presentes tanto en forma de granos ya libres como en forma de mixtos, en asociación con diversos silicatos, tal y como se puede apreciar en las Figura 39.B y Figura 39.C. A pesar de que se trata de una cuenca poco impactada antrópicamente, sí aparecen, entre los granos ricos en Fe, algunos cuyo microanálisis delata un origen no natural, con composiciones –y, en ocasiones, microestructuras- propias de los aceros y otras ferroaleaciones (se han visto, por ejemplo, en la fracción magnética de la muestra 2). Como curiosidad, cabe apuntar que ocasionalmente se encuentran esferas perfectas (secciones circulares) de composición extremadamente ferrífera que cabe interpretar como micrometeoritos (ver punto rojo en Figura 39.C). También son muy frecuentes los silicatos de Fe-Mg, que en ocasiones muestran su hábito laminar y que, teniendo en cuenta su profusión y el contexto geológico de la zona de estudio, deben entenderse, en sentido amplio, como especies del grupo de la clorita. En clara asociación con cloritas se han podido distinguir (gracias a su gran contraste con el resto cuando son observados con electrones retrodispersados en microscopía electrónica) algunos cristales de monacita, en general de pequeño tamaño, que se muestran en las figuras siguientes (cristal señalado con una flecha amarilla en la Figura 39.C también Figura 39.F).

En la práctica totalidad de las muestras examinadas también se han encontrados cristales de ilmenita (en las fracciones magnéticas, ver gran señalado con un punto anaranjado en la Figura 39.D) y de óxidos de Ti sin Fe (rutilo, leucoxeno, fracciones no magnéticas). En algún campo de observación de las muestras 6 y 7 se ha podido verificar la presencia de carbonatos de Fe (o Fe-Ca). La presencia de sulfuros es escasa o muy escasa, y siempre en partículas en avanzado estado de transformación al óxido correspondiente. Por su parte, las fracciones no magnéticas están constituidas muy mayoritariamente de silicatos, en ocasiones con contenidos no despreciables en Fe, pudiendo tratarse, en consonancia con el subsuelo de la cuenca de drenaje, de glauconita o flogopita (cristales más claros de la Figura 39.E). El circón, como ya se ha apuntado, suele estar siempre presente (ver Figura 39.E, partícula brillante en la parte central), aunque rara vez de forma importante. En las muestras no magnéticas, al igual que en las magnéticas, también es posible encontrar indicios de monacita.



La muestra 8 es la única en la que se ha identificado de forma inequívoca la presencia de oro nativo, aparentemente libre y de tamaño (varias partículas) de hasta 30 μm de diámetro. Su aspecto se puede ver en las imágenes siguientes (39.A y 39.B). En algunos casos, mediante microscopía óptica se han observado granos mixtos de minerales transparentes con inclusiones minerales de posible oro nativo (elevada reflectividad, blando, varias decenas de μm de tamaño), pero que no se ha podido identificar de forma concluyente.

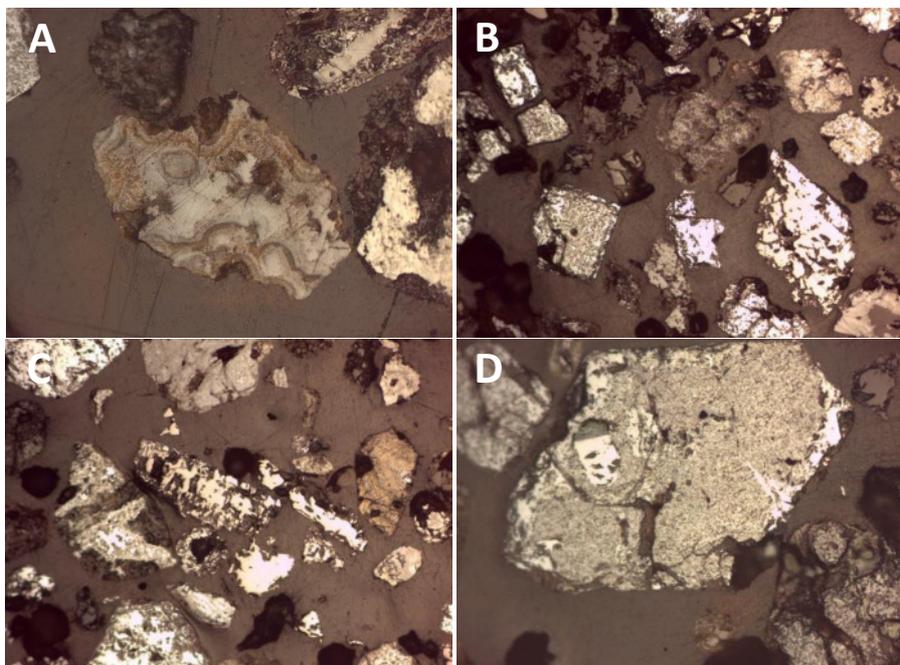


Figura 38. A. Cristal de goethita, con el típico bandeo irregular que indica un origen ligado a precipitación química. B. En la mitad izquierda de la imagen, granos de óxidos de Fe que conservan las formas cúbicas de la pirita original. C. En el centro de la imagen, dos cristales aciculares de magnetita. D. Cristal de arsenopirita, conservado como inclusión mineral en otra partícula en avanzada hematización. A, B y D: muestra M7. C: muestra M2. Encuadre horizontal: A y D: 650 μm . B y C: 1,3 mm.

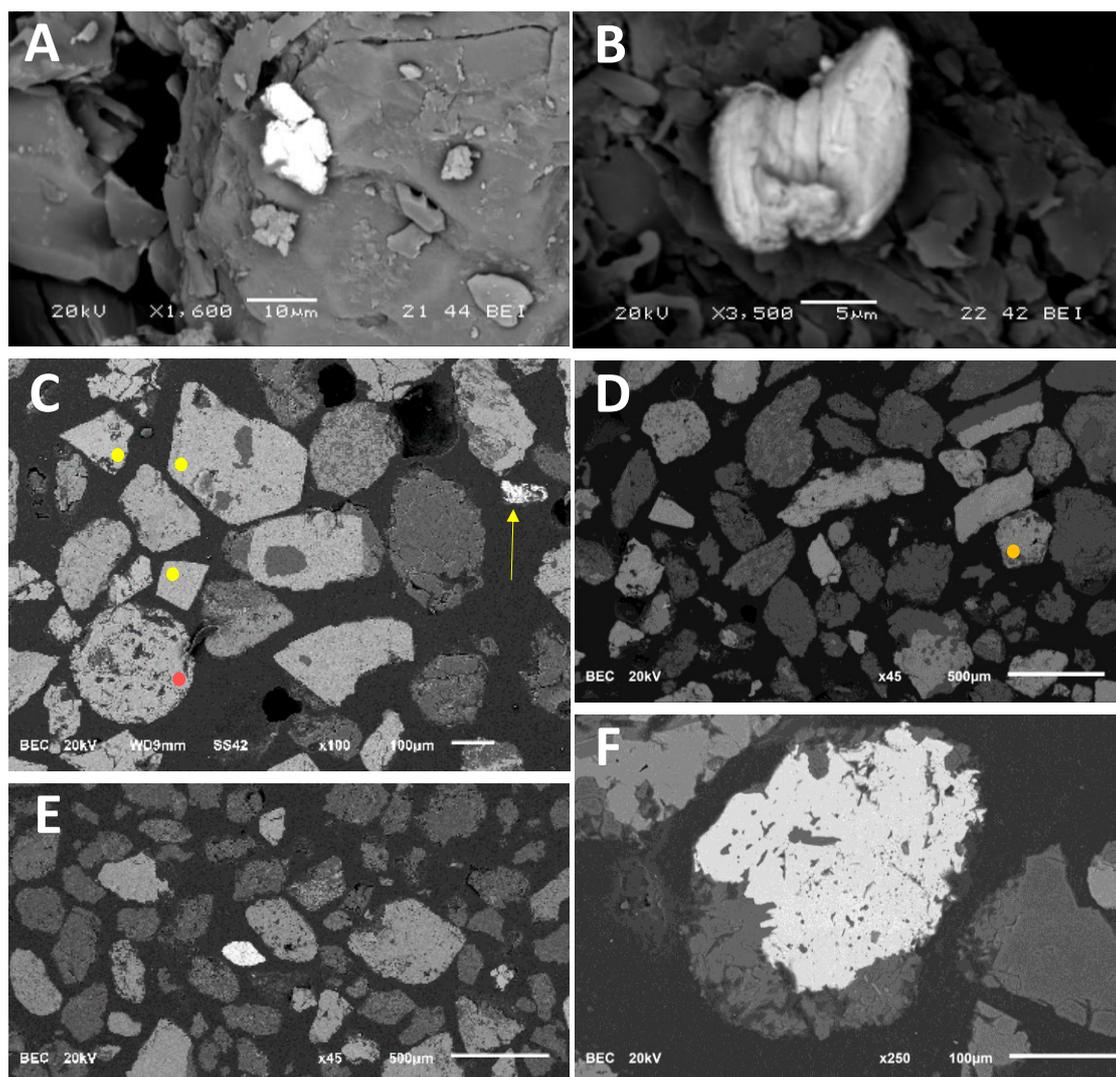


Figura 39. A y B. Partículas de oro nativo, ambas de la muestra 8. C y D. Aspecto de las muestras magnéticas; la mayor parte de los granos de tono claro (mayor densidad electrónica) son diferentes tipos de óxidos de Fe. E. Aspecto de un concentrado no magnético. E. Cristal de monacita. Muestras 8 (A, B y D), 7 (C) y 2 (F).

5.1.2.C Estudio de elementos menores y traza y de inclusiones minerales en partículas de oro nativo

Para la ejecución de esta parte del trabajo resultaba necesario recuperar partículas de Au aluvionar de un tamaño suficiente como para ser embutidas en resina, pulir algo su superficie y poder realizar sobre la misma los estudios programados de microquímica y micro-mineralogía, seleccionados como óptimos tras la revisión bibliográfica, en la que destacan los trabajos de Zhang *et al.* (2014), Chapman *et al.* (2021) y Ketchaya *et al.* (2022). Para el muestreo se contó con la colaboración de Pedro Queipo, vecino de Navelgas, buen conocedor de la zona y expresidente y miembro de la asociación de bateadores “Barciaecus”. Como parece lógico, se decidió muestrear los ríos Navelgas y Bárcena de forma separada, antes de su confluencia para formar el Esva, dado que existen abundantes evidencias de que ambos son ríos auríferos. De entre los indicios de Au primario descritos en el capítulo anterior, los de Navelgas y La



Oscuro (Vega de Muñalén) se sitúan sobre la sub-cuenca del río Navelgas, mientras que los de Santiago Cerredo, La Mortera y Los Fornones lo hacen en la sub-cuenca del Bárcena. Los puntos seleccionados para el muestreo se localizan en las proximidades de los lugares de Foyedo (río Navelgas, aguas arriba de Navelgas, $X_{UTM}=696838$, $Y_{UTM}=4809145$, ETRS89, huso 29) y La Cabuerna (río Bárcena, aguas abajo de los indicios de Santiago Cerredo y La Mortera, $X_{UTM}=699384$, $Y_{UTM}=4802775$, ETRS89, huso 29). En estos dos puntos se muestrearon los cauces y, mediante ensayos a la batea, se recuperaron en cada emplazamiento 3-4 partículas de oro aluvionar de un tamaño de al menos 0,5 mm que, una vez en el laboratorio, fueron preparadas en una sección pulida convencional. Teniendo en cuenta la morfología laminar de las partículas y la baja dureza del oro nativo, no se realizó un pulido exigente, que habría llevado al arranque de las partículas.

Con esta preparación se realizaron dos tipos de estudios: por una parte, microanálisis de elementos menores y traza en el oro nativo y, por otra, estudio de heterogeneidades composicionales e inclusiones minerales en la microescala. Para el primer estudio, se seleccionó la ablación láser acoplada a un ICP-MS (ver capítulo 4.7), ya que su resolución analítica es mejor que la de la microsonda y las exigencias de pulido en la superficie son menores; también analiza una cantidad mayor de muestra, con lo que la medida es más representativa. Para el estudio de heterogeneidades e inclusiones minerales, se utilizó la microscopía electrónica de barrido.

Geoquímica de elementos menores y traza mediante LA-ICP-MS

En base a un equilibrio óptimo entre tiempo de análisis (es decir, número de análisis en una sesión) y número de elementos químicos seleccionados para cuantificar, y atendiendo a las recomendaciones extraídas de la literatura específica, se seleccionaron los siguientes elementos: Fe, Cu, As, Ag y Bi, además del Au.

En las muestras se incluían 4 partículas de oro nativo recuperadas en La Cabuerna, en el río Bárcena (CAB-P1 a CAB-P4) y 3 partículas recuperadas en Foyedo, en el río Navelgas (FOY-P1 a FOY-P3). Sobre las primeras se realizaron tres análisis, lineales, sobre cada una; en el conjunto de partículas de Foyedo y, según su tamaño, se realizaron 4 análisis sobre cada una de las dos primeras y 5 análisis sobre la mayor. Los resultados se muestran en la tabla siguiente. Las filas sombreadas en color verde se corresponden con los valores medios de las medidas realizadas sobre cada partícula:



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

	Fe57_ppm_mean	Cu63_ppm_mean	As75_ppm_mean	Ag107_ppm_mean	Bi209_ppm_mean
CAB_P1					
CAB_P1_1	1295.6	275.5	44.5	23443.9	3.6
CAB_P1_2	2070.7	323.0	74.4	25011.7	18.9
CAB_P1_3	1131.1	316.5	54.3	24206.4	1.5
Group Stats	1499.1	305.0	57.7	24220.6	8.0
CAB_P2					
CAB_P2_1	811.6	287.3	33.2	19068.6	0.8
CAB_P2_2	692.4	271.2	28.0	18808.4	1.0
CAB_P2_3	775.4	284.3	30.6	18712.4	1.3
Group Stats	759.8	280.9	30.6	18863.1	1.0
CAB_P3					
CAB_P3_1	1102.4	943.0	52.5	16563.0	1.8
CAB_P3_2	1057.8	558.3	61.1	11328.5	1.4
CAB_P3_3	1068.3	570.7	51.2	11344.6	1.2
Group Stats	1076.2	690.7	54.9	13078.7	1.5
CAB_P4					
CAB_P4_1	788.2	137.9	34.8	169371.7	0.9
CAB_P4_2	792.6	131.7	39.0	141572.9	1.9
CAB_P4_3	765.9	117.7	26.6	116613.1	1.3
Group Stats	782.2	129.1	33.4	142519.2	1.4
MIN	692.4	117.7	26.6	11328.5	0.8
MAX	2070.7	943.0	74.4	169371.7	18.9
MEDIA	1029.3	351.4	44.2	49670.4	3.0
DESV EST	359.5	228.6	14.2	56355.5	4.6
FOY_P1					
FOY_P1_1	1276.4	136.0	80.8	181951.5	1.2
FOY_P1_2	1361.0	128.8	48.5	196079.6	1.5
FOY_P1_3	1223.2	112.1	57.7	195131.8	1.1
FOY_P1_4	1477.8	150.4	53.8	206865.9	1.0
Group Stats	1334.6	131.8	60.2	195007.2	1.2
FOY_P2					
FOY_P2_1	1362.7	636.0	38.0	30785.7	0.9
FOY_P2_2	1579.0	530.0	57.6	29439.6	1.2
FOY_P2_3	1488.9	559.1	78.3	29901.8	2.9
FOY_P2_4	1434.9	623.0	62.0	30629.0	2.0
Group Stats	1466.4	587.0	59.0	30189.0	1.8
FOY_P3					
FOY_P3_1	1175.3	15560.6	58.1	3.34E+05	181.5
FOY_P3_2	641.2	14629.0	50.9	325124.4	234.0
FOY_P3_3	1340.8	9662.5	59.7	289606.9	138.1
FOY_P3_4	755.3	4900.0	57.7	267222.2	90.9
FOY_P3_5	1060.5	22172.9	60.1	532524.9	177.1
Group Stats	994.6	13385.0	57.3	349723.6	164.3
MIN	641.2	112.1	38.0	29439.6	0.9
MAX	1579.0	22172.9	80.8	532524.9	234.0
MEDIA	1244.4	5369.3	58.7	203800.2	64.1
DESV EST	280.3	7592.9	11.2	150648.3	88.0

Tabla 8. Resultados de los análisis mediante LA-ICP-MS sobre las partículas de oro nativo de origen aluvionar (valores en mg/kg).



Los resultados obtenidos son, a la vez, interesantes y desconcertantes. En todos los casos, los valores obtenidos para el As son del mismo orden y no permiten, por lo tanto, realizar ninguna discriminación de base geoquímica. Si centramos la atención en las cuatro partículas de oro recuperadas en los sedimentos del río Bárcena, en una primera aproximación se observa que, al igual que el As, el Bi no ofrece información de interés, resultando en todos los casos de unas pocas partes por millón. Sin embargo, enseguida es posible establecer que las partículas 3 y 4 son diferentes a las otras dos, y también entre sí. Los valores de Ag de las partículas 1, 2 y 3 se sitúan en el intervalo 1,3-2,4%, mientras que en la última partícula el contenido en Ag se dispara hasta el 14,25% (media de las tres medidas). Una consideración análoga la podemos hacer para la partícula CAB-P3 en relación al contenido en Cu, aunque en otros órdenes de magnitud. Finalmente, la signatura geoquímica de las partículas CAB-P1 y CAB-P2 tampoco parece encajar bien entre sí, habida cuenta de la homogeneidad en los valores de Fe y Ag en cada partícula, y los valores medios, sensiblemente diferentes, que muestran ambos elementos en las dos partículas.

En el caso de las tres partículas recuperadas en Foyedo, el diferente origen queda aún más claro que en el caso anterior a partir de la interpretación de los contenidos en los elementos analizados: los valores de Bi, sin ser muy elevados, permiten definir un origen diferente para la partícula FOY-3. Ese dato se refrenda sin duda si atendemos a los valores de Ag (26,72-53,25%) o a los de Cu, siendo esta muestra la única en la que este elemento alcanza el rango de elemento mayor. Por su parte, las partículas FOY-1 y FOY-2 presentan similares contenidos en todos los elementos analizados, a excepción de la Ag, que se sitúa en torno a un 3% en la muestra FOY-2 pero alcanza el 19,5% en la muestra FOY-1; no es, por tanto, probable que su origen se relacione con un mismo fluido mineralizador.

Todo lo anterior parece indicar que existen, en ambas sub-cuencas, multitud de mineralizaciones, cada una con una signatura geoquímica particular para el oro nativo. Predomina, desde el punto de vista mineralógico, el oro nativo sobre el electrum, con contenidos en Ag en el rango 1-3%. El rango composicional del electrum es mayor, habiéndose detectado contenidos en Ag desde el mínimo admisible para esta especie (10%) hasta superar, en algún análisis particular, el 50%. En este contexto, los elementos que mejor discriminan el origen serían la Ag y el Cu, y también el Bi, al menos en la sub-cuenca del río Navelgas.

Estudio de heterogeneidades composicionales e inclusiones minerales

Uno de los aspectos de mayor relevancia en la determinación del origen partículas de oro nativo es la presencia o ausencia de inclusiones minerales y, en su caso, la correcta identificación de las especies presentes, ya que pueden resultar de gran utilidad en la localización de las áreas de aporte, a través de las rocas encajantes. La microscopía electrónica es una herramienta sencilla y cómoda para estos fines, dado que permite obtener, simultáneamente, una potente magnificación en la observación de inclusiones minerales combinada con una interpretación de fases, si bien básica, a través del microanálisis. Las



mismas partículas consideradas en el apartado anterior fueron examinadas mediante un equipo JEOL 6610-LV. Durante la manipulación de la muestra, y tras la jornada de análisis mediante LA-ICP-MS, la partícula de oro nativo de menor tamaño de las recogidas en Foyedo se desprendió de la resina, con lo cual únicamente 6 de las 7 partículas originales han podido ser examinadas por esta técnica. Los principales hallazgos se comentan a continuación, de forma individualizada para cada partícula.

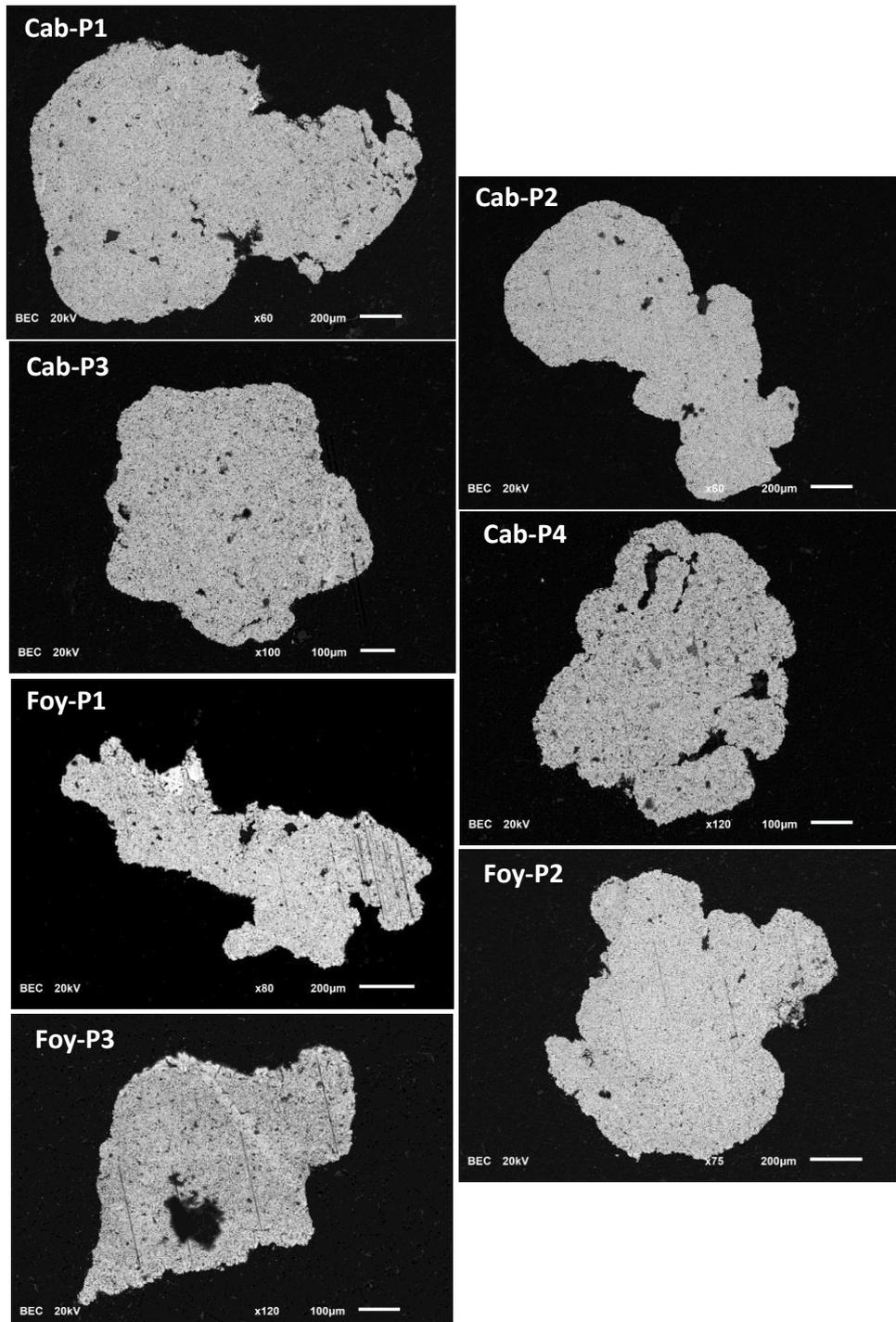


Figura 40. Partículas de oro nativo sobre las que se han realizado los estudios de inclusiones minerales y heterogeneidades composicionales.



En todos los casos la metodología seguida ha sido la misma: en primer lugar, se selecciona un área, homogénea en tono y sin inclusiones minerales visibles, y sobre ella se realiza un barrido de área, para una mejor representatividad y valorar con garantías el contenido en Ag. A continuación, y a mayor aumento, se seleccionan las inclusiones minerales más “limpias” y se realiza sobre las mismas un microanálisis, para tratar de identificar la fase mineral. Teniendo en cuenta la resolución del detector (138 eV) y la limitación de la técnica, se ha preferido no incluir los valores cuantitativos en la interpretación, basándose las deducciones que siguen únicamente en aspectos cualitativos o, a lo sumo, de ratio entre contenidos de dos elementos.

Partícula Cab-P1

Se trata de una partícula de buen tamaño, de forma angulosa o subangulosa y bastante homogénea en brillo (es decir, composición de elementos mayores) a excepción de una pequeña parte, más brillante, anexa al golfo central de la parte superior (ver Figura 40). Contiene abundantes inclusiones minerales, de tamaños variados.

El barrido de área se realizó en la parte inferior izquierda de la partícula, resultando el contenido en Ag de algo más de un 3%; el área más brillante a la que nos referíamos anteriormente no proporciona señal en Ag, por lo que se puede estimar que su contenido en este elemento es inferior al 0,5%. En todos estos barridos de superficies, siempre se detecta presencia de Si y O, por lo que debemos aceptar que existen pequeñas inclusiones de silicatos distribuidas por las superficies de las partículas. En lo que sigue, aceptaremos que la presencia de Si y O sin otros metales o elementos de los grupos 1 y 2 de la tabla periódica indica la presencia de cuarzo.

Los microanálisis realizados sobre las inclusiones minerales revelan la presencia de cuarzo y de minerales con las asociaciones elementales siguientes: Si-O-Al-K-(Fe) y Si-O-Al-Ca-(Fe). Existen diversas especies que podrían encajar con lo anterior, siendo lo más probable el grupo de los feldspatos (alcalinos y plagioclasas).

Partícula Cab-P2

Partícula de tamaño algo inferior a la anterior, más irregular en cuanto a forma y subredondeada. Es homogénea en señal de electrones retrodispersados y contiene abundantes inclusiones minerales. El área de barrido se seleccionó en la parte inferior del grano, en su sector central, arrojando un contenido en Ag de 1,17%.

El microanálisis de sus inclusiones minerales indica la presencia de cuarzo y otros silicatos, de asociación elemental Si-O-Al-Ca-(Mg).

Partícula Cab-P3

Partícula de tamaño inferior a las anteriores (en torno a 0,5 mm de diámetro) y morfología suavizada (subredondeada/redondeada que presenta, en su sector inferior derecho una llamativa alineación de tono más brillante, sobre la que no se detecta contenido en Ag. Como



en los casos anteriores, abundan las inclusiones minerales de silicatos, probablemente de feldespato alcalino (asociaciones Si-O-Al-K y Si-O-Al-Na), además de cuarzo.

Partícula Cab-P4

Partícula de tamaño y forma similares a la anterior, pero con inclusiones minerales más abundantes, más variadas y de mayor tamaño. El tono, exceptuando las inclusiones minerales, resulta relativamente homogéneo. El área de barrido inicial se sitúa en la parte central de la partícula, a aproximadamente 1/3 de la altura, y cuenta con un contenido en Ag del 7,61%. Existen en este caso dos tipos de inclusiones minerales; las de mayor tamaño y más oscuras son silicatos con asociación elemental Si-O-Al-K-(Fe) o Si-O-Al-Na-(Fe), mientras que las más claras, y de menor tamaño, se corresponden con óxidos de Ti. En la imagen siguiente se presenta, a la izquierda, el contraste entre ambos tipos de inclusiones minerales y, a la derecha, la mezcla íntima entre el oro nativo y los silicatos, que dificulta una identificación mineral con garantías en base a la composición química.

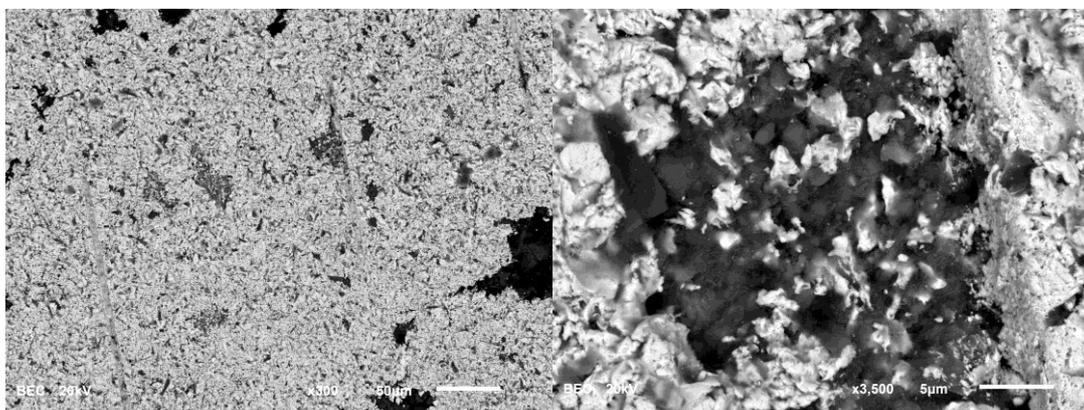


Figura 41. Partícula Cab-P4. Izquierda: diferencia en tono entre los dos tipos de inclusiones minerales de la muestra. Derecha: oro nativo finísimamente diseminado en los silicatos.

En los resultados de los microanálisis de esta partícula se presenta, repetidamente, un contenido en N en el orden de las unidades de %. Mineralógicamente, no parece ser una hipótesis aceptable. Es posible que dicho N sea en realidad Ti, ya que existe un solape de picos muy próximo en la línea establecida para el N ($(K\alpha_{1,2})_N=392,4$ eV; $(L_{1,2})_{Ti}=395,3$ eV).

Partícula Foy-P1

Esta partícula, de forma predominantemente elongada y muy caprichosa, es el mejor ejemplo de heterogeneidad composicional: en su parte superior izquierda presenta dos áreas, pequeñas, en las que el brillo es mayor, evidenciando una densidad electrónica superior. Sendos barridos de área en estas zonas proporcionan contenidos en Ag de 5,04 y 4,60%, respectivamente, mientras que tono mayoritario sería sinónimo de contenidos en este elemento bien por encima del 10% en peso. En este caso, las inclusiones minerales están formadas de forma exclusiva por cuarzo.

Partícula Foy-P2



Partícula subredondeada de algo más de 600 μm de diámetro máximo que cuenta con dos bandas, lineales, de mayor brillo: una en la parte superior derecha, de trazado NE-SW y otra, en la esquina inferior izquierda, de dirección NW-SE. Estas bandas contienen un 1,33% de Ag, frente a un 2,47% que proporciona un barrido de área en la parte central. Al igual que en caso anterior, el cuarzo es el único constituyente identificado en las inclusiones minerales.

Partícula Foy-P3

Se trata de una partícula pequeña, subangulosa, que presenta una alineación central, de rumbo NW-SE, más pobre en Ag (12,62% frente al 28,51% de contenido base, medido en una ventana por encima de la materia depositada encima de la superficie de la lámina de oro en su sector central). Es de destacar que el barrido de área es la única partícula en la que se ha detectado, mediante esta técnica, la presencia de Cu (1,16%).

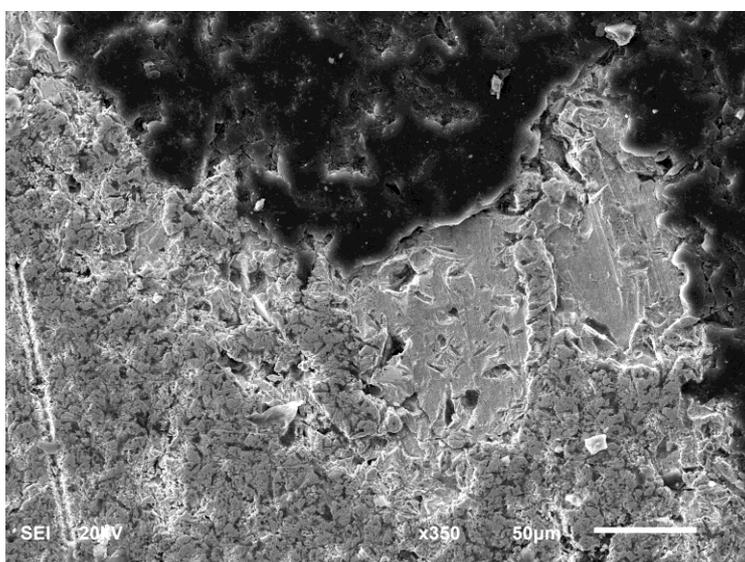


Figura 42. Partícula Foy-P1. Superficie de la muestra, según se observa mediante SEM-SEI. Nótese la irregularidad superficial de las zonas más ricas en Ag, frente al mejor pulido del oro nativo *sensu stricto*. A la izquierda se observa el trazado de una de las líneas de los arranques con el láser.

En síntesis, se puede resumir el contenido de este apartado en apuntar que la geoquímica de detalle es una herramienta más útil que la identificación mineral como trazador diferencial del origen del oro nativo, resultando adecuado en estas muestras Ag, Cu y, en menor medida, Bi. En la sub-cuenca del río Bárcena predominan las inclusiones minerales de silicatos de Al, propios de las rocas ígneas de naturaleza granítica, mientras que en la sub-cuenca del río Navelgas es más frecuente el cuarzo. Resulta de especial interés, en este último caso, la identificación de especies del grupo del rutilo como inclusiones minerales. Los contenidos en Ag varían en márgenes amplios, incluso a veces dentro de una misma partícula; en líneas generales, son mayores en las muestras del río Navelgas.

5.1.2.D Indicios de oro eluvionar en el entorno de San Feliz



San Feliz es una pequeña localidad situada a unos 15 km al NW de Navelgas y 1 km al SW de Trevías, en la parte norte del cinturón aurífero de Esva-Navelgas-Allande. La siguiente imagen muestra la posición de San Feliz respecto a algunas de las localidades referidas en el texto.



Figura 43. Situación del indicio de San Feliz, junto con otros de la parte norte del corredor Esva-Navelgas.

Aunque aflora muy mal, el entorno de San Feliz es atravesado por las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo, poco antes de cruzar bajo el río Esva a la altura de Trevías. Durante los años 2020 y 2021 se estaban realizando en la zona trabajos a ensanchamiento de pistas que permitían la observación de algunas secciones frescas, en las que se puede comprobar un buen desarrollo del suelo, siendo escasos los casos en los que la roca subyacente se llega a ver con claridad. Las siguientes imágenes corresponden a un afloramiento y a un detalle en muestra de mano del material que forma los suelos de esta localidad. Se puede observar el tono rojizo, presumiblemente debido a los abundantes óxidos de hierro, así como depósitos superficiales oscuros que salpican lo que parecen ser planos de fractura del macizo rocoso original, heredados en el proceso de formación del suelo.



Figura 44. Izquierda: aspecto de los suelos (eluviones) de San Feliz. Derecha: detalle, en muestra de mano, de los precipitados oscuros en planos de fractura.



Estas muestras resultan demasiado blandas para la ejecución de láminas delgadas, pero sí admiten un pulido aceptable tras ser embutidas en resina. La distribución de minerales opacos presentes está dominada por óxidos de Fe, Ti y, muy ocasionalmente, de Fe-Mn. Son muy frecuentes los óxidos tipo goethita, pseudomorfos de las piritas originales (ver Figura 45.A-B-C-D-E). En ocasiones, el núcleo de los cristales conserva el residuo pirítico (Figura 45.A-Figura 45.C). En este tipo de cristales, en ocasiones de dimensiones milimétricas, existe un marcado estriado que, si se observa mediante microscopía electrónica, se puede comprobar cómo se trata de láminas perfectamente intercaladas de óxido de Fe y de óxido de Ti, con restos de silicatos (Figura 46). Las láminas, que podrían indicar un proceso de exsolución son, desde el punto de vista químico, óxidos de Fe-Ti con un catión muy predominante en cada lámina, representando el otro en torno al 1% en peso. No se trata, por tanto, de la conocida combinación magnetita-ilmenita, ya que las analíticas obtenidas no son compatibles con el óxido doble.

El microanálisis EDS que proporciona el SEM ha permitido reconocer contenidos de Co en los núcleos piríticos de hasta el 3,16% (caso de la Figura 45.C), mientras que los barridos de superficie en la mayor parte de las zonas goethitizadas arrojan contenidos en Ni en el rango de elemento menor (0,25-0,87%), lo que podría ser interpretado como un enriquecimiento residual que no se cumple para el Co. Resulta muy llamativa la enorme frecuencia con la que las goethitas presentan huecos, de tamaños muy variables y de morfología habitualmente subredondeada, que en ocasiones pueden llegar a ocupar la mayor parte de la superficie del cristal (Figura 45.B-D-E). Estos huecos son siempre internos, y parecen corresponder a algún efecto en la fase final del reemplazamiento mineral de pirita por goethita. No todos los óxidos de Fe presentes en las muestras de suelo tomadas en San Feliz responden a los modelos anteriores: también son frecuentes, aunque cuantitativamente menos importantes, las alineaciones de precipitados químicos de óxido de Fe, que se entremezclan íntimamente con las especies silicatadas (Figura 45.F) y pueden llegar a proporcionar cierta señal de Mn en los barridos. En los siguientes grupos de imágenes se ilustran algunos de los efectos comentados anteriormente.

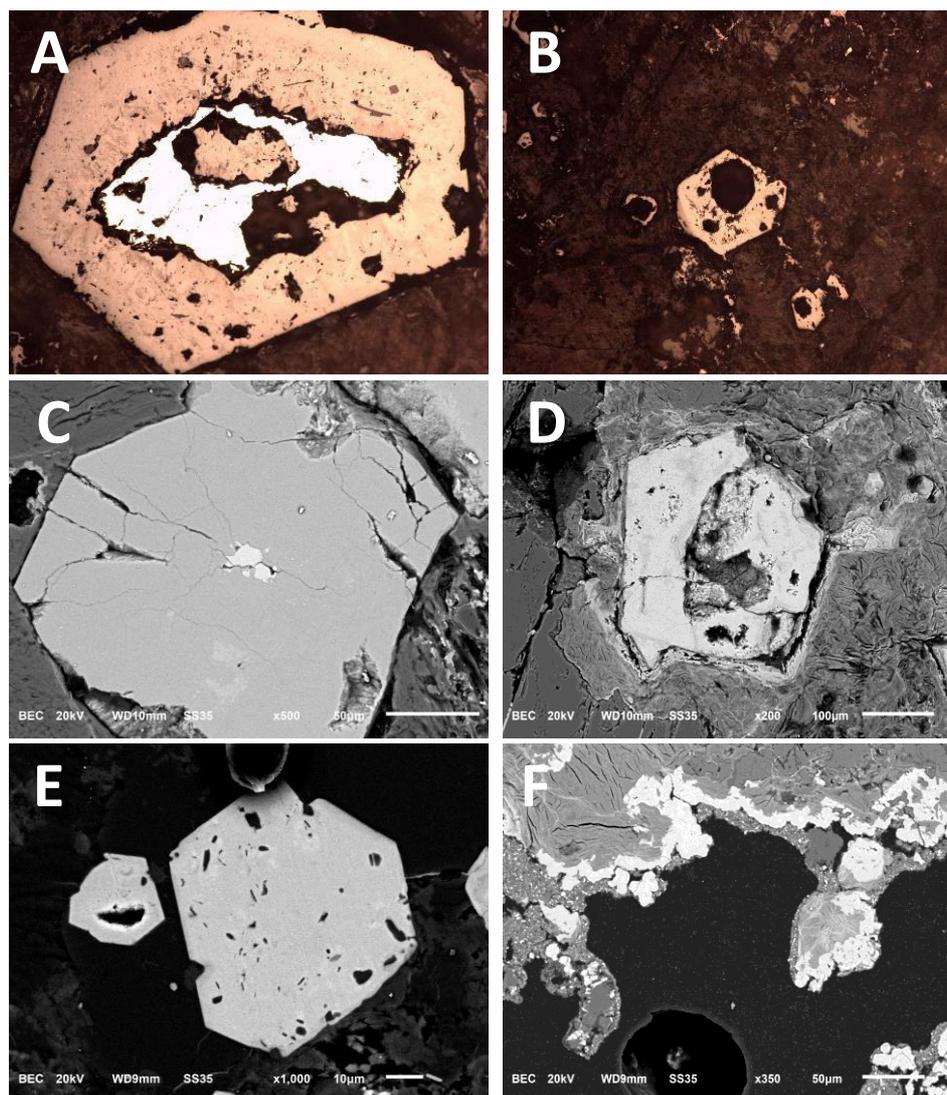


Figura 45. A y C. Imágenes, de MOP y SEM-BEC respectivamente, mostrando reminiscencias de pirita en la parte central de algunos cristales de goethita. B, D, E. Imágenes de MOP (B) y SEM-BCE (D y E) mostrando los huecos internos típicos en los cristales de óxidos de Fe. F: orla de óxidos de Fe, no pseudomorfos de piritas, también presentes en las muestras de San Feliz. Encuadre horizontal: 650 μ m (A) y 1,3 mm (B).

El resto de los constituyentes minerales del suelo son, en su práctica totalidad, filosilicatos en los que el grupo catiónico está dominado por K-Mg-Na y, en mucha menor medida, por Ca. Se percibe con claridad la estructura laminar, aspecto facilitado por la presencia de láminas más ricas en Fe, que presentan un contraste claro del brillo (ver, por ejemplo, parte central de la mitad derecha de la Figura 45.F). También es frecuente el cuarzo detrítico en tamaño limo.

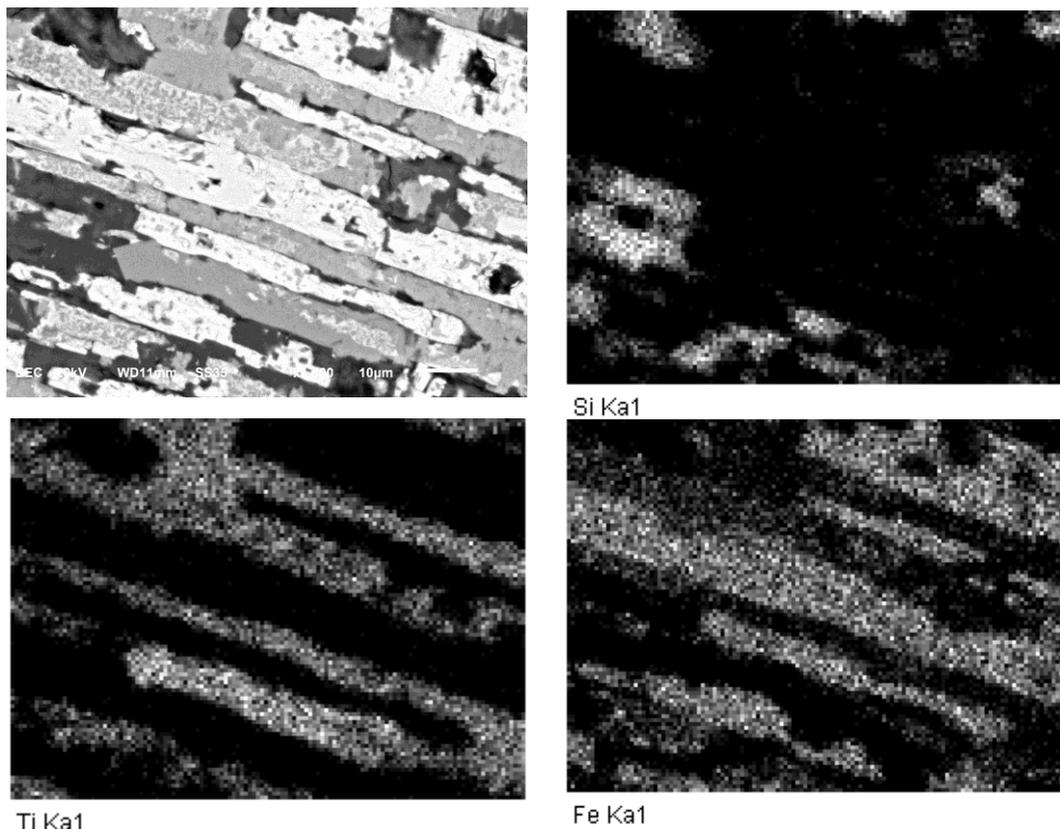


Figura 46. Mapping de Fe, Ti y Si (en todos los casos a partir de las líneas $K_{\alpha 1}$) en un campo de los cristales estriados que combinan óxido de Fe y de Ti.

Teniendo en cuenta el origen, posiblemente endógeno, de las piritas originales que se han ido transformando durante la edafogénesis en las goethitas que ahora vemos, y su relativa apariencia similar (salvando la intensidad de la meteorización) con las observadas en las partes oxidadas de la mineralización de Navelgas, se consideró oportuno realizar microanálisis de mayor detalle para evaluar su posible contenido en metales preciosos. En trabajos anteriores (Álvarez y Ordoñez, 2010), y a partir estudios mediante EPMA, se determinó que las goethitas de Navelgas presentan contenidos medios de 700 mg/kg de Au. Así, se seleccionó una muestra tomada en el punto mostrado en la Figura 44 (izquierda), en las inmediaciones del “Caleiro” de San Feliz, lo que evidencia la proximidad de la Fm Vegadeo, a pesar de que en este sector resulta irreconocible. Sobre los cristales de goethita se realizaron una serie de microanálisis, utilizando una rutina de óxidos y determinado el contenido absoluto en: Si, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, As, Ag, Au y Bi. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (todos ellos expresados en % en peso):



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Elemento/Punto	Si	Al	Ti	Fe	Mn	Cu	As	Ag	Au	Bi	O	Total
1 / 1 .	2,0118	0,0019	0,0036	56,0873	0,0000	0,0184	0,0358	0,0137	0,0000	0,5463	26,4603	85,1791
2 / 1 .	1,2224	4,3300	0,0517	49,6785	0,0035	0,0092	0,2193	0,0113	0,2568	0,0000	26,6602	82,4430
5 / 1 .	2,0594	4,3720	0,0492	48,1548	0,0025	0,0235	0,0559	0,0095	0,0157	0,5849	27,0567	82,3840
6 / 1 .	2,0612	4,1998	0,0109	48,9761	0,0094	0,0278	0,2577	0,0373	0,0000	0,1882	27,2438	83,0122
8 / 1 .	1,8524	4,8201	0,0877	48,1908	0,0050	0,0000	0,0699	0,0161	0,0000	0,0000	27,1202	82,1621
9 / 1 .	5,0092	5,3877	0,0000	42,4718	0,0000	0,0000	0,0630	0,0186	0,1390	0,4507	28,8346	82,3745
11 / 1 .	3,8043	4,5867	0,0601	44,7135	0,0050	0,0065	0,0824	0,0074	0,0000	0,0781	27,7050	81,0490
15 / 1 .	1,2336	5,6663	0,0774	47,3303	0,0134	0,0193	0,0619	0,0161	0,0000	0,0000	26,7736	81,1917
18 / 1 .	0,9681	5,2038	0,0000	46,9091	0,0000	0,0272	0,1752	0,0043	0,0000	0,1442	25,9685	79,4003
21 / 1 .	1,8126	3,7934	0,0159	50,4815	0,0133	0,0129	0,1167	0,0303	0,0000	0,1991	27,2080	83,6836
22 / 1 .	0,9194	5,2027	0,0000	47,3236	0,0064	0,0000	0,1293	0,0174	0,1734	0,5084	26,1340	80,4144
27 / 1 .	2,0362	2,3117	0,0040	51,3549	0,0133	0,0263	0,1620	0,0000	0,0262	0,0000	26,4043	82,3389
28 / 1 .	1,3413	0,0201	0,0645	56,7461	0,0000	0,0106	0,0844	0,0073	0,0000	0,0000	25,8538	84,1280
29 / 1 .	2,0463	0,0955	0,0002	56,1331	0,0000	0,0000	0,1084	0,0000	0,1037	0,0000	26,5078	84,9951
30 / 1 .	1,1636	0,0083	0,0000	57,1275	0,0000	0,0448	0,0146	0,0230	0,0000	0,6798	25,9194	84,9809
31 / 1 .	2,2279	3,4998	0,0093	49,5562	0,0000	0,0334	0,2442	0,0000	0,0000	0,3749	27,0809	83,0267
34 / 1 .	2,0304	3,5957	0,0233	49,2313	0,0000	0,0314	0,1964	0,0104	0,0000	0,0000	26,7000	81,8189
36 / 1 .	2,1046	2,7123	0,0597	50,5915	0,0148	0,0000	0,1725	0,0000	0,0000	0,0000	26,6219	82,2772
37 / 1 .	1,7365	2,1078	0,1172	51,6533	0,0000	0,0127	0,0508	0,0009	0,0208	0,5903	26,2171	82,5075
38 / 1 .	2,4256	0,0955	0,0029	54,8781	0,0000	0,0064	0,0145	0,0000	0,2804	0,7091	26,5514	84,9640
40 / 1 .	2,2892	4,9664	0,0094	46,7346	0,0203	0,0000	0,0738	0,0009	0,1314	0,5642	27,2244	82,0145
41 / 1 .	1,8918	3,7742	0,0832	50,3018	0,0000	0,0000	0,0834	0,0125	0,0263	0,0994	27,2155	83,4881
42 / 1 .	2,2211	0,0340	0,0000	56,1495	0,0000	0,0417	0,0729	0,0244	0,0000	0,0000	26,6778	85,2213
43 / 1 .	1,8267	3,2036	0,0478	52,1442	0,0084	0,0789	0,1360	0,0142	0,0000	0,3413	27,4712	85,2723
44 / 1 .	1,8651	4,9487	0,0437	48,6163	0,0104	0,0000	0,2660	0,0004	0,0000	0,1442	27,5448	83,4397
45 / 1 .	2,0568	0,7740	0,0152	54,4538	0,0000	0,0000	0,0953	0,0198	0,0000	0,0000	26,4068	83,8217
46 / 1 .	2,4458	0,5055	0,0172	54,4409	0,0250	0,0000	0,0500	0,0000	0,5541	0,0000	26,7232	84,7617
47 / 1 .	2,2054	0,3044	0,0123	55,6009	0,0024	0,0127	0,0452	0,0000	0,0520	0,2729	26,7416	85,2499
48 / 1 .	2,0212	0,0897	0,0000	55,8680	0,0063	0,0163	0,0211	0,0129	0,3272	0,0000	26,3848	84,7475
Mínimo	0,9194	0,0083	0,0000	42,4718	0,0000	0,0000	0,0145	0,0000	0,0000	0,0000	25,8538	79,4003
Máximo	5,0092	5,6663	0,1172	57,1275	0,0250	0,0789	0,2660	0,0373	0,5541	0,7091	28,8346	85,2723
Media	2,0614	2,7657	0,0293	51,0761	0,0059	0,0157	0,1095	0,0105	0,0706	0,2056	26,8167	83,1670
Desviación est	0,8242	2,0944	0,0343	4,0338	0,0072	0,0192	0,0727	0,0107	0,1334	0,2416	0,6541	1,6320

Tabla 9. Resultados brutos y análisis univariante de los mismos (microanálisis con EPMA sobre goethitas del área de San Feliz).

Como se puede observar en la tabla anterior, los elementos mayores, obviamente además del Fe y del O, son el Si y el Al. Esto no es raro en absoluto, al tratarse de una muestra de suelo eluvionar rica en materia mineral, en la que abundarán los silicatos, particularmente algunos filosilicatos. Los elementos menores son, considerando valores medios, el As (0,11%) y el Bi (0,20%), ambos considerados “pathfinders” para mineralizaciones hidrotermales de Au. De los elementos traza (el resto de entre los analizados), el que aparece en concentraciones mayores es precisamente el Au, con un valor medio de algo más de 700 mg/kg, y un valor máximo de 5541 mg/kg. Los ratios Au/Ag se sitúan entre 10 y 25. Los contenidos de Au encontrados en estas goethitas se corresponden en orden con los obtenidos por Álvarez y Ordóñez (2010) para las piritas y goethitas de la mineralización de Navelgas. La presencia de Au en esta forma y en este emplazamiento es un hallazgo original que, por sí sólo, justificaría la necesidad de realizar estudios de mayor calado en este sector, en el que únicamente se conocen indicios, ahora sin interés económico, de Fe y Mn. Con los datos de la tabla anterior se ha realizado un análisis multivariante, con objeto de determinar si los coeficientes de correlación arrojaban algo más de luz sobre los aspectos geoquímicos. Los resultados obtenidos son los siguientes:



	Si	Al	Ti	Fe	Mn	Cu	As	Ag	Au	Bi	O
Si	1										
Al	0,07	1									
Ti	-0,14	0,29	1								
Fe	-0,33	-0,95	-0,22	1							
Mn	-0,01	0,23	0,01	-0,19	1						
Cu	-0,22	-0,10	-0,14	0,20	-0,16	1					
As	-0,18	0,46	-0,03	-0,36	0,11	0,12	1				
Ag	-0,05	0,13	-0,13	-0,05	-0,11	0,27	0,00	1			
Au	0,13	-0,23	-0,26	0,16	0,37	-0,33	-0,26	-0,24	1		
Bi	0,07	0,00	-0,17	-0,04	-0,20	0,15	-0,32	-0,02	-0,01	1	
O	0,76	0,52	0,07	-0,62	0,16	-0,08	0,15	0,16	-0,05	0,05	1

Tabla 10. Coeficientes de correlación obtenidos a partir de los datos de la tabla anterior.

Solamente existen tres valores significativos, todos positivos, del coeficiente de correlación, que corresponden, por orden de importancia, a las parejas Fe-Al, Si-O y Fe-O: los dos últimos no deben extrañar en absoluto, ya que se trata de microanálisis sobre óxidos de Fe en una muestra de suelo. La pareja Fe-Al, sin ser rara, no resulta tan evidente, pudiendo indicarse, únicamente y como generalidad, que estos óxidos de Fe se encuentran enriquecidos en Al. El Au, por su parte, no está relacionado ni con el As, ni con el Bi, ni con la Ag, como cabría esperar. Se trata, por tanto, de Au refractario invisible que no se moviliza durante el intenso proceso de meteorización.

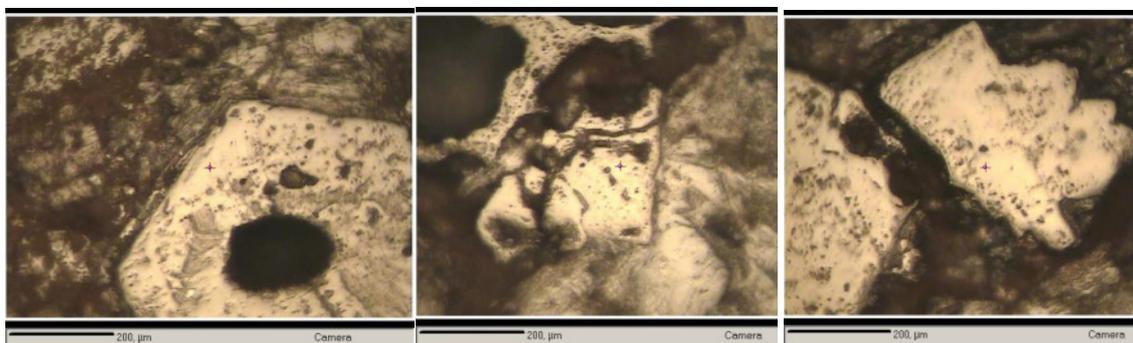


Figura 47. En el centro de las imágenes, puntos de análisis (ver Tabla 9) 29, 46 y 48, respectivamente.

5.1.2.E Los depósitos terciarios discordantes

De manera preferente, aunque no exclusiva, sobre el conjunto pizarroso del Narcea existen en la zona de estudio depósitos de materiales detríticos que se disponen subhorizontales y a los que clásicamente se les ha venido atribuyendo una edad terciaria (Llopis y Martínez-Álvarez, 1960). Suelen contar con varias decenas de metros de potencia y combinan facies arcillosas (predominantes) con otras netamente conglomeráticas, de canto subredondeado de naturaleza cuarcítica. Su extensión es, en ocasiones, considerable; los mejores ejemplos se pueden ver, tal y como se comentó en el capítulo 3.2, en el alto de Forcallao, en la vertiente S de la sierra



de Pedruces y en el límite con la cuenca del Narcea, en las inmediaciones del cruce de El Espín.

Todos estos niveles se muestrearon en los taludes de la AS-219, tomando aproximadamente un metro lineal de muestra en el sentido vertical. En el caso de El Espín, se tomaron dos muestras de granulometría diferente; una superior, de facies conglomerática y otra inferior, limoso-arenosa sin tamaños grava (ver figura siguiente). Estas muestras, de varios kg cada una de ellas, fueron ensayadas a la batea tras eliminar la fracción más gruesa, reservándose las colas para análisis ya que el único objetivo era valorar la presencia o no de oro, hipótesis establecida por el hecho de que los sedimentos terciarios provienen, idealmente, de la denudación del basamento paleozoico, indicando además el contexto global que los eventos mineralizadores son tardihercínicos.



Figura 48. Izquierda, arriba: cruce de El Espín; Izquierda, abajo: La Cabuerna-Tablado del Río; Derecha: alto de Forcallao, en el desvío a Miño.

Cabe en este punto hacer mención expresa a que el trazado cartográfico de estos retazos terciarios en la serie MAGNA no se ajusta del todo bien a la realidad, especialmente el afloramiento de la falda meridional de la sierra de Pedruces, que se extiende al menos hasta la cota 350, correspondiente al trazado actual de la carretera (ver figura anterior, izquierda inferior).

Los concentrados a la batea, una vez secos, fueron enviados al laboratorio ALS para, a través de su procedimiento AAS-25 (fire assay) determinar el contenido en Au.

Finalmente, con ayuda de una barra magnética, se separaron de las colas de bateo las fracciones magnéticas, y con el material recuperado de esa forma se elaboraron secciones pulidas que fueron examinadas mediante MOP. Únicamente las muestras de Miño y El Espín fracción gruesa presentaban un acabado adecuado para examen microscópico. Ambas contenían granos diversos de minerales transparentes y, por lo tanto, no identificables en modo reflexión. En todo caso, muchos de ellos son silicatos con inclusiones de óxido férrico. Entre los



opacos, la especie predominante es el hematites, oqueroso, habitualmente redondeado, pero también pseudomorfo de pirita, y muy frecuentemente impuro, con multitud de inclusiones minerales de fases transparentes, a veces de buen tamaño. La goethita y la magnetita, también presentes, son mucho menos frecuentes. También abundan los óxidos de Ti, a menudo con las clásicas texturas aciculares formando enrejados. En la muestra de El Espín se ha observado, curiosamente, la presencia de al menos tres cristales de cinabrio.

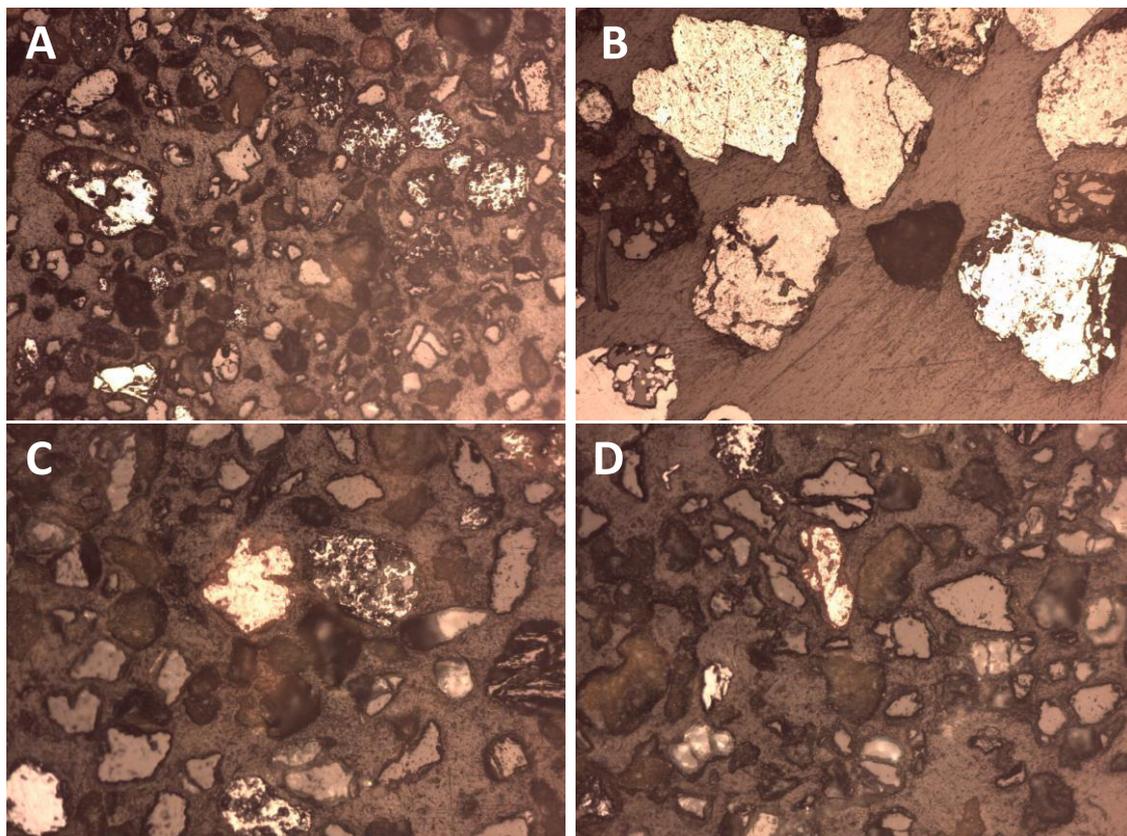


Figura 49. A) Concentrado de El Espín: los minerales más reflectantes de la mitad superior son hematites; el de la inferior izquierda, magnetita; B) Concentrado de Miño: rutilo (primer cuadrante), hematites (tercer cuadrante) y transparentes. C y D. Muestra de El Espín: la partícula reflectante del centro de cada imagen es cinabrio. Encuadre horizontal: A y B: 1,3 mm. C y D: 650 µm.

5.1.2.F Síntesis

Una vez comentados y descritos los diferentes tipos y manifestaciones de mineralizaciones auríferas presentes en la cuenca del Esva, resulta procedente hacer alguna reflexión relativa a los controles que gobiernan su distribución espacial. Estos controles, en una primera aproximación, se pueden dividir, según su naturaleza, en estratigráficos, litológicos y estructurales.

Controles estratigráficos

Las unidades carbonatadas poseen, a priori, una mayor reactividad para potencialmente desarrollar y/o albergar mineralización metálica de origen hidrotermal. De este modo, la Fm



Vegadeo y el miembro dolomítico de la Fm Cándana serían las guías más interesantes. Es bien sabido, por otra parte, que los términos dolomitizados son aún receptivos a la mineralización epigenética que los calcáreos, debido a la ganancia de porosidad y permeabilidad que habitualmente ocurre durante el proceso de la dolomitización. También es un hecho comprobado que la presencia de materia orgánica favorece la precipitación de sulfuros al crear microambientes en condiciones reductoras. No se ha cuantificado el contenido en carbono orgánico en las dos unidades citadas, aunque a priori no cabe esperar que sea elevado especialmente en el nivel de areniscas, de edad cámbrica y ambiente fluvial. Los indicios primarios de Au más destacados (Navelgas, La Mortera y Santiago Cerredo) se sitúan sobre la Fm Vegadeo, mientras que los de La Oscura o Los Fornones se sitúan sobre el trazado del nivel dolomítico de la Fm Cándana. Pero la presencia de oro aluvionar en Foyedo o en la cuenca alta del río Bárcena atestiguan la presencia de mineralizaciones primarias sobre el conjunto pelítico-cuarcítico conocido como "Serie de Los Cabos". Entre las cuarcitas y las pizarras, las primeras serían algo más favorables como roca de caja: ambas son muy poco reactivas desde el punto de vista químico, pero al menos las cuarcitas, con comportamiento frágil ante los esfuerzos, se fracturan, abriendo vías prioritarias para la circulación de fluidos.

Controles litológicos

Nos referimos bajo esta denominación a la presencia de rocas ígneas, dado que los magmas son la fuente primaria de los metales, que posteriormente podrán removilizarse (o no) en condiciones superficiales. La presencia de rocas ígneas es, en lo conocido, bastante limitada en la cuenca del río Esva, y se restringe a intercalaciones volcánicas de aparentemente poca entidad (y difíciles de localizar) y a unos diques de rocas verdes emplazados sobre superficies de cabalgamiento cuyo estudio se abordará en el capítulo posterior. Los apuntamientos ígneos están relacionados con la mayoría de los yacimientos auríferos del occidente asturiano, como son los casos de Salave, Carlés y El Valle-Boinás. En estos depósitos, las intrusiones son de carácter ácido (granitos, granodioritas y monzogranitos), lo que se reconoce como un signo favorable en la búsqueda de mineralizaciones de Au. Los trabajos previos de prospección llevados a cabo en La Mortera y Santiago Cerredo citan la presencia de rocas ígneas en las inmediaciones de las cortas romanas. En el oro nativo de La Cabuerna (río Bárcena) aparecen inclusiones minerales de cuarzo y feldespatos.

Controles estructurales

En primera aproximación, los pliegues anticlinales serían las estructuras en las cuales se produce la mayor densidad de fracturación, más desarrollada en las litologías de carácter frágil. Durante el plegamiento es frecuente la formación de fracturas longitudinales a los ejes de los pliegues, así como sistemas conjugados con respecto a los principales. Especial interés poseen las zonas de intersección entre ambos sistemas de fractura. En cualquier caso, en la zona de estudio las rocas se disponen en una gran estructura monoclinial, pudiendo



únicamente hablarse de pliegues bien definidos en el caso del sinclinal cuyo eje se sitúa entre Trevías y Ore, que se enlaza con un anticlinal en la terminación nororiental de la cuenca del río Esva. En todo este sector, no existen indicios conocidos de Au primario.

Los cabalgamientos de Allande (o Allande-Navelgas-Esva) y Montefurado (o Montefurado-Burgazal, ver Figura 7) son estructuras regionales subparalelas separadas entre ellas aproximadamente unos 6 a 7 kilómetros, de dirección noreste-suroeste. Ambas estructuras son subverticales o buzan con altos ángulos hacia el oeste. El cabalgamiento de Allande es el responsable de que la Fm Vegadeo aflore a cotas relativamente elevadas respecto a la topografía general del oeste asturiano, y que lo haga de una forma aceptablemente continua, subparalela a la estructura. Asimismo, a lo largo de esta gran fractura aparecen algunos apuntamientos ígneos, en algunos casos con potencial interés económico. A lo largo del cabalgamiento de Montefurado no aflora ninguna unidad carbonatada, pero sí aparecen niveles de metadiabasas mineralizadas (ver apartado siguiente). No se ha realizado investigación mediante sondeos profundos en esta estructura, por lo que no se conoce la evolución en profundidad de estos diques. Su relación con las mineralizaciones existentes en las grandes cortas romanas presentes en su recorrido, como es el caso de La Freita o Carcabón de Orúa (ambas fuera de la zona de estudio) han sido sugeridas, pero nunca probadas de forma concluyente.

Finalmente, los sistemas de fractura NW-SE no han sido, hasta el momento, objeto de atención. Corresponden a fracturas cuyo origen probablemente esté relacionado con las estructuras hercínicas dominantes, formando sistemas conjugados con respecto al principal (NE-SW).

Existen muy diversas representaciones gráficas de los indicios de Au en la mitad occidental de Asturias; si tomamos, con criterios simplistas y prácticos, la que se presenta a continuación (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2010), encontraremos que los emplazamientos más importantes son Salave (1), los correspondientes al cinturón del río Narcea (números 38 a 43) y los localizados sobre el lineamiento Allande-Navelgas-Esva (números 18 a 30). De entre estos últimos, los situados más al norte se localizan en la cuenca del Esva. El indicio más septentrional en la figura corresponde al número 18 (San Pedro de Paredes), quedando de manifiesto en capítulos anteriores la existencia de otros indicios de oro, no citados anteriormente, hacia el norte de dicho punto.

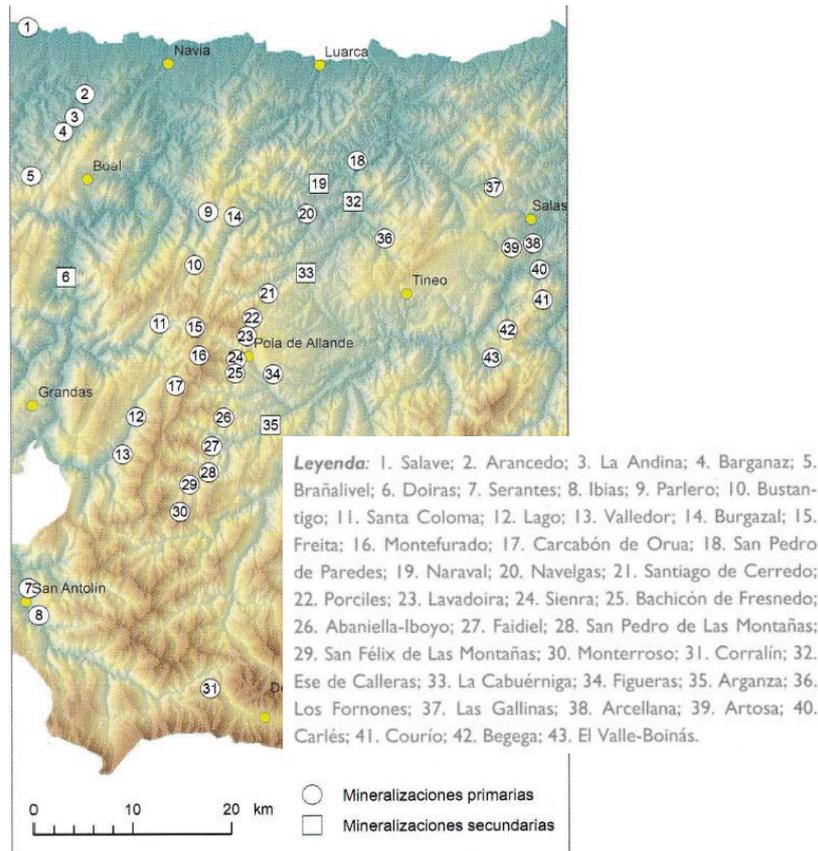


Figura 50. Localización de los principales indicios auríferos (primarios y secundarios) en el occidente asturiano (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2010).

Resulta curiosa la buena alineación de los indicios es 19, 32 y 36 (Naraval, Ese de Calleras y Los Fornones, respectivamente) a favor de una estructura NW-SE; prolongando esta lineación hacia el SE, parece conectar con el indicio 43, que no es otro que la mina activa de El Valle-Boinás. Análogamente, el sector de San Feliz, aunque no mostrado en la figura anterior, conectaría mediante una estructura paralela con los indicios número 39 y 40 y que corresponden a La Ortosa y la segunda mina activa de oro de la región (Carlés).

Así, de forma conjugada a los tres corredores (o "cinturones") principales, podrían existir otras lineaciones (WNW-ESE) que, en ocasiones (caso de Salave o de los indicios/yacimientos del cinturón del río Narcea, 3 Moz de oro explotado o en recursos probados) controlarían el emplazamiento de rocas ígneas, que a su vez constituyen otro criterio favorable de prospección.

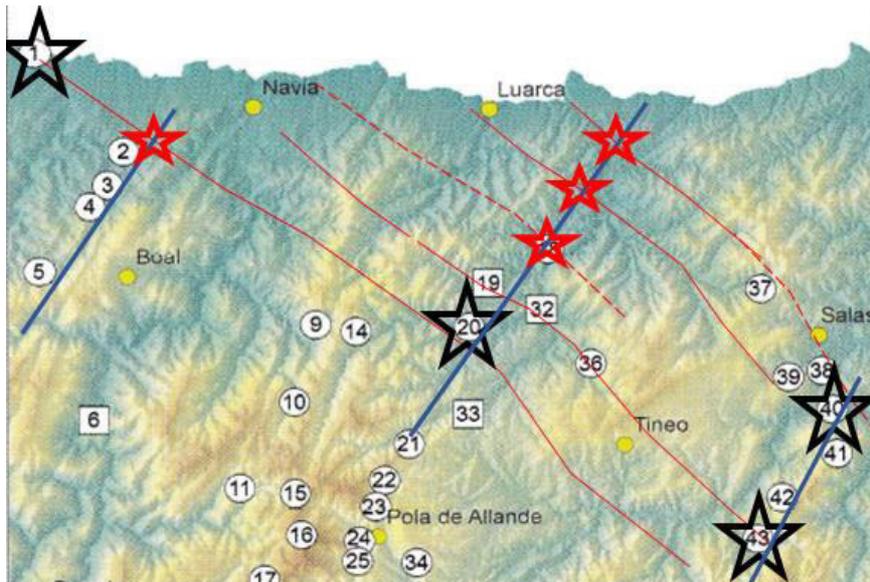


Figura 51. Trazado de las posibles estructuras WNW-ESE, con indicación de indicios (estrella roja), yacimientos ya explotados (estrella negra) y lineaciones principales (línea azul). Leyenda igual a la figura anterior.

5.2 MINERALIZACIONES DE COBRE Y ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO EN DIABASAS

Localización e introducción

La localidad de Burgazal se sitúa a unos 7 km al oeste de Navelgas, cerca ya del alto de Brañúas, que constituye la divisoria con la cuenca del Navia. Geológicamente, Burgazal se localiza sobre el trazado del cabalgamiento de Montefurado, fractura de rumbo NE-SW en virtud de la cual la Serie de Los Cabos se repite por encima de la Fm Pizarras de Luarca (ver Figura 53). Esta estructura es la responsable de la aparición de una serie de indicios y explotaciones romanas asociadas, todas ellas situadas al S, fuera de la zona de estudio y ya en la hoja de Cangas del Narcea (50).



Figura 52. Burgazal, visto desde el S. Al fondo, pico de la Peña de los Peneos.



La singularidad que dota de cierto interés geológico este emplazamiento es la presencia de unos diques de rocas verdes, de grano grueso, y que Marcos (1973) describe como manifestaciones ígneas tardías (probablemente posthercínicas) de naturaleza diabásica. El mismo autor indica que se trata de rocas muy retromorfoseadas, con gran cantidad de epidota y anfíboles actinolíticos de origen secundario. Según la cartografía de la serie MAGNA (ver figura siguiente), el dique tendría unos 150 m de espesor y presentaría una continuidad cartográfica buena tanto a N como a S. En los reconocimientos de campo efectuados no ha sido posible comprobar tal continuidad, aunque sí se han podido reconocer dos afloramientos parciales, situados muy aproximadamente donde quedan establecidos los límites (muro y techo) del dique en cuestión. A pesar de haber recorrido la zona de forma bastante detallada, tampoco ha sido posible confirmar la continuidad de esta unidad en las inmediaciones de Coldobrero.

Se ha observado, igualmente, la presencia, encajados en los metasedimentos cambro-ordovícicos, y sin relación aparente con los diques, algunos filones de cuarzo de hasta 15 cm de potencia. Este cuarzo se ha muestreado, y se ha analizado para su contenido en metales (ICP-MS), no observándose ningún valor de interés. Su contenido en Au fue determinado por "fire assay", también con resultados negativos.

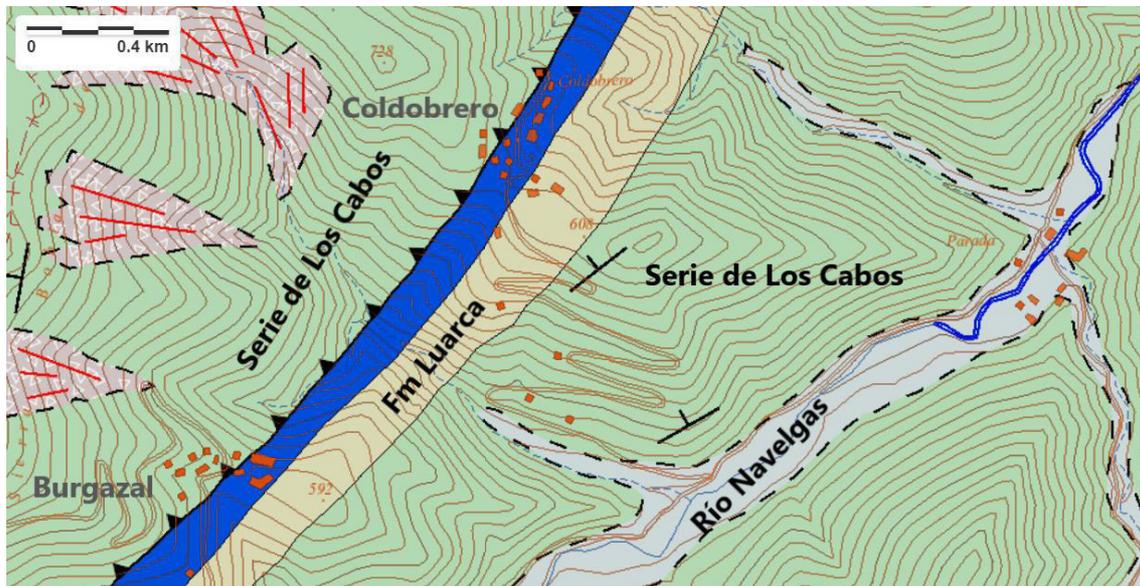


Figura 53. Extracto del mapa geológico continuo de España. El nivel de rocas verdes se indica en azul, sobre el trazado del cabalgamiento de Montefurado.

Estudio petrográfico y geoquímica de la roca total

Se trata de una roca holocristalina, de tamaño grano medio y mesocrática. Su textura varía de intergranular diabásica a subóptica y sus minerales esenciales son plagioclasa, clinopiroxeno, actinolita y clorita. Como principales accesorios, cabría señalar titanita, epidota-clinozoisita, leucoxeno e ilmenita. Sobre un entramado de plagioclasa de carácter ácido (An_{5-15} , fresca, con leyes de macla albita, periclina y albita-Carlsbad) cristalizan abundantes cristales de



clinopiroxeno ($2V_2=33-37^\circ$, $Zc=43^\circ$), pudiendo tratarse de un diópsido rico en Mg o bien de una augita pigeonítica. En ocasiones, la plagioclasa aparece deformada de forma dúctil. El piroxeno está de parcial a totalmente transformado en un anfíbol de carácter actinolítico (ocasionalmente es posible ver cristales aislados de actinolita). Esta transformación se lleva a cabo a través de un proceso de hidratación a alta temperatura denominado “uralitización”. Se observa también un proceso de cloritización notable; las cloritas presentan una birrefringencia muy baja y su índice de refracción no es elevado, por lo que puede tratarse de clinocloro. Respecto a los minerales de Ti, se observan dos tipos: uno, primario (titanita sensu stricto) y leucoxeno, que transforma totalmente a las ilmenitas esqueléticas. En algunas láminas, existen zonas de deformación frágil-dúctil, en las que el entramado de plagioclasas idiomorfas albiticas está deformado y relleno por actinolita, con abundante clorita y epidota

En síntesis, se podría señalar que la paragénesis primaria magmática (clinopiroxeno+plagioclasa+titanita) se transforma a una paragénesis de menor temperatura (actinolita+plagioclasa –albita–+leucoxeno+epidota+clorita). En cuanto a su clasificación, estos tipos serían epidibasas.

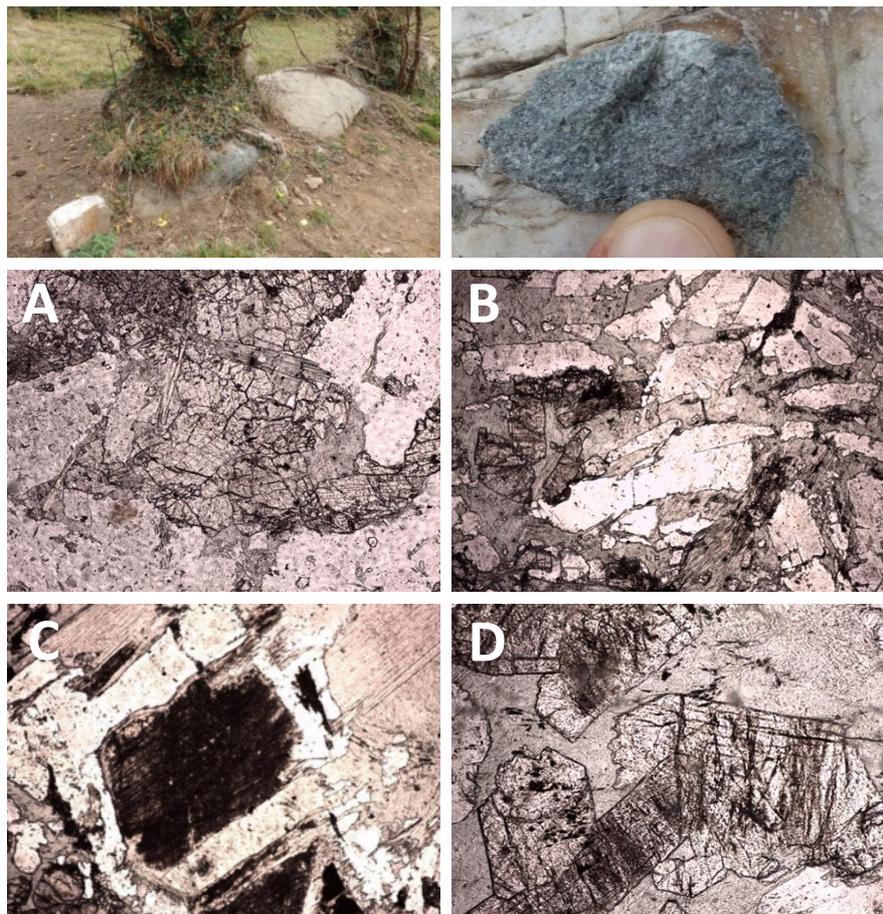


Figura 54. Fila superior: aspecto en afloramiento y en muestra de mano de las epidibasas de Burgazal. A: epidota, actinolita (en el centro) y clinopiroxeno. B: plagioclasa con epidota. C: uralitización del clinopiroxeno. D: actinolita y epidota, con maclas y clivajes característicos. Encuadre horizontal: A, B y D: 1,3 mm. C: 650 μ m.



El análisis de elementos mayores, determinado mediante FRX-WDS y expresado en % en peso, se muestra en la siguiente tabla:

SiO ₂	50.39
Al ₂ O ₃	12.23
Fe ₂ O ₃	13.26
MnO	0.21
MgO	7.15
CaO	8.39
Na ₂ O	4.13
K ₂ O	0.20
TiO ₂	1.41
P ₂ O ₅	0.15
L.O.I	2.39
TOTAL	99.89

Tabla 11. Composición, en óxidos (% en peso) de las epidibasas de Burgazal.

Atendiendo a los resultados anteriores, y considerando los valores de SiO₂ y de saturación en Al₂O₃, se trataría de una roca de carácter básico y metaaluminosa.

Estudio mediante microscopía óptica en modo reflexión y mediante microscopía electrónica

Durante el examen con lupa binocular, se puso de manifiesto la presencia de una débil mineralización metálica en las epidibasas de Burgazal, más evidente en las muestras tomadas a muro del dique. En una primera aproximación, se trata de sulfuros metálicos –al menos pirita- en tamaños medios y finos. Con objeto de identificar las fases opacas, se realizaron varias secciones pulidas, que fueron posteriormente estudiadas mediante microscopía óptica.

La paragénesis metálica que se ha identificado es relativamente simple, pirrotina-pirita-calcopirita, siendo los sulfuros de Fe mucho más importantes desde el punto de vista cuantitativo que la calcopirita, que es escasa. El conjunto de especies metálicas aparece, a su vez, bajo dos formas diferentes: en forma de grandes cristales (incluso de tamaños superiores a 1 mm), con una asociación muy íntima entre pirita y pirrotina, y también contorneando a grandes cristales de los minerales primarios de la roca, llegando a introducirse en ocasiones en los planos de clivaje del clinopiroxeno. La pirrotina muestra un carácter generalmente precoz con respecto a la pirita, aunque también se han observado indicios de una precipitación mineral prácticamente simultánea; además, en cristales de buen tamaño y euhedrales de pirita, en ocasiones existen zonas de meteorización incipientes según las leyes geométricas del sistema cúbico, que son parcialmente rellenadas con pirrotina. No ha sido posible establecer una relación temporal concluyente entre la pirita y la calcopirita. En los escasos campos en los que aparecen asociadas, parecen mostrar crecimiento en equilibrio. No se ha observado la presencia de pentlandita en asociación con la pirrotina. La mineralización sulfurada está



siempre fresca y con escasos indicios de meteorización, casi exclusivamente ligados a la pirita. Estos aspectos se ilustran gráficamente en las siguientes figuras:

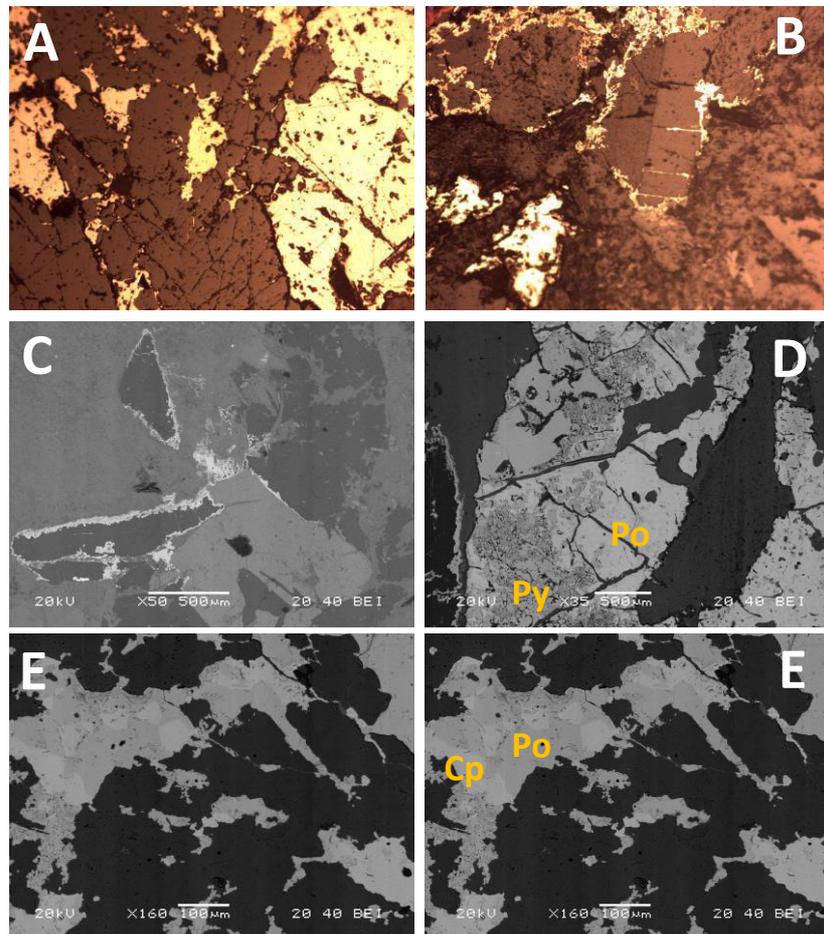


Figura 55. Imágenes tomadas con microscopía óptica en modo reflexión (A y B) y electrónica (C-D-E). A. Pirita (derecha) y pirrotina (izquierda) cristalinas, rellenando espacios. B y C. Pirita rodeando cristales de la roca original (B, plagioclasa, C, titanita) y planos de exfoliación. D. Asociación pirrotina (Po)-pirita (Py) en algunos cristales. E. Asociación pirrotina-calcopirita (Cp). Encuadre horizontal: A: 1,3 mm. B: 650 μ m.

Microanálisis en las fases sulfuradas

El último paso para tratar de dilucidar un posible interés económico de la mineralización metálica descrita en el apartado anterior, teniendo en cuenta tanto la naturaleza de la roca como la paragénesis metálica, y dada la ausencia de especies de Ni, pasaría por cuantificar la presencia de elementos del grupo del Pt (EGPs) en la red cristalina de los sulfuros. Con este objeto, se seleccionó una de las muestras que, junto con otra procedente de la mineralización de Navelgas, fueron objeto de estudio en una sesión de microsonda electrónica. La justificación del estudio simultáneo de una muestra de la mineralización de Burgazal y otra de la mineralización de Navelgas es la comparación inmediata del contenido de elementos de interés en la pirita, dominante en ambos casos. Las mineralizaciones de Ni-Cu asociadas a rocas básicas son, en ocasiones, portadoras de cantidades menores de EGP que constituyen valiosos subproductos. En general, en estos casos, Pt, Pd y Bi suelen aparecer en forma de



telururos, siendo posible también en forma de sulfuro en el caso del Pt. Por su parte, Os e Ir suele formar aleaciones entre ellos. Así, buscando un compromiso entre número de análisis, características de las muestras y elementos a determinar, se decidieron las siguientes rutinas: S-Fe-Cu-Ni-As-Te-Bi-Co-Ag-Sb-Au-Hg en la muestra de Navelgas y S-Fe-Cu-Ni-As-Pd-Te-Pt-Bi en la muestra de Burgazal. En la primera, se realizaron un total de 45 microanálisis, todos ellos sobre piritas y en el segundo, 32 (14 sobre piritas, 12 sobre pirrotinas y 6 sobre calcopiritas). Los resultados brutos se pueden consultar en el Anexo IV. A continuación, se presenta una síntesis de los estadísticos univariantes:

Piritas de Navelgas																			
	N	Mínimo	Máximo	Media	σ	a	k		S	Fe	Cu	Ni	As	Te	Co	Ag	Sb	Au	
S	45	36.59	54.30	53.14	2.55	-6.51	43.16		S	1									
Fe	45	28.99	46.35	45.38	2.56	-6.23	40.44		Fe	0.98	1								
Cu	45	0.00	0.080	0.03	0.88	6.71	45.00		Cu	-0.99	-0.98	1							
Ni	45	0.00	0.65	0.07	0.15	2.85	8.25		Ni	0.06	-0.02	-0.07	1						
As	45	0.00	0.84	0.09	0.17	3.24	10.88		As	0.01	0.02	-0.08	-0.11	1					
Te	45	0.00	0.02	0.00	0.00	1.56	1.87		Te	-0.06	-0.04	0.07	0.00	-0.13	1				
Co	45	0.00	0.73	0.02	0.11	6.71	45.00		Co	-0.03	-0.13	-0.02	0.23	0.00	-0.10	1			
Ag	45	0.00	0.04	0.01	0.01	0.66	-0.83		Ag	0.10	0.07	-0.11	0.24	0.05	0.14	0.24	1		
Sb	45	0.00	0.03	0.01	0.01	1.00	0.53		Sb	0.11	0.09	-0.14	-0.03	0.11	-0.07	0.16	-0.01	1	
Au	45	0.00	0.35	0.06	0.09	1.59	2.07		Au	-0.37	-0.38	0.41	-0.10	-0.23	-0.01	0.03	-0.21	0.11	1
Piritas de Burgazal																			
	N	Mínimo	Máximo	Media	σ	a	k		S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt			
S	14	39.01	53.83	51.88	3.81	-3.42	12.14		S	1									
Fe	14	44.93	58.69	47.30	3.33	3.53	12.91		Fe	-0.93	1								
Cu	14	0.02	0.08	0.05	0.02	-0.10	-1.46		Cu	0.34	-0.40	1							
Ni	14	0.00	0.21	0.07	0.05	1.44	4.07		Ni	0.06	-0.05	0.09	1						
As	14	0.00	0.05	0.02	0.02	0.12	-1.14		As	0.28	-0.13	0.22	0.09	1					
Pd	14	0.00	0.03	0.01	0.01	1.64	1.36		Pd	-0.42	0.43	0.27	-0.03	0.14	1				
Te	14	0.00	0.01	0.00	0.01	0.82	-1.06		Te	0.29	-0.19	-0.10	0.01	0.54	-0.04	1			
Pt	14	0.00	0.14	0.04	0.05	0.94	-0.32		Pt	0.20	-0.20	0.23	0.50	-0.26	0.21	-0.39	1		
Pirrotina de Burgazal																			
	N	Mínimo	Máximo	Media	σ	a	k		S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt			
S	12	38.54	43.73	39.46	1.37	3.23	10.87		S	1									
Fe	12	56.03	60.22	59.18	1.11	-2.33	6.68		Fe	-0.83	1								
Cu	12	0.00	0.14	0.05	0.04	1.17	2.03		Cu	0.09	-0.08	1							
Ni	12	0.03	0.08	0.06	0.02	0.16	-0.63		Ni	-0.59	0.19	-0.39	1						
As	12	0.00	0.08	0.04	0.03	0.18	-1.21		As	0.50	-0.44	-0.07	0.02	1					
Pd	12	0.00	0.02	0.01	0.01	0.71	-1.57		Pd	-0.17	0.37	-0.58	-0.12	-0.13	1				
Te	12	0.00	0.03	0.01	0.01	0.56	-1.80		Te	-0.22	0.28	0.36	-0.01	-0.23	-0.45	1			
Pt	12	0.00	0.29	0.04	0.08	2.96	9.34		Pt	-0.18	0.03	-0.13	0.28	0.02	-0.25	-0.13	1		
Calcopirita de Burgazal																			
	N	Mínimo	Máximo	Media	σ	a	k		S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt			
S	6	33.38	34.77	34.14	1.96	2.19	5.22		S	1									
Fe	6	29.39	30.56	30.19	13.20	1.46	0.17		Fe	0.87	1								
Cu	6	0.02	33.63	33.25	15.39	-1.44	0.00		Cu	-0.82	-1.00	1							
Ni	6	0.00	0.07	0.02	0.03	1.46	0.67		Ni	0.92	0.98	-0.97	1						
As	6	0.00	0.05	0.03	0.02	-0.23	-0.55		As	0.04	0.05	-0.05	0.06	1					
Pd	6	0.00	0.02	0.01	0.01	0.55	-2.16		Pd	-0.18	0.05	-0.10	0.06	0.46	1				
Te	6	0.00	0.02	0.00	0.01	1.12	-0.68		Te	-0.27	-0.43	0.42	-0.44	0.02	-0.24	1			
Pt	6	0.00	0.14	0.04	0.06	1.31	0.22		Pt	0.41	0.20	-0.17	0.22	-0.61	-0.48	0.46	1		

Tabla 12. Síntesis de los resultados del microanálisis mediante sonda electrónica, según especies minerales y elementos químicos. Resultados en mg/kg. σ : desviación típica; a: asimetría; k: curtosis. A la derecha, tablas de coeficientes de correlación.

El contenido medio en Au en las piritas de la mineralización de Navelgas resulta de 625 mg/kg, valor alineado con el obtenido en trabajos previos (Álvarez, 2003). Como suele ocurrir con este elemento, la disparidad de contenidos es muy elevada, constituyendo los análisis sin detección de Au aproximadamente la mitad del conjunto de medidas. El valor máximo obtenido es de 3469 mg/kg. Por su parte, los valores de EGPs obtenidos en los sulfuros de las muestras de Burgazal son inferiores a los obtenidos para el Au en las piritas de Navelgas: en el mismo



orden de magnitud, en el caso del Pt, y un orden menor (decenas de partes por millón) para el Pd. El valor medio de contenido en Pt es muy similar en la pirrotina (390 mg/kg) y en la pirita (373 mg/kg), y ambas contienen Pd en cantidades similares (74 y 57 mg/kg, respectivamente). Los valores medios están bien por encima de la resolución analítica de la técnica que, en las condiciones de medida, resultó de 203 mg/kg para Pt y 104 mg/kg para Pd. La calcopirita, con las debidas reservas por el reducido número de datos, porta cantidades análogas, tanto de Pt (395 mg/kg de media) como de Pd (82 mg/kg, en este caso por debajo de la resolución). Ninguno de los tres sulfuros presenta cantidades significativas de Ni, siendo la pirita el más rico (0,2% en peso). De todas formas, y aun teniendo en cuenta la escasa importancia cuantitativa de la mineralización sulfurada, sí es cierto que los contenidos en EGPs que se acaban de describir están por encima de los determinados en los sulfuros de mineralizaciones tipo Cu-Ni en rocas básicas; a modo de ejemplo, en Aguablanca, Piña *et al.* (2010; 2012) citan únicamente valores en el orden de las unidades de mg/kg de Rh y Pt en piritas y de Pd en pirrotina. Por otra parte, en el clásico yacimiento de Sudbury, Dare *et al.* (2011) señalan contenidos de Pt en todos los sulfuros (pirita-pirrotina-calcopirita-pentlandita) menores de 10 mg/kg, llegando al umbral de 60/70 mg/kg (valores máximos) para el caso del Pd en pentlandita y pirrotina. Análogamente, Hutchinson y McDonald (2008) obtienen valores máximos de 42 y 28 mg/kg de Pt y Pd, respectivamente, en ambos casos en la calcopirita de Bushveld. Algo más ricos, en el orden de lo encontrado en la epidibasas de Burgazal, son los valores máximos de Pt (233 mg/kg) y Pd (300 mg/kg) reportados por Oberthur *et al.* (1997) en la pirita y en la pirrotina, respectivamente, del gran dique de Zimbabwe. En la siguiente figura se agrupan fotografías de los puntos de análisis que, para cada colectivo, han arrojado los valores mayores.

A pesar de un, a priori, atractivo similar del Pt en la mineralización de Burgazal con respecto al Au en la de Navelgas, este interés debe situarse en su debido contexto: se trata de contenido exclusivamente en sulfuros, que son mucho más abundantes en el caso de Navelgas, tratándose en ambas localidades una mineralización dispersa.

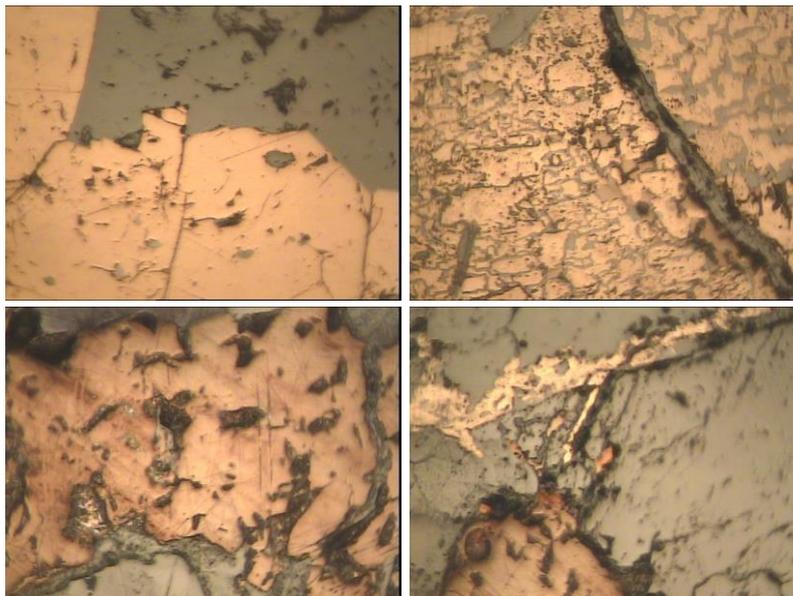


Figura 56. De izquierda a derecha y de arriba abajo, puntos de análisis en el centro de cada imagen. 1. Pirita (Navelgas, 3469 mg/kg Au). 2. Pirita (Burgazal, 1438 mg/kg Pt). 3. Pirrotina (Burgazal, 2891 mg/kg Pt). 4. Calcopirita (Burgazal, 1442 mg/kg Pt). Encuadre horizontal: 80 μ m.

5.3 TIERRAS RARAS

Introducción

La presencia de indicios de monacita en la zona de estudio quedó puesta de manifiesto durante el desarrollo de los trabajos de la tesis doctoral de Antonio Miaja (en elaboración), quien localizó granos de monacita en la fracción densa de las arenas de la playa de Cueva. Este doctorando estudia, en el momento de elaboración de esta memoria, los minerales densos presentes en las desembocaduras de los principales cauces de la región (de W a E, Eo, Navia, Esva, Nalón, Sella y Deva), y concluye que la presencia de monacita aluvionar se restringe a las cuencas de los ríos Eo, Navia y Esva. Además, de forma un tanto chocante, la frecuencia de aparición de monacita en las arenas del Esva es sensiblemente mayor a la correspondiente al Eo o al Navia, ambas con presencia casi testimonial de este fosfato. Tomando este hecho como punto de partida, en el marco del presente trabajo se realizó una caracterización de esta monacita y, tratando de trazar su origen, se determinó su edad mediante el método del U-Th-Pb.

Cabe poner de manifiesto, en este punto, que durante el estudio de muestras de la mineralización de Navelgas, ya se ha adelantado la presencia tanto de monacita como de otras especies portadoras de tierras raras en el episodio hidrotermal de esta localidad (ver apartado 5.1.1.B y Figura 21), si bien en tamaños sensiblemente inferiores a los de algunos de los granos de la monacita que aparece en la playa de Cueva.

Caracterización



La identificación de la monacita de origen detrítico se realizó, en primera instancia, a partir de un concentrado de minerales densos recuperados por métodos gravimétricos convencionales en el laboratorio de concentración de menas de la Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales con la ayuda de los profesores Mario Menéndez y Malcolm R. Gent. Estos concentrados se montaron sobre secciones pulidas, y en este tipo de preparación fueron examinados mediante microscopía electrónica de barrido. Esta técnica, operando con electrones retrodispersados, permite una rápida detección de la monacita, cuyo contraste en densidad electrónica con otras fases presentes en la muestra es manifiesto. Así, mediante esta técnica se ha podido comprobar que la monacita se presenta en dos formas: como mixtos, formando la monacita una inclusión mineral (5-20 μm) en fragmentos de roca ricos en cuarzo, pero también en forma libre, en granos sub-angulosos de un diámetro medio en el entorno de las 100 μm , con valores máximos de 250 μm . En la siguiente secuencia de imágenes se muestran algunos ejemplos:

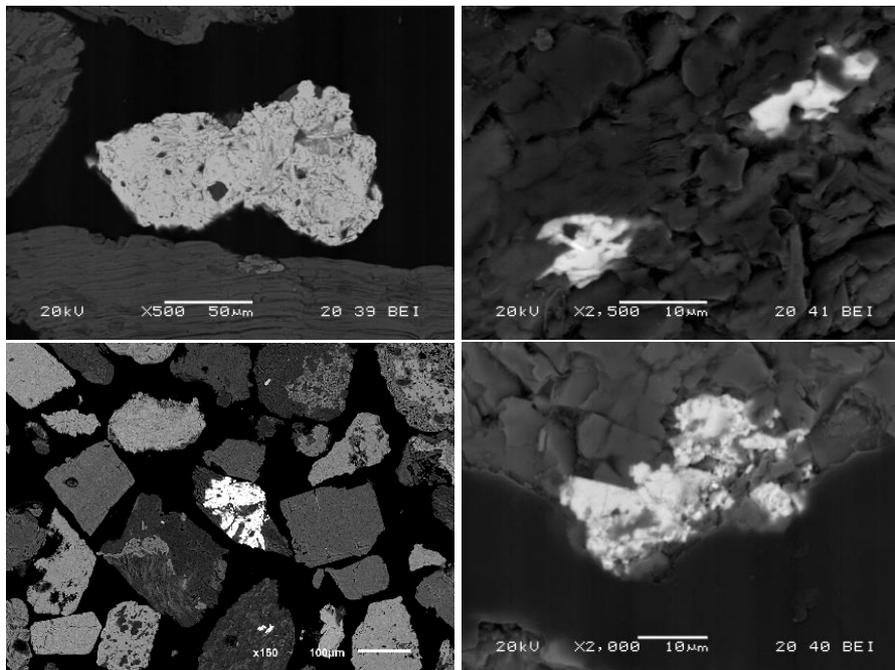


Figura 57. Columna de la izquierda: ejemplos de la monacita tipo I o de mayor tamaño (libre – arriba- y en una partícula mixta -abajo). Columna derecha: ejemplos de la monacita tipo II o de pequeño tamaño (siempre como inclusión mineral).

En base a los resultados de un total de 12 microanálisis con sonda electrónica, se ha determinado la composición media en las diferentes tierras raras de la monacita del Esva. Una síntesis de los resultados obtenidos se muestra en la siguiente tabla:

	Y	Sm	Tb	Dy	Pr	Gd	Ho	La	Ce	Nd
Máx	0.481	4.156	0.097	0.257	3.652	2.136	0.003	14.880	31.046	17.992
Min	0.380	0.840	0.060	0.202	1.310	0.720	0.000	4.622	20.378	7.860
Media	0.442	1.826	0.081	0.225	2.540	1.340	0.001	12.176	26.830	10.868
Desv Est	0.045	1.162	0.016	0.024	0.934	0.591	0.001	3.310	3.203	3.471

Tabla 13. Contenidos (% en peso) en Y y lantánidos en la monacita aluvionar del río Esva.



Cuantitativamente, tal y como se parecía en la tabla anterior, predominan las tierras raras ligeras (Ce, La, Nd, LREEs) con valores medios por encima del 10% para La y Nd (12,18% y 10,87%, respectivamente) y por encima del 25% (26,83%) para el Ce. Como elementos mayores, y por orden de importancia, también cabría citar el Pr (2,54%), el Sm (1,83%) y el Gd (1,34%). En conjunto, el contenido en tierras raras expresado en óxidos (REE₂O₃) se sitúa en el 70%. En la medida en la que la geoquímica de la monacita pueda venir definida por las condiciones a gran escala del proceso genético, se ha recopilado información analítica, en la bibliografía especializada, de distribución de contenidos en tierras raras en monacitas de diferentes orígenes. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

Origen	1	2	3	4	5	6	7	8
P	11.51	13.00	13.06	12.42	12.28	13.76	11.22	13.04
Y	0.36	0.13	ND	ND	1.02	0.52	0.11	1.38
Ce	26.96	29.23	29.13	28.89	28.30	31.08	28.85	24.96
La	9.20	15.54	15.63	14.75	12.13	13.23	15.86	11.96
Nd	12.68	8.73	8.94	8.83	8.07	10.23	9.86	10.29
Sm	2.34	1.01	0.91	0.95	1.52	ND	1.03	1.91
Pr	2.92	2.80	2.13	2.57	2.22	ND	3.04	2.31
Gd	ND	0.66	ND	ND	0.98	ND	0.37	1.27
Dy	ND	0.16	ND	ND	0.23	ND	0.05	0.28
Th	0.06	1.04	2.30	3.34	6.15	0.19	0.13	4.10

Tabla 14. Contenido en Y, TTRRs y Th de monacitas de diferentes orígenes. 1: Campo de Montiel (Ciudad Real, origen eluvial, Higuera *et al.*, 2021). 2. Bayan Obo (China, carbonatitas, Chen *et al.*, 2017). 3. Mountain Pass (USA, carbonatitas, Chen *et al.*, 2017). 4 (Floresta Azul, Brasil, complejos alcalinos, Alves *et al.*, 2018). 5. Erzebrige (Alemania, granito, Forster, 1998). 6. Lala (China, IOCG, Chen y Zhou, 2015). 7. Korsnas (Finlandia, skarn, Papunen y Lindsjö, 1972). 8. Costa atlántica norteamericana (aluvionar, Bern *et al.*, 2016). ND: sin dato.

La mejor correspondencia entre los valores de la Tabla 13 y la Tabla 14 se dan en la última columna, que proviene de una monacita aluvionar de la costa atlántica norteamericana. Bern *et al.* (2016) sitúan el origen primario de esta monacita en unos cinturones de rocas ígneas y metamórficas del alto grado que describe arcos paralelos a la costa entre Carolina de Norte y Alabama, sin más detalle. Las únicas rocas magmáticas cuya existencia se ha podido verificar de forma directa son las epidibasas de Burgazal, en las que no se han encontrado indicios de monacita. Por otra parte, el metamorfismo que afecta a las series paleozoicas en la zona de estudio es de grado medio o bajo. Teniendo en cuenta todo esto, y descartando, por el criterio del tamaño, un origen masivo ligado al hidrotermalismo de Navelgas, podríamos considerar como origen probable las pizarras precámbricas, que cuentan con algunos cuerpos intrusivos emplazados y han sufrido condiciones de metamorfismo más severas. En un curioso trabajo, Vaquero (1979) revela la presencia de un tipo de monacita aluvionar, que denomina “aberrante” (rica en Eu, 0,23-0,41%) en la sierra del Caurel-Ancares, sin concretar el lugar. Este autor señala el origen de la monacita aberrante en la Fm Agueira (ver figura 4), que no llega a aflorar en la zona de estudio, ya que los niveles más altos corresponden a la base de la Fm Luarca. Además, cita explícitamente la profusión de inclusiones minerales de grafito y clorita, y proporciona una analítica sensiblemente diferente a la de la monacita del Esva, de forma especial en lo relativo a los valores de Nd (1%) y en las impurezas (13,5% de SiO₂).



Datación

La datación radiométrica mediante el método del U-Th-Pb tiene como fundamento la determinación de las concentraciones totales de estos tres elementos en minerales con elevado contenido en U y/o Th y, a la vez, bajos contenidos de Pb. Así, es posible asumir que el Pb presente en la muestra es de origen radiogénico (es decir, resultado de alguna de las siguientes series de desintegración: ^{238}U a ^{206}Pb , ^{235}U a ^{207}Pb o ^{232}Th a ^{208}Pb). La monacita es un fosfato rico en tierras raras ligeras que, generalmente, contiene cantidades significativas de U y, sobre todo, Th (1-25%), por lo que resulta aceptable suponer que la práctica totalidad del Pb presente en este mineral es de origen radiogénico.

Una sección pulida con un concentrado de minerales densos procedente de las arenas de la playa de Cueva fue recubierta con una fina capa de grafito, y sobre la misma se realizaron las determinaciones analíticas mediante microsonda electrónica (CAMECA SX100) a 25 kV y 100 nA. Los elementos analizados, además de U-Th-Pb, fueron los que integran la serie de las tierras raras, Ca, Fe, Si, Al, P e Y. Las determinaciones se llevaron a cabo mediante el protocolo de Scherrer *et al.* (2000). El método es muy sensible a la concentración de Pb y a las condiciones del punto de medida, por lo que las garantías en los resultados están subordinadas a lograr un número estadísticamente significativo de datos (Montel *et al.*, 1996). Las líneas espectrales seleccionadas fueron la K α 1 para Ca, P, Si y Al, la L α 1 para Y, Ce, La, Yb y Er, la L β 1 para Pr, Tb, Gd, Sm, Ho, Nd y Dy, la M α 1 para el Th y la M β 1 para U y Pb. Los cristales empleados fueron LLIF para las tierras raras, PET para Ca, P, Y, U, Th y Pb y LTAP para Si y Al. De esta forma, y en base a la siguiente igualdad (Williams *et al.*, 2007), se pudieron calcular las edades de 4 partículas, con los resultados que se muestran en la próxima figura:

$$Pb = \left[\frac{Tb}{232} (e^{\lambda^{232t}} - 1) \right] 208 + \left[\frac{U}{238} 0.9928 (e^{\lambda^{238t}} - 1) \right] 206 + \left[\frac{U}{235} 0.0072 (e^{\lambda^{235t}} - 1) \right] 207$$

	P	Pb	Th	U
MAX	13.094	0.115	4.300	0.121
MIN	11.550	0.053	0.000	0.035
MEAN	12.513	0.091	1.534	0.070
DESV EST	0.684	0.027	1.776	0.039

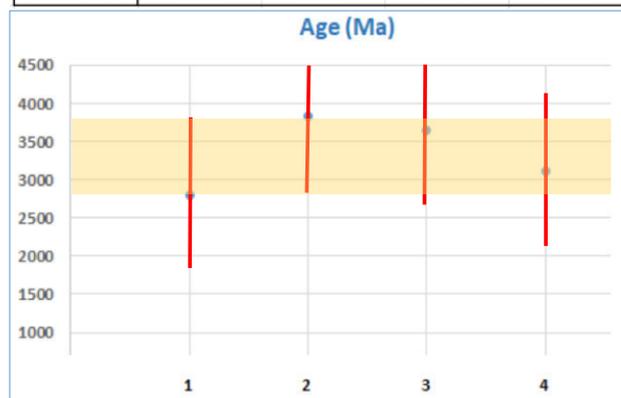


Figura 58. Valores obtenidos para U-Th y Pb y edades de las monacitas analizadas, con su margen correspondiente de error.



El solape de los 4 datos proporciona un rango de edades entre 2811 y 3749 Ma. En primer lugar, la validez del dato debe ser tomada con la debida precaución, por el escaso número de medidas, que se corresponden con el número de partículas de monacita con superficie limpia y de más de 30 μm que se han encontrado en la muestra. En segundo lugar, su encaje con el contexto geológico de la zona de estudio tampoco es bueno, habida cuenta que las rocas más antiguas (pizarras precámbricas, Unidad de Navelgas según se define en Rubio, 2010) cuentan con una edad Neoproterozoica (Ediacariense); en todo caso, podría admitirse un origen ligado a procesos de removilización, seguramente en varias fases. Si aceptamos como válida una edad tan antigua, el origen más probable para la monacita serían, de nuevo, las pizarras precámbricas. A modo de verificación rápida y sencilla, durante los reconocimientos de campo se tomaron un total de 3 muestras, aleatorias, de las pizarras de la Fm en afloramientos frescos de Obona (cabecera de la cuenca del Esva, $X_{\text{UTM}}=704577$, $Y_{\text{UTM}}=4801950$, ETRS89, huso 29), Troncedo-Orderias ($X_{\text{UTM}}=704577$, $Y_{\text{UTM}}=4801950$) y Oves ($X_{\text{UTM}}=704577$, $Y_{\text{UTM}}=4801950$). El examen mediante microscopía electrónica de esas muestras, en un recorte de la preparación de una lámina delgada (48*28 mm), ha revelado la presencia de monacita en las tres muestras, si bien en ningún caso en tamaños por encima de las 30 μm (ver figura siguiente). Aun así, dada la aleatoriedad de las muestras, el resultado apoya la hipótesis, por supuesto no concluyente, de que la mayor parte de la monacita aluvionar de la zona de proceda de las pizarras precámbricas donde, a su vez, tendría una naturaleza detrítica.

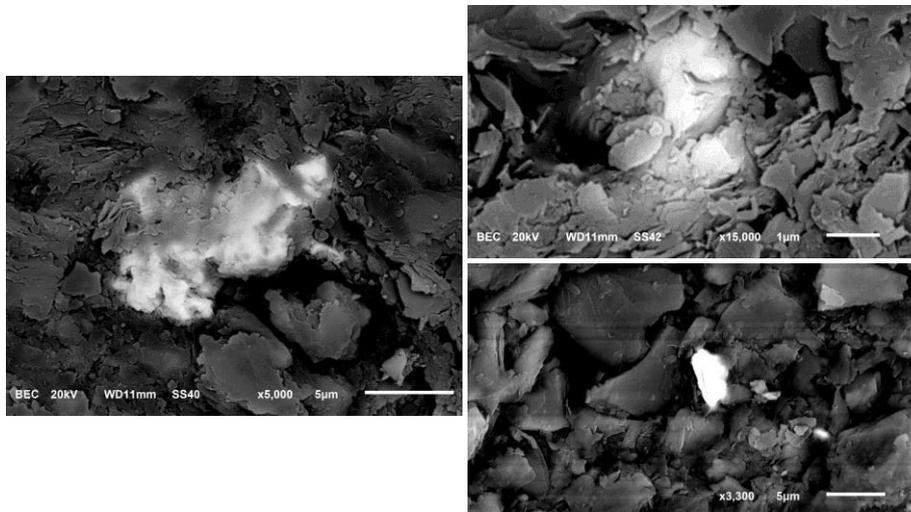


Figura 59. Aspecto de los granos (detríticos) de monacita de Oves (izquierda), Obona (derecha, arriba) y Troncedo-Orderias (derecha, abajo).

5.4 MINERALIZACIONES DE Mn DEL SECTOR TREVÍAS-BRIEVES

5.4.1 Introducción y antecedentes

Tal y como se cita en el capítulo 2 de este trabajo, existen en la zona de estudio una serie de indicios minerales de Mn, así como algunas antiguas explotaciones; el tamaño e importancia de estas explotaciones, sí bien siempre modesto, resulta de diversa magnitud. Todas estas



actividades extractivas se encuentran clausuradas actualmente; existen, dentro de la zona de estudio, dos sectores de importancia desigual, uno entre San Pelayo de Tehona y Cortina, y otro, de mayor relevancia, en los alrededores de Brieves. En las inmediaciones de la zona de estudio, ya fuera de la misma, existen también otros indicios se características similares en diversas localidades (San Martín -San Cosme de Luiña y Ribón-Cadavedo). Todos estos indicios aparecen encajados en niveles del Paleozoico Inferior, y en trabajos anteriores (IGME, 1977; González-Castro *et al.*, 1985) también se cita cierta relación espacial con cuerpos efusivos. Se han documentado en la zona de estudio una serie de afloramientos volcánicos difíciles de localizar (Farber y Jaritz, 1964) en forma de rocas verdosas muy blandas con presencia de plagioclasa, biotita alterada, cuarzo volcánico, carbonatos secundarios y sulfuros. Marcos y Arboleya (1975) las clasifican como tobas riolíticas o riodacíticas y como rocas metabásicas tipo espilitico; El exhaustivo informe que el IGME elaboró en 1977 describe la presencia de fragmentos sueltos de rocas verdes con fenocristales de plagioclasa y piroxeno, concluyendo que se trata, genéricamente, de basaltos y andesitas. Asimismo, García Iglesias *et al.* (1985) citan la presencia, en el tránsito entre la Serie de Los Cabos y las Pizarras de Luarca, de niveles de basaltos y andesitas, aunque su estudio está restringido a la comarca de Los Oscos.

Mientras que en el informe del IGME (1977) se señala como hipótesis genética más probable de las mineralizaciones de Mn un hidrotermalismo de baja temperatura, González-Castro *et al.* (1985) proponen –a partir de observaciones texturales- un origen supergénico. Estos autores establecen una detallada paragénesis de las fases portadoras de Mn, señalando la presencia de jacobsita, manganita, pirolusita y psilomelana. También proporcionan análisis elementales sobre el contenido en diversos elementos traza, destacando niveles de 0,5-0,7% de Ni y en torno al 0,2% de Cu en las mineralizaciones de Muñás y Ore. También proponen una ley media en Mn para el conjunto de las muestras estudiadas (que incorporan también las zonas de Cadavedo-Ribón y Soto de Luiña), que sitúan en el intervalo 6-35% (hasta un 44% para el Fe). A continuación, se detallan brevemente los datos esenciales de las principales localidades, principalmente tomados de IGME (1977):

Mina “El Chouro” (San Pelayo de Tehona). Labor minera de escaso desarrollo, con más interés por el Fe que por el Mn. Actualmente, resulta irreconocible.

Mina “La Solita” (Villanueva-Cortina). Fue la mina más importante del sector que se encuentra en la sub-cuenca del río Mallene. En base a muestras de las escombreras, todos los estudios previos coinciden en que se trata de una mineralización irregular, en bolsadas: las labores consistieron en una galería y otras labores perpendiculares y algunas oblicuas a la principal. Existe cierta confusión con las fechas, indicándose en algunas fuentes (IGME, 1977) una vida activa de 10 años (1956-1966), mientras que otras (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2010) señalan



que existieron trabajos de explotación de Mn hasta el año 1974 (en el paraje denominado Monte Peón). A pesar de su relativa importancia, no ha podido ser localizada.

Mina “Paulina” (Muñas de Abajo). La acumulación mineral presenta carácter filoniano, y se encuentra bien alineada con la de Ore, que se describe a continuación. Estuvo en actividad entre 1958 y 1969 y llegó a contar con un lavadero a pie de mina. A pesar de que las labores de interior resultan inaccesibles, sí se ha podido localizar el emplazamiento (PK 28,2 de la AS-367, al S de la vía).

Mina “Mercedes” (Ore). Como se acaba de indicar, muy probablemente sea la prolongación al SW de la mineralización explotada en la mina Paulina. En este caso, el mineral era más rico en Fe (limonita y hematites) y estuvo operativa entre 1958 y 1968. En El Pontigón (PK 482,5, N-634) se pueden ver las ruinas de las tolvas utilizadas en el transporte del mineral.

Mina “El minero astur” (Los Pontones). Mineralización, principalmente de Fe y muy pobre, que únicamente estuvo activa en 1964.

5.4.2 Reconocimiento de campo y muestreo.

No ha sido posible localizar las antiguas labores de las explotaciones “El Chouro” y “La Solita”, a pesar de la detallada información sobre su emplazamiento que se puede consultarse en IGME (1977). Aunque se han realizado cuidadosos reconocimientos de campo, y existen buenos afloramientos en los taludes de las vías secundarias, tampoco se ha podido constatar la presencia, al menos in-situ, de los niveles de rocas volcánicas que se encuentran cartografiados en la parte basal de la Serie de Los Cabos en el entorno de Trevías y entre Muñas de Abajo y Ore (ver Figura 60).

Sí ha sido posible, por el contrario, recoger algunas muestras en las plazas de las antiguas minas de Ore (“Mercedes”) y Muñas de Abajo (“Paulina”). El mineral recuperado, en efecto, presenta una fuerte estructura nodulosa, presentándose en masas reniformes, generalmente de diámetro centimétrico (ocasionalmente decimétrico) y tono oscuro, en una gama de colores que van de rojizo a negro (Figura 61). En las inmediaciones de las dos minas (Ore y Muñas de Abajo) son frecuentes los precipitados milimétricos, posiblemente pirolusita, en forma de “flores de Mn” en la serie cuarcítica encajante. La limonita, generalmente como recubrimiento más externo, pulverulento, es muy frecuente.

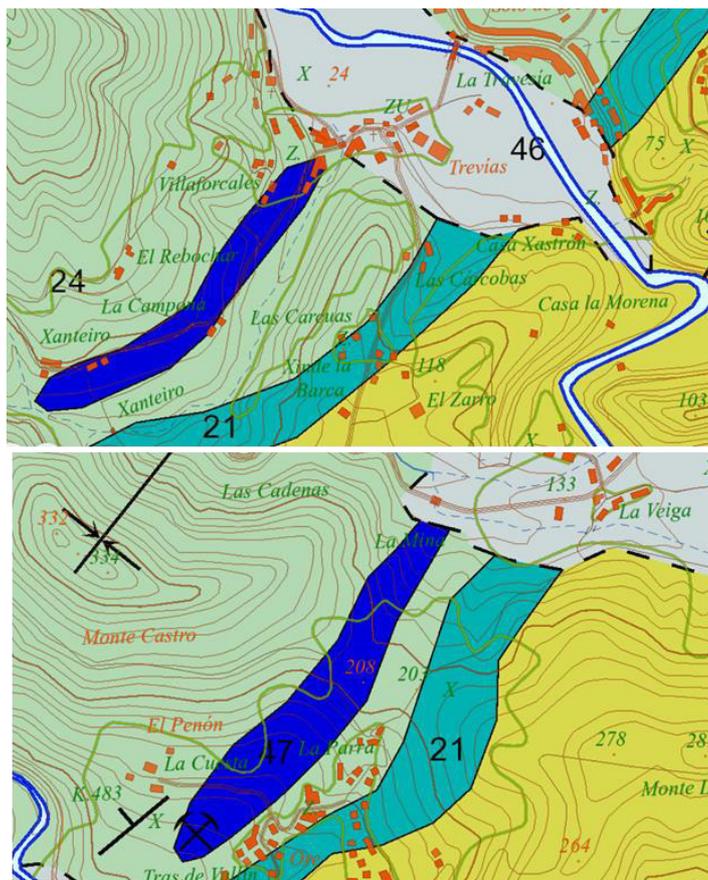


Figura 60. Extractos del mapa geológico continuo (<https://info.igme.es/visor/?Configuracion=igme>) de España, mostrando sendos niveles de rocas volcánicas en Trevías (figura superior) y Muñas de Abajo (figura inferior). En amarillo se representa la Fm Cándana, en verde oscuro la Fm Vegadeo y en verde claro, la Serie de Los Cabos. Las rocas volcánicas aparecen en azul. El encuadre horizontal de las figuras es de 1540 m.



Figura 61. Aspectos de las muestras recuperadas en las inmediaciones de las minas de Ore (emplazamiento en el cuadro superior) y Muñas de Abajo.

5.4.3 Mineralogía y geoquímica



Tras ser examinadas mediante lupa binocular, aquellas muestras que se consideraron más representativas fueron debidamente preparadas en forma de secciones pulidas, separando una parte que fue molida en un molino de aros y sometida a análisis elemental. Los resultados de los análisis elementales de varias muestras se muestran en la siguiente tabla. Las muestras Muñas-1 y Ore son nódulos mineralizados, la muestra Muñas-3 corresponde al encajante y la muestra Trevías-2 es una muestra con pequeñas flores de pirrolusita, muy alterada, pero con cierta textura porfídica. La muestra L'Ataúd, alterada y fuertemente ferrífera se ha tomado en el desvío a dicho caserío, desde la pista que une San Feliz con Los Pontones, cerca de las antiguas labores de "El minero astur", sobre las calizas de la Fm Vegadeo. Los resultados que se presentan en las tres primeras columnas (color negro) se han obtenido mediante FRX-EDS, mientras que el análisis de las muestras Ore y L'Ataúd han sido llevado a cabo mediante el protocolo ME-ICP61a de ALS (ICP-MS) a excepción del Au, que ha sido valorado mediante el método AAS25 (AAS) (en rojo).

Muestra	Muñas1	Muñas3	Trevías2	Ore	L'Ataúd	Muestra	Muñas1	Muñas3	Trevías2	Ore	L'Ataúd
Mo	< LOD	< LOD	3.45	< LOD	< LOD	Mn	309621	431.04	975.68	58100	1100
Mo Error	5.31	3.23	2.23	10	10	Mn Error	1428.12	43.17	54.79	2950	55
Zr	< LOD	33.88	118.75			Cr	< LOD	22.68	120.54	10	30
Zr Error	5.65	2.55	3.72			Cr Error	56.18	13.03	13.13	0.5	1.5
Sr	53.69	5.32	16.83	20	20	V	< LOD	37.06	105.8	20	40
Sr Error	4.03	1.26	1.61	1	1	V Error	156.74	19.79	27.51	1	2
U	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	Ti	< LOD	182.38	3555.05	< LOD	800
U Error	9.33	4.89	5.51	50	50	Ti Error	369.01	43.78	74.49	500	40
Rb	< LOD	11.91	23.2			Sc	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	10
Rb Error	4.72	1.73	2.02			Sc Error	55.28	13.31	15.88	10	0.5
Th	< LOD	< LOD	11.17	< LOD	< LOD	Ca	< LOD	< LOD	337.26	900	< LOD
Th Error	11.59	3.58	2.89	50	50	Ca Error	176	79.16	97.22	45	500
Pb	< LOD	< LOD	< LOD	70	< LOD	K	5179.72	3237.51	36110.6	2000	4000
Pb Error	17.15	5.77	4.84	3.5	20	K Error	321.27	134.24	383.61	100	200
Se	< LOD	< LOD	< LOD			S	< LOD	< LOD	< LOD	800	< LOD
Se Error	5.39	2.58	2.46			S Error	721.26	206.94	253.78	40	500
As	94.54	45.45	9.07	190	340	Ba	6365.73	< LOD	< LOD	6100	110
As Error	7.78	3.84	2.45	9.5	17	Ba Error	96.55	44.24	41.86	305	5.5
Hg	17.41	< LOD	< LOD			Cs	43.25	< LOD	< LOD		
Hg Error	8.95	6.01	6.18			Cs Error	13.77	11.79	11.43		
Au	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	Te	< LOD	< LOD	< LOD		
Au Error	14.93	7.46	6.64	0.01	0.01	Te Error	44.22	25.42	24.44		
Zn	449.92	42.85	15.28	290	120	Sb	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Zn Error	25.74	6.39	5.05	14.5	6	Sb Error	33.84	19.88	19.02	50	50
W	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	Sn	49.08	< LOD	< LOD		
W Error	61.45	28.35	27.7	50	50	Sn Error	27.45	21.3	20.26		
Cu	50.73	< LOD	< LOD	60	110	Cd	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cu Error	20.84	13.32	13.13	3	5.5	Cd Error	17.77	10.58	9.99	10	10
Ni	821.35	< LOD	42.24	30	30	Ag	< LOD	< LOD	< LOD	5	< LOD
Ni Error	51.7	35.84	23.97	1.5	1.5	Ag Error	48.45	14.91	14.22	1	1
Co	< LOD	92.14	< LOD	70	10	Pd	< LOD	< LOD	< LOD		
Co Error	326.42	59.55	61.79	3.5	0.5	Pd Error	16.45	9.51	9.02		
Fe	202169.1	26741.85	13557.31	197500	>500000	Mg				700	800
Fe Error	987.67	207.18	145.85	9500	9500	Mg Error				35	40
Al				6200	22200	P				2210	6280
Al Error				310	1110	P Error				110	314

Tabla 15. Resultados del análisis elemental de tres muestras con indicios de mineralización de Fe-Mn procedentes de Muñas-Trevías. Todos los resultados están expresados en mg/kg. <LOD: por debajo del límite de detección.



Como se puede deducir de la tabla superior, únicamente las muestras Muñás-1 y Ore presentan contenidos elevados en Mn o Fe-Mn. En la muestra Muñás-1 predomina el Mn y superan, en conjunto, el 50% de la muestra en peso. En esa misma muestra destaca el Ba como elemento menor, que podría indicar la presencia de óxidos de Mn-Ba. Otros elementos menores, como el K o el Al, cabe atribuirlos a los silicatos de la roca de caja. Ya en el rango de elementos traza, únicamente el Ni y el Zn aparecen en valores algo por encima del resto, pero sensiblemente menores a los citados por González-Castro *et al.* (1985) para esta misma mineralización. Por otra parte, el contenido en elementos propios de un proceso mineralizador de origen volcánico (Rb, Cr...) es muy bajo, lo que resta valor a dicha hipótesis. Las determinaciones anteriores se han completado con análisis mediante DRX para la identificación de las fases cristalinas. La muestra Muñás-1 presenta cuarzo y goethita, la muestra Muñás-3 cuarzo y moscovita y, finalmente, la muestra Trevías-2, albita y vermiculita. Se infiere, por lo tanto, la baja cristalinidad de los minerales de Mn, y el predominio del cuarzo en la roca de caja. Además, es posible el presunto origen volcánico de la muestra Trevías-2. Las condiciones de medida, listas de picos y fichas aceptadas se pueden consultar en el Anexo V.

El estudio mediante microscopía óptica de polarización (MOP) permite establecer la presencia de tres fases minerales opacas esenciales, presuntamente óxidos de Fe-Mn, predominado dos de ellas sobre la tercera, mucho menos abundante. Los dos componentes mayoritarios (romanechita y goethita, como se verá a continuación) se muestran, a su vez, bajo dos morfologías diferentes cada uno de ellos.

- Como material cementante de los granos, principalmente de cuarzo, de la roca de caja en un proceso de reemplazamiento mineral respecto a la fase de unión anterior, que indica un claro carácter epigenético de la mineralización.
- Como un precipitado químico, rellenando parcial o totalmente la porosidad original de la roca.

En relación con el primer modo de aparición, el componente menos reflectante (romanechita) se dispone como fase de unión entre los granos de la roca encajante a los que también reemplaza de forma modesta, aspecto que queda patente en los numerosos golfos de corrosión que presenta el cuarzo (Figura 62.A); en las zonas terminales del reemplazamiento es común ver morfologías rómbicas típicas de los carbonatos cristalinos (Figura 62.B). Esta textura es mucho menos frecuente en la goethita que, en líneas generales, es menos agresiva con el cuarzo residual de la roca original, según se aprecia en la Figura 62.A. En alguna de las muestras, la goethita, además de cementar granos de cuarzo, también respeta a un filosilicato muy laminar, no orientado, posiblemente una mica o resultado de su alteración supergénica; por comparación de imágenes, este filosilicato sería una illita según González-Castro *et al.* (1985), identificación que no es posible mediante microscopía óptica de reflexión. Por su parte, la romanechita también llega a rellenar fracturas transgranulares en el cuarzo (ver Figura 62.C).



Al observar con gran aumento las escasas zonas de contacto, en texturas de reemplazamiento, entre las dos fases mayoritarias se puede deducir, con ciertas reservas, que la goethita es, en el caso más general, anterior a la romanechita, debido a que existen relictos de aquélla en el seno de la ésta. Las texturas de relleno de los espacios vacíos por precipitación química dan lugar a cristales de mayor tamaño, permitiendo observar de una forma más concisa las relaciones temporales. Se reafirma el carácter precoz de la goethita con respecto a la romanechita (Figura 62.D), observándose que el contacto entre ambas es, en general, nítido y marcado, descartándose la transformación de uno en el otro.

Son frecuentes las texturas coloformes y las bandas paralelas de crecimiento sobre todo en el componente manganesífero, el cual, en los huecos de mayor tamaño -que superan el mm- no llega a cerrar completamente el espacio vacío original. Si bien no tan frecuentes como los anteriores, también abundan los espacios vacíos ocupados exclusivamente por la goethita: cuando éstos son grandes se observan una marcada zonalidad correspondiendo a las partes internas los tonos más oscuros que posiblemente obedezcan a una cierta variación composicional, según se aprecia en la Figura 62.E.

Finalmente, existe un tercer componente opaco, que aparece únicamente como relleno de huecos y que cuyo microanálisis proporciona resultados más próximos a la composición de la pirolusita que de la manganita, aunque la identificación no es del todo concluyente. Es menos importante cuantitativamente que las fases anteriores y presenta una baja reflectividad. Posee un color de reflexión marronáceo y una cierta estructura interna bandeada que recuerda en cierto modo a figuras de deposición sedimentaria. Su relieve es bajo y en relación con los componentes mayoritarios, se acerca más a la romanechita, sin llegar a reemplazarla. Aunque en base a observaciones muy locales, es posible establecer que el componente más tardío es la pirolusita (Figura 62.F).

La identificación mineral de los óxidos de Mn que se propone en los párrafos anteriores no habría sido posible solamente por métodos ópticos. Dada la baja cristalinidad de estos compuestos, tampoco la DRX ofrece resultados satisfactorios. Si bien es cierto que algunas especies se pueden descartar debido a que su forma de ocurrencia en la naturaleza no encaja con la textura tan característica del mineral de Ore-Muñás de Abajo (ver Ghosh, 2020 para una recopilación exhaustiva), se ha debido recurrir al microanálisis a escala de grano a través del estudio mediante microscopía electrónica. A continuación, se presentan las observaciones más interesantes de entre las que ha proporcionado esta técnica.

En primer lugar, la especie más abundante se ha identificado como romanechita, al tratarse un óxido de Mn con un 12% en peso de Ba. Con este dato únicamente, debería contemplarse también la holandita: pero existen dos evidencias que juegan a favor de la romanechita y que permiten descartar las fases del grupo de la holandita. Así, en primer lugar, las analíticas no proporcionan señal de Na-K-Pb, que serían muy frecuentes en el caso de tratarse de holandita,



al ser muy raros los componentes puros de este grupo (manjiroita, criptomelana y coronadita, respectivamente, Post, 1999); por otra parte, la forma de ocurrencia más común de la holandita es en cristales fibrosos, mientras que en el caso de la romanechita, tal y como ocurre en las muestras estudiadas, es en agregados botroidales, siendo un mineral típico de ambientes oxidantes. Tal y como se ha detallado anteriormente, la romanechita se presenta bien como material cementante de la fracción detrítica del encajante, bien como relleno de espacios vacíos. Gracias a los microanálisis realizados mediante SEM-EDS, se ha visto que el primer tipo de romanechita puede incorporar cantidades importantes de Fe, que pueden alcanzar el 15% (14,97% en el caso de Figura 63.A). Por el contrario, la romanechita que rellena espacios vacíos apenas contiene Fe y, aunque se presenta bajo dos apariencias ligeramente diferentes (ver Figura 63.B, ambas analíticas proporcionan en torno a un 10% de Ba), no existe diferencia en composición entre ambas, debiéndose el efecto a aspectos texturales (rugosidad superficial). Sí existe, por el contrario, cierta diferencia en composición cuando algunas partes internas de parches de romanechita presentan un tono más oscuro cuando son observadas con detección de electrones retrodispersados: este efecto, apreciable en la Figura 63.C, se debe a un defecto de Ba en la última parte del espacio vacío en ser rellenada, donde el contenido en el metal alcalinotérreo puede descender a la mitad de su valor habitual (del 12 al 6%).

La totalidad de las fases presentes se muestra en la Figura 63.D, que comprende, además, las dos formas de ocurrencia de los minerales de Fe-Mn: de derecha a izquierda, aparecen: pirolusita, goethita, romanechita y, finalmente, romanechita ferrífera cuando pasa de rellenar un hueco a disponerse como fase de unión entre los granos de cuarzo del encajante. En ocasiones, la romanechita y la goethita aparecen en una asociación muy íntima, con capas alternantes que atestiguan diferentes pulsos de aporte de fluidos ricos en Fe y Mn respectivamente (Figura 63.E).

Los cristales aciculares que acompañan al cuarzo en la ganga de la mineralización (ver Figura 62.C y Figura 63.F) son, químicamente, silicatos de Al con K como catión claramente predominante; este dato, junto con el resultado obtenido en la DRX para el encajante débilmente mineralizado permite concluir que se trata de moscovita, en contra de la propuesta (illita) de González-Castro *et al.* (1985).

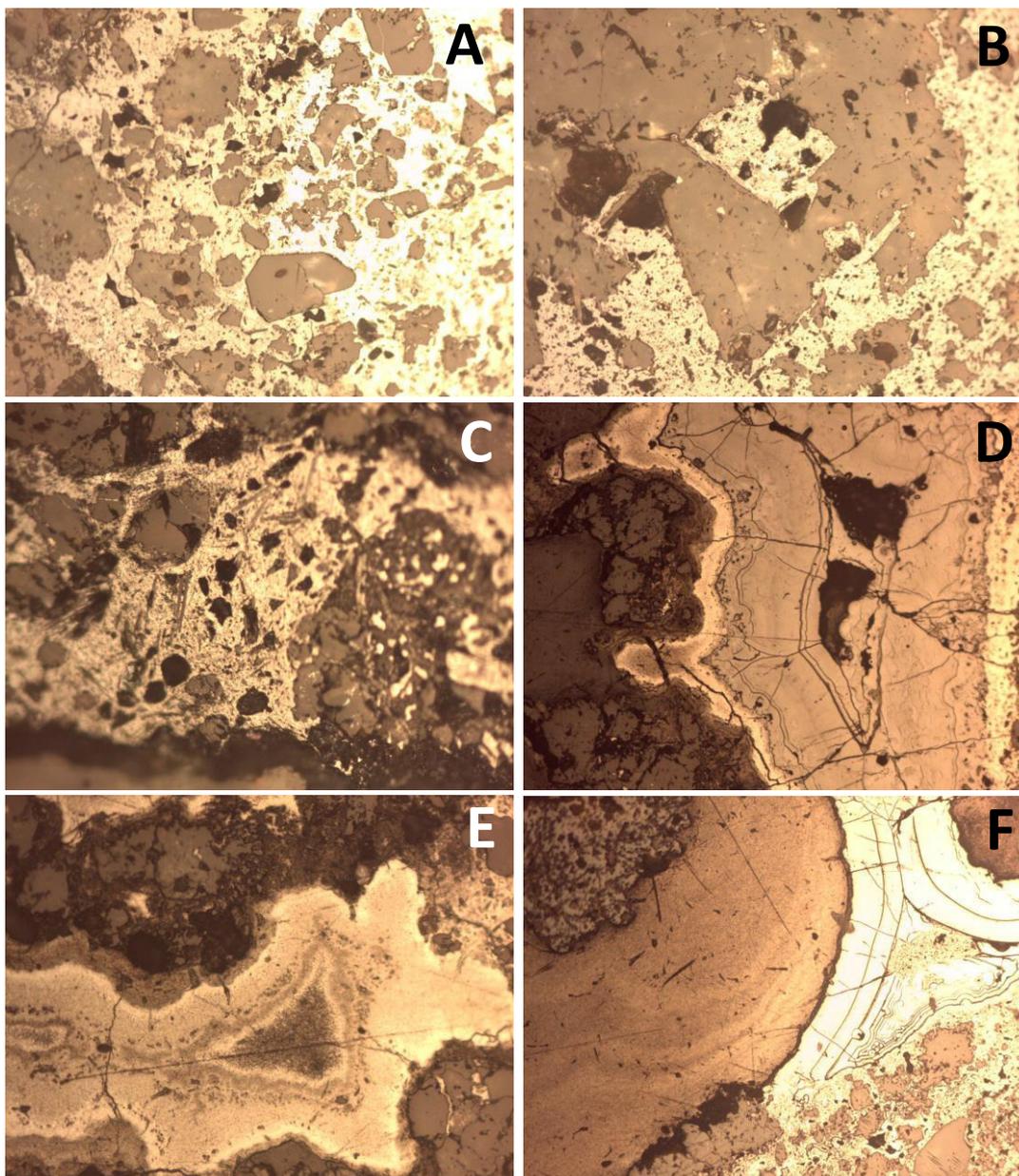


Figura 62. Textura microscópica de las mineralizaciones de Mn de Ore-Muñás de Abajo. A) Romanechita (izquierda) y goethita (derecha) cementando granos de cuarzo. B) Romanechita pseudomorfizando formas cristalinas previas rómbicas (¿carbonatos?). C) Además del cuarzo, en ocasiones se aprecian agujas de filosilicatos en la fracción granular del encajante. D) Romanechita y goethita de relleno de huecos (en este caso, relleno incompleto). E) Goethita relleno completamente un espacio vacío, mostrando una marcada zonalidad (bandas más oscuras en el núcleo). F) Romanechita (en forma de cemento, abajo a la derecha) en asociación con goethita (más reflectante, parte superior derecha) y pirolusita (mitad izquierda). El encuadre horizontal de todas las imágenes es de 650 μm , a excepción de las figuras D y F, que resulta de 1,3 mm.

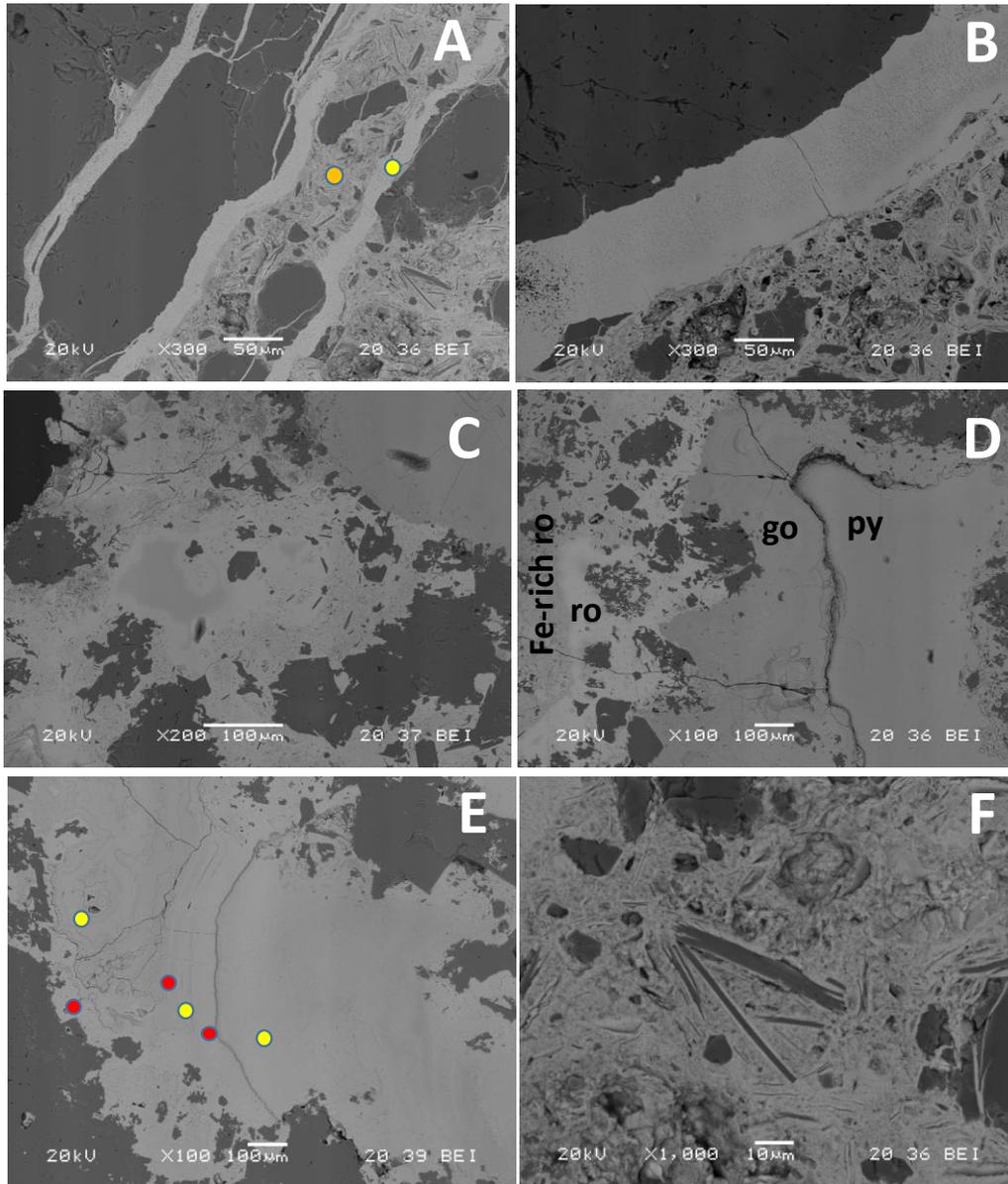


Figura 63. Diferentes aspectos mineralógico-texturales de las mineralizaciones de Mn de Ore-Muñás de Abajo. A) Romanechita cementante (punto anaranjado) y de relleno de huecos (punto amarillo). B) Detalle de la romanechita de relleno de huecos, que muestra dos aspectos, más y menos sombreado, sin diferencia de composición. C) Romanechita cementante, con núcleos oscuros que se corresponden con zonas terminales de menor contenido en Ba. D) Secuencia completa de la mineralización metálica: pirolusita (py)-goethita (go)-romanechita (ro), con la variedad ferrífera de esta última (o “romanechita cementante”). E) Asociación íntima goethita (puntos rojos)-romanechita (puntos amarillos) en texturas coliformes. F) Cristales de moscovita en cemento de romanechita.

Como síntesis, se puede afirmar que las muestras recogidas en el entorno de las antiguas minas de Ore y de Muñás de Abajo, corresponden a una zona intensamente alterada por oxidación, siendo localmente ricas en Mn, pero resultando muy costosa una eventual liberación por molienda, ya que los óxidos de Mn se encuentran predominantemente como fase de unión entre granos minerales (fundamentalmente cuarzo) de la roca encajante. Teniendo en cuenta las texturas minerales que se acaban de describir, la hipótesis genética más probable es un origen exógeno debido a fenómenos de precipitación química que juegan en contra de una



cierta evolución de la mineralización en profundidad. El control de estas mineralizaciones estaría entonces ligado a la permeabilidad del macizo encajante, bien sea ésta primaria o secundaria. Este hecho, además, explicaría la morfología que autores anteriores han propuesto para estas acumulaciones: irregular y en bolsadas. El origen primario del Mn no se ha podido establecer; en caso de tener relación con rocas volcánicas, éstas no han sido identificadas, a pesar de haber recorrido concienzudamente el entorno de las minas Paulina y Mercedes. Por otra parte, sería de interés en el contexto actual verificar con un muestreo y análisis más amplio el contenido elevado en Ni(+Cu) de los óxidos de Mn de este sector, que no se ha encontrado en este trabajo.



6. ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

6.1 NIVELES ALBÍTICOS DE SAN PEDRO DE PAREDES

Introducción

Las rocas albiticas o “albititas” son materiales no muy comunes, constituidos mayoritariamente por feldespatosódico. El feldespatosódico se utiliza principalmente en la industria cerámica, empleándose como fundente en la fabricación de baldosas de gres, sanitarios etc. En el noroeste de la Península Ibérica se conoce la existencia de este tipo de rocas en Galicia (en la provincia de Lugo, concretamente en el sector de Foz-Barreiros) y, por otra parte, en la zona de estudio de este trabajo, concretamente cerca de la localidad de San Pedro de Paredes. También se conoce la existencia de estas rocas en algunos otros puntos (Mondoñedo, Vegadeo, Allande o Degaña, García-Arias *et al.*, 2006) siempre en la misma posición estratigráfica, tal y como se detallará más adelante. Geométricamente, estas acumulaciones de feldespatos se disponen como bancos de rocas sedimentarias, interestratificadas entre pizarras, areniscas y cuarcitas de formaciones cámbricas.

En función de su pureza (entendida ésta como contenido en Na), existen diversas calidades y aplicaciones. Se conocen como “albititas puras” las masas que están compuestas casi exclusivamente por albita (hasta más de un 90%), lo que supone unos contenidos en Na entre el 9 y el 12%. Las impurezas más comunes, siempre en proporciones escasas, son el cuarzo, las micas, rutilo, circón y apatito, además de algunos opacos. Petrográficamente suelen ser rocas holocristalinas, de textura granoblástica a granolepidoblástica (ITGE, 1993). Las albititas impuras, por su parte, se caracterizan por una mineralogía similar a la anterior, pero con contenidos mayores en micas y en cuarzo, y la consecuente disminución de la proporción de albita. Su contenido en Na es menor que en el caso de albititas puras, con valores que oscilan, en general, entre el 5-8 %.

Génesis

La génesis de estos niveles albiticos ha sido objeto de controversia, existiendo interpretaciones diferentes que integran los aspectos estratigráficos y geométricos, a escala de campo, con la textura y la geoquímica. Las propuestas más tempranas sugieren, esencialmente, cuatro posibilidades: un origen ligado a pegmatitas, a felsitas (diques subvolcánicos de pórfidos micrograníticos), a lentejones de arcosas y a procesos de metasomatismo (albitización). Los contextos geológicos de Foz-Barreiros y San Pedro de Paredes excluyen de forma contundente tales hipótesis, pudiendo encontrarse detalladas explicaciones al respecto en ITGE (1993). En todo caso, parece indudable un origen primario endógeno (efusivo), fuente del Na, trastocado en mineralogía y composición química por procesos sedimentarios posteriores (removilización y alteración), encontrándose la textura de las rocas fuertemente influenciada por la diagénesis,



el metamorfismo y la deformación interna por causas tectónicas. La riqueza en Na hace pensar en un origen de tipo traquítico o cinerítico, aspecto éste que ha sido puesto de manifiesto por diversos autores (ITGE, 1993; Roel, 1994, entre otros).

Localización y caracterización de las albitas de San Pedro de Paredes

En la zona de estudio es posible reconocer las rocas albiticas en afloramientos, sobre una banda que, siguiendo una dirección general NE-SW (coincidente con las estructuras regionales), va desde Piñera hasta Ovienes, atravesando Longrey y Aguera, unos cientos de m al W de San Pedro de Paredes, por la carretera que une Merás con Naraval. El nivel albitico, que se puede seguir durante un trazado mínimo de 2 km, presenta un buzamiento medio-alto (50°) al NW y, estratigráficamente, se dispone próximo al contacto entre la Fm Vegadeo y La Serie de Los Cabos, aunque ya dentro de ésta. Mediante campañas de sondeos mecánicos (ver apartado posterior) se ha podido establecer una potencia media de 150 m, de los que serían aprovechables industrialmente unos 75, constituyendo la mitad superior del conjunto. Es posible reconocer su aspecto en muestra de mano por la presencia de moldes de cristales de calcita. Los 75 m inferiores cuentan con proporciones elevadas de material detrítico, pizarras y areniscas que inutilizan el tramo para su aprovechamiento industrial. Cabe hacer mención explícita a la presencia de una delgada capa (10 cm, ITGE, 1993) de albita que aparece en el contacto entre la Fm Vegadeo y la Serie de Cándana, y que se corresponde en posición estratigráfica con los niveles de Foz-Barreiros. La columna estratigráfica que se ha podido deducir de la investigación de los años 90 del pasado siglo es la siguiente:

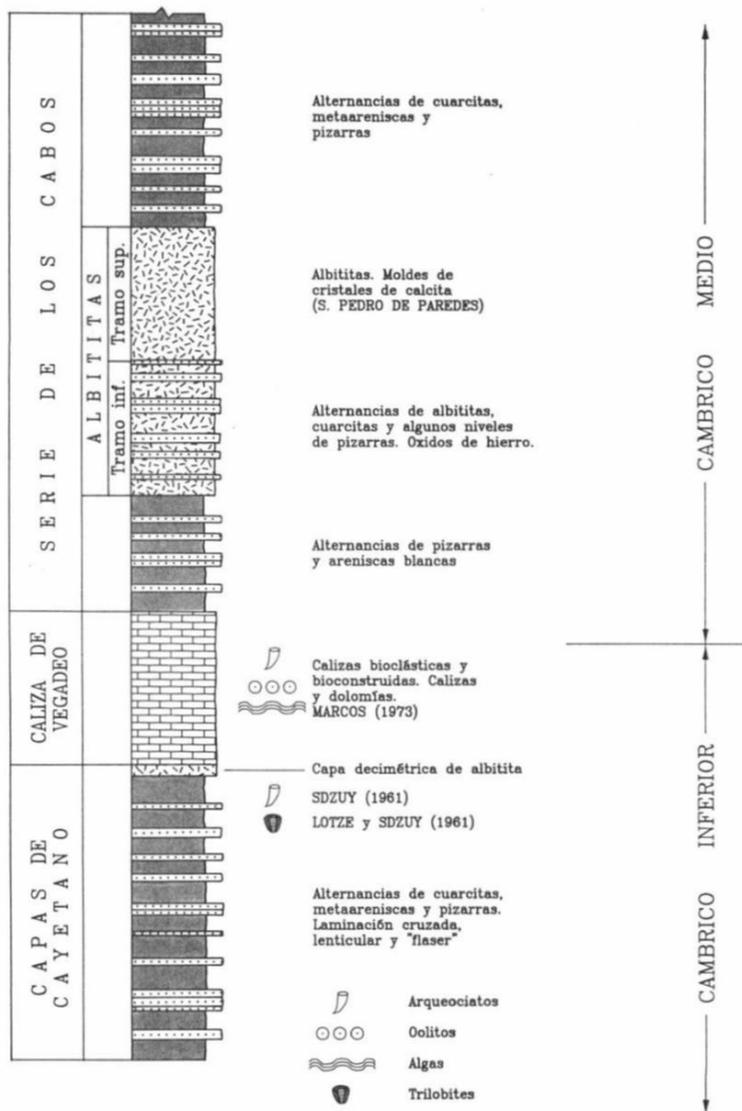


Figura 64. Columna estratigráfica del Cámbrico Inferior-Medio en las inmediaciones de San Pedro de Paredes (ITGE, 1993).

Teniendo en cuenta la columna propuesta, y aceptando la hipótesis vulcano-sedimentaria (vulcanismo freatomagmático) para los niveles albiticos, la edad de estas mineralizaciones sería Cámbrico Medio, establecida con ayuda de Cruziana en las capas inmediatamente a techo. Por su parte, la capa albitica de la base de la Fm Vegadeo y, por consiguiente, de los tramos que se explotan en Foz, sería Cámbrico Inferior. Existen algunos análisis composicionales previos (Gutiérrez-Claverol y Luque, 1993; Roel, 1994; García-Arias *et al.*, 2007) que señalan valores máximos en el entorno del 10% de Na_2O para la albitita más pura, y entre el 4 y el 8% para la impura. Existen varios afloramientos muestreables, estando localizados los dos más accesibles en Piñera, a la altura de las últimas casas ($X_{\text{UTM}}=702531$; $Y_{\text{UTM}}=4814556$, ETRS89, huso 29) y en Ovienes, sobre la carretera, a la salida hacia Naraval ($X_{\text{UTM}}=701334$; $Y_{\text{UTM}}=4812504$, ver imagen siguiente).



Figura 65. Niveles albiticos de San Pedro de Paredes. De arriba abajo: afloramiento de Piñera, afloramiento de Oviendes y vista del valle desde el SW (la zona de prados es el trazado de la Fm Vegadeo, a la izquierda –NW- la Serie de Los Cabos; en las pistas forestales se aprecia el tono blanco de las albititas).

Petrográficamente, se trata de rocas de textura microcristalina, tanto equi- como inequidimensional, en las que predomina la albita y el cuarzo. Los contactos entre los cristales indican una ligera recrystalización, propia de un grado metamórfico bajo. La albita no está zonada ni maclada, por lo que la diferencia con el cuarzo no resulta evidente. El cuarzo presenta morfologías subangulosas, a pesar de lo cual su origen parece mayoritariamente detrítico. Además del cuarzo, el resto de impurezas, ya mucho menos importantes cuantitativamente son las micas (esencialmente moscovita), la clorita, la calcita y los opacos (ver figura siguiente). Aunque en este trabajo no se ha contrastado, García-Arias *et al.* (2007) señalan que la mayoría de los opacos son óxidos de Ti. Estos opacos, en ocasiones, forman



alineaciones (“láminas”) de origen sedimentario que evidencia la influencia de los procesos exógenos en la historia geológica de los niveles albiticos.

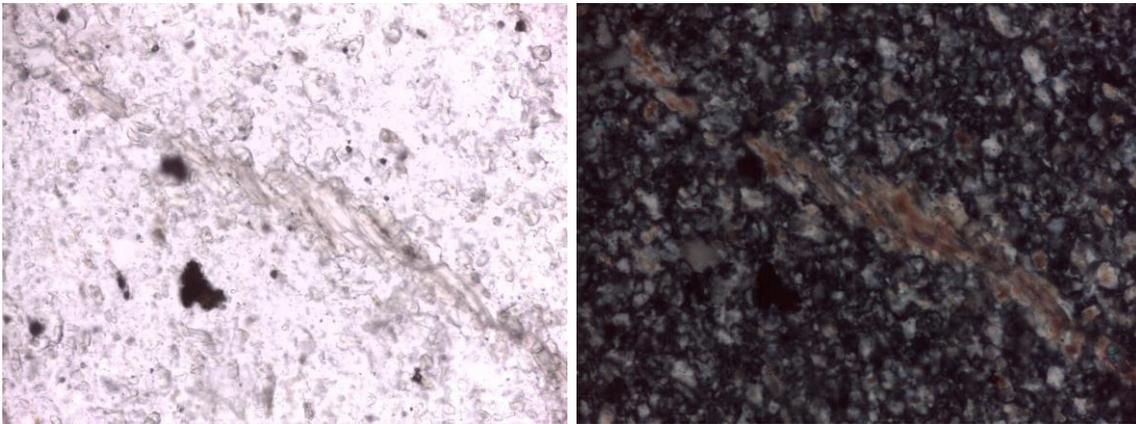


Figura 66. Aspecto microscópico de la albitita de San Pedro de Paredes: albita cuarzo, moscovita (diagonal) y opacos. Encuadre horizontal: 650 μm . Izquierda: luz normal. Derecha: luz polarizada y analizada.

Una muestra tomada en el afloramiento de Oviens proporcionó la siguiente composición, determinada mediante FRX-WDS:

SiO ₂	63.46
Al ₂ O ₃	20.51
Fe ₂ O ₃	0.77
MnO	0
MgO	2.56
CaO	0.58
Na ₂ O	9.58
K ₂ O	0.38
TiO ₂	0.45
P ₂ O ₅	0.12
L.O.I	1.38
TOTAL	99.81

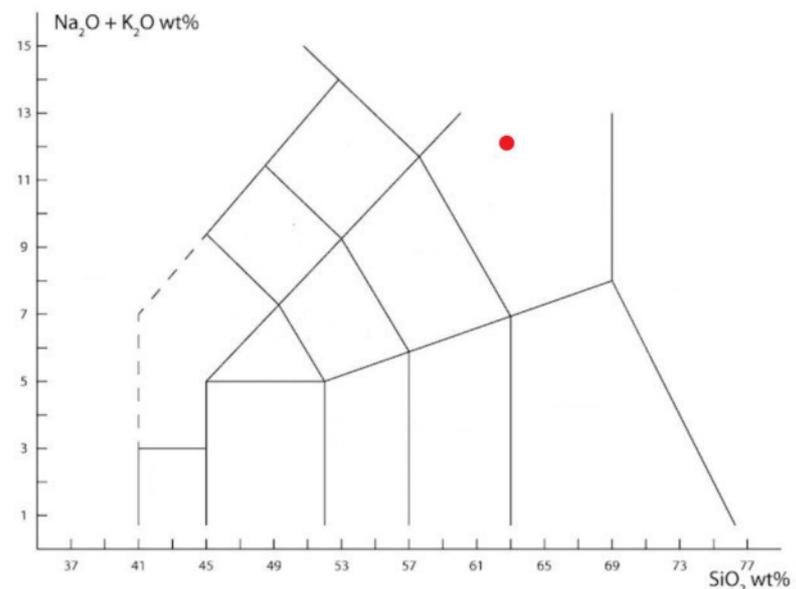


Tabla 16. Composición (% en peso) de la albitita de San Pedro de Paredes (afloramiento de Oviens).

Otra muestra, en este caso del afloramiento de Piñera, fue analizada para elementos menores y traza mediante ICP-MS (digestión en agua regia, todos los elementos excepto el Au, que se determinó mediante el protocolo Au-AA25 de ALS –fire assay):



Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
<1	2.36	<50	100	<10	<20	0.1	<10	10	70	<10	0.49
Ga	K	La	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
<50	1	<50	1.11	10	<10	6.42	50	470	<20	0.05	<50
Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn		Au	
ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		ppm	
<10	50	<50	0.16	<50	<50	100	<50	<20		<0.01	

Tabla 17. Resultado del análisis mediante ICP-MS de una muestra de albita del afloramiento de Piñera.

Tal y como se puede apreciar en las tablas anteriores, el contenido en Na₂O se encuentra en valores similares a los citados por autores anteriores (6,42% de Na equivale a un 8,65 de Na₂O), y dentro de los límites establecidos en la industria cerámica para su empleo en el proceso productivo. Situando la composición de la muestra de Ovienes en el diagrama TAS, e interpretando un origen magmático sin tener en cuenta la participación de material sedimentario, el punto cae dentro del campo de las traquitas (<20% de cuarzo), variedad que se podrá aceptar entonces como más probable para la roca original de procedencia. Los elementos mayores serían, además de los propios de la albita, el Mg y también el K en la muestra de Piñera. Su presencia se puede explicar de forma sencilla considerando que en las láminas delgadas se ha observado la presencia de clorita y moscovita, respectivamente. La clorita también ayudaría a explicar los contenidos, en el rango de elemento menor, de Fe, mientras que la calcita (o la propia plagioclasa) y el rutilo serían los responsables de los valores de Ca y Ti, respectivamente.



Figura 67. Aspecto, en muestra de mano, de las albitas de Paredes.

La campaña de investigación de Venis

La compañía del sector de la cerámica Venis (ver <https://www.venisprojects.com/>) realizó un importante esfuerzo en investigación sobre los niveles albiticos de San Pedro de Paredes, y se



ha tenido acceso a los informes de estas investigaciones. Se estudiaron muchas muestras y se realizó una evaluación minera del posible yacimiento con lo que, a pesar de no ser información ni propia ni original, se ha considerado oportuno recoger aquí, como complemento, los principales hallazgos.

Venis fue la propietaria del derecho minero "Paredes" (expediente 30379), que abarcaba una superficie de tres cuadrículas mineras y en el que la roca industrial objeto de interés era el feldespató sódico ("felsita sódica"). Las actividades de investigación que Venis efectuó para la evaluación del permiso fueron las siguientes: i) cartografía geológica de detalle; ii) 367,8 m de zanjas (transversales a la dirección de la capa); iii) 10 sondeos cortos a percusión, con un total de 262 m y iv) 5 sondeos de investigación, a rotación, con recuperación de testigo, totalizando 199 m. Los sondeos constataron que el macizo rocoso tiene un alto grado de alteración hasta una profundidad aproximada de 12 m. Los sondeos fueron testificados, estimándose su grado de alteración, muestreados (275 muestras) y analizados para los elementos mayores de interés económico y potencialmente perjudiciales.

El nivel de interés, según se describe en el informe (Venis, 1991), estaría limitado a techo –no neto- por unas areniscas de color blanco y a muro por un incremento del porcentaje en Fe, y tendría geometría tabular (N340E, buzamiento entre 43° y 53°), estando afectado por un sistema ortogonal de diaclasas (familia principal 225/70 y familia secundaria 130/50). Se indica que la evolución al N del nivel albítico es desfavorable, apareciendo biotita e intercalaciones de argilitas esquistosas, con un consiguiente aumento del contenido en Fe y Mg. De igual forma, se cita que la evolución en profundidad tampoco es buena debido a un aumento en el porcentaje de calcita/dolomita. Otra de las limitaciones que se señalan es que el nivel beneficiable contiene fragmentos de rocas (areniscas y cuarcitas a techo, lutitas y esquistos a muro) en ocasiones de gran tamaño. Uno de los aspectos de mayor interés aplicado es la propuesta de reconstrucción de una sección (NW-SE) del nivel albítico, en base a los resultados de la campaña de sondeos:

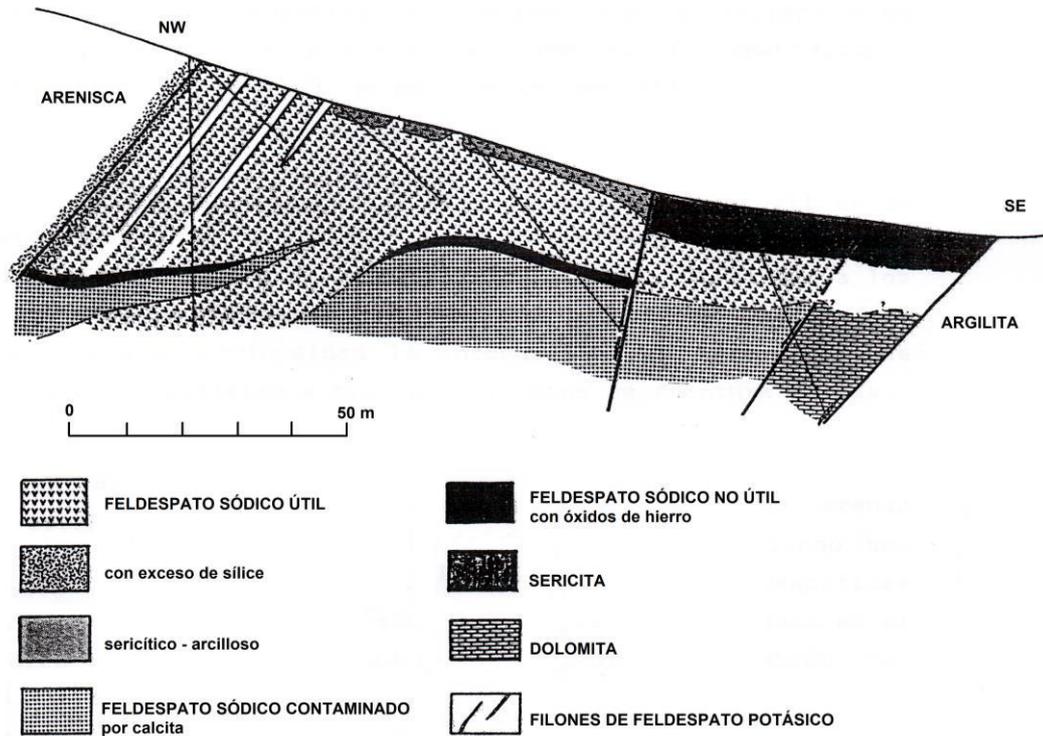


Figura 68. Sección del nivel albítico de San Pedro de Paredes. Las tramas corresponden a los minerales principales: 1. Albita; 2. Albita+cuarzo; 3. Albita+sericita; 4. Albita+calcita; 5. Albita+óxidos de Fe; 6. Sericita; 7; Dolomita; 8. Fto-K (Venis, 1991).

Teniendo en cuenta el carácter aplicado de la campaña de investigación de Venis, el interés prospectivo se centró en la composición química de las muestras, en particular en los valores de las sustancias no deseadas: alúmina, óxidos de Fe, óxido de Ca y óxido de Mg. En la siguiente tabla se recogen los valores medios obtenidos para el nivel beneficiable y los intervalos aceptables para el proceso (datos en % en peso):

Compuesto	Valor Proyecto	Mínimo	Máximo
SiO₂	64,10%	60,00%	64,50%
Al₂O₃	20,60%	19,00%	21,00%
Fe₂O₃	1,25%	0,60%	1,27%
CaO	0,50%	0,40%	0,90%
MgO	1,32%	1,30%	2,20%
Na₂O	7,91%	7,80%	9,00%
K₂O	1,25%	0,90%	1,30%
TiO₂	0,76%	0,60%	1,00%
BaO	0,01%	-	0,01%
Li₂O	0,01%	-	0,01%
P.P.C.	1,78%	0,90%	1,80%

Tabla 18. Valores medios de los elementos mayores y menores en el nivel albítico de San Pedro de Paredes y límites para su utilización en la industria cerámica (Venis, 1991).



Las limitaciones señaladas en la tabla anterior responden a dos aspectos: por una parte, existe una composición química que debe ser respetada y cuyos márgenes no son, en general, amplios. Además de lo anterior, existen otros efectos de tipo físico, y que son debidos a la presencia de determinados elementos químicos o minerales, y que tienen relación, fundamentalmente, con dos aspectos: el color (caso de los óxidos de Fe) o el carácter no fundente (caso de las micas). En general, el cuarzo y los minerales arcillosos no se consideraban, en este contexto, contaminantes. Tras las debidas pruebas de idoneidad de los diferentes litotipos que Venis definió (ver resultados de su composición en el Anexo VI), se propone una sencilla regla para determinar la correspondencia entre contenido en albita y contenido en Na_2O como sigue: $\% \text{albita} = 8,456 * [\% \text{Na}_2\text{O}]$.

Tal y como corresponde a un proyecto minero, con toda la información obtenida (observaciones de campo, testificación de sondeos, análisis de las muestras...) Venis realizó un cálculo de reservas, considerando únicamente el feldespato útil, a partir de 4 secciones transversales y una sección longitudinal a la capa. Para ello, dividió el permiso en cuatro zonas (A, B, C y D) de acuerdo con la figura siguiente, considerando las reservas del sector A como probadas y/o probables, mientras que las de las zonas B, C y D serían recursos inferidos. El valor considerado de la densidad, para la transformación de volumen a masa, fue de $2,6 \text{ g/cm}^3$.

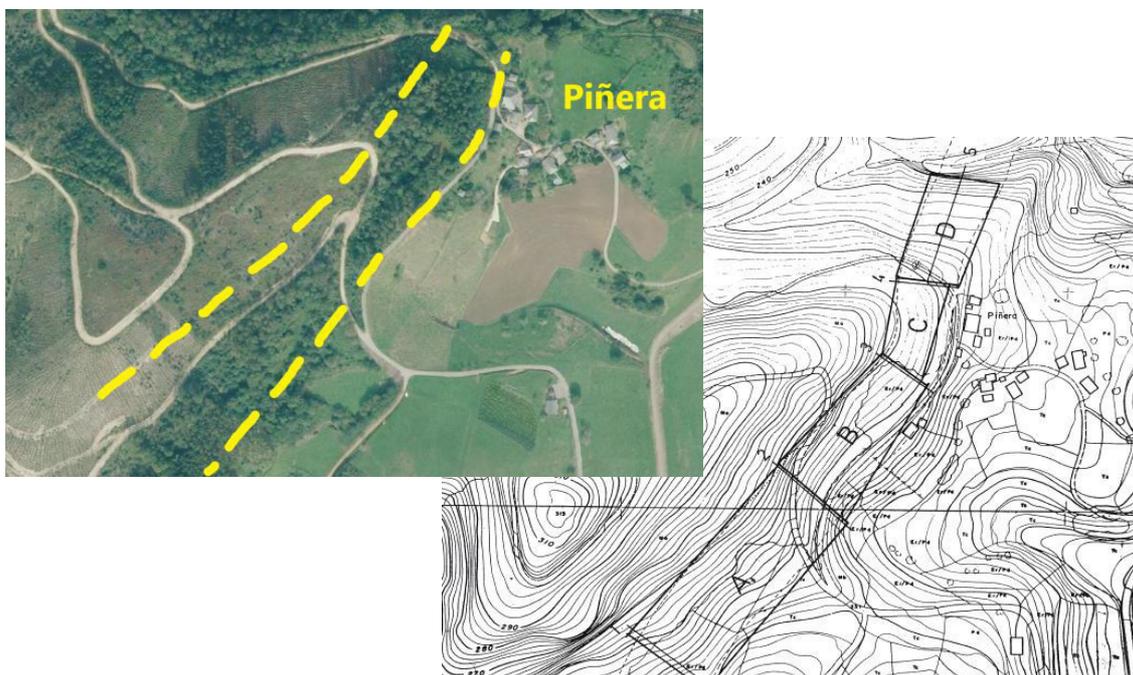


Figura 69. Zonación para el cálculo de reservas del yacimiento de San Pedro de Paredes.



	PERFIL	m ²	PERFIL	m ²	DISTANCIA	Metros	TOTAL m ³	ESTÉRIL m ³	MINERAL m ³	MINERAL Toneladas
ZONA A	1	1642	2	1838	1-2	200	347447	21166	326281	848330
ZONA B	2	1838	3	1375	2-3	150	238460	16692	221768	576597
ZONA C	3	1375	4	1054	3-4	80	96307	6741	89566	232872
ZONA D	5	1040	-	-	Hastiales	60	62400	4368	58032	150883
							744614	48967	695647	1808682
ZONA A		1642		1838			347447	21166	326281	848330
ZONAS B+C+D		4253		2429			397167	27801	369366	960350

Tabla 19. Inventario de recursos y reservas del PI Paredes por parte de la Sociedad Venis (Venis, 1991).

Las 960350 t de recursos inferidos, naturalmente, podrían transformarse en reservas en función de los resultados de futuros trabajos de investigación. A pesar de los resultados alentadores obtenidos en este estudio, la oposición vecinal impidió que el proyecto se pusiera en marcha, no volviendo a activarse la investigación en este interesante emplazamiento desde entonces.

Síntesis

El potencial minero de esta acumulación de feldespato es elevado, ya que las reservas son significativas y las dimensiones de la capa aprovechable, aceptables. Los resultados de los ensayos industriales para cerámica fueron, además, buenos. Además, la capa albitica únicamente se investigó en las inmediaciones de Piñera, habiéndose podido reconocer durante los trabajos de campo de este estudio su presencia en Oviens, unos 2 km al SE del lugar investigado por Venis, y en aparente continuidad estratigráfica.

6.2 MINERALIZACIÓN DE BARITA

Introducción

En la localidad de Muñalén se encuentra unos 3 km al NE de Navelgas, siguiendo la vía TI-8. En Muñalén, como en algunos otros lugares, no lejanos, pero ya fuera de la zona de estudio, se conoce la existencia de labores mineras antiguas para el beneficio de barita, al menos desde principios del siglo XX; el número 25 del "Boletín minero y comercial" (diciembre de 1900) contenía un anuncio que se transcribe literalmente: "*D. Francisco Junceda, vecino de Luarca (Asturias), dueño de las minas de mercurio y barita "Salvador" y "Carmencita", sitas en Muñalén (Tineo), desea cederlas o constituir sociedad anónima. También admitiría socio capitalista*". Desconocemos si el reclamo del Sr. Junceda tuvo o no éxito, pero, según Fernández (1982), unos 20 años más tarde existían labores mineras de interior activas, concretamente una galería de dirección N20/30E emboquillada unos 40 m por debajo de las explotaciones más modernas. También se desconoce el lapso de tiempo durante el cual la actividad estuvo detenida, pero parece probable que no hubiese actividad importante hasta el



año 1977, en el que la compañía Baritas Industriales SA comienza con una explotación a cielo abierto, que permanece en producción hasta 1981, momento del cese definitivo de la extracción de barita.

Antecedentes

La mineralización de Muñalén, seguramente por su modesto tamaño, ha sido, hasta el momento, objeto de escaso interés. Fernández (1982), en un extensísimo trabajo sobre las mineralizaciones de barita a nivel regional, indica que esta acumulación presenta una morfología en filón-capa, situándose, desde el punto de vista estratigráfico, en la serie de Cándana, algo por encima del nivel dolomítico que ésta presenta en su mitad inferior. Su carácter es claramente epigenético en relación a la roca de caja (124/40). En un reconocimiento de campo, estando la explotación activa, este autor cita una potencia de entre 1 y 2 m para el nivel rico en barita, que cuenta con hastiales (tanto techo como muro) de pizarras amarillentas. Se indica, en el mismo trabajo, que esta mineralización fue inicialmente puesta en marcha para recuperar el cinabrio que acompaña a la barita. La paragénesis que se propone para la mineralización es simple: barita-cuarzo-moscovita-cinabrio-pirita-goethita. Fernández (1985) profundiza un poco más en el modelo genético, aportando algunos análisis de elementos traza que le llevan a concluir que se trata de una acumulación de barita de origen continental (<1 mg/kg U, <3 mg/kg Th), de carácter hidrotermal pero no de afinidad magmática, que encaja en el modelo "stratabound" en la que el proceso clave de la concentración del Ba sería una removilización sintectónica en la cual el metamorfismo habría jugado un papel clave. En estas consideraciones, comunes para las mineralizaciones de San Martín de Luiña y de Tebongo, se fundamentan en la posición de la Fm Cándana en partes muy profundas de la cuenca durante el Paleozoico (grado metamórfico en facies de los esquistos verdes) y en el hecho de que, en la Zona Cantábrica, donde no existe metamorfismo regional, no existe ningún indicio de barita en el mismo encajante.

Reconocimiento de campo

Siguiendo las indicaciones de los vecinos del pueblo, es posible, incluso sencillo, llegar a zona donde se desarrolló la actividad extractiva más reciente, de la que no queda resto alguno. La cubierta vegetal impide, incluso, reconocer adecuadamente la capa barita, ni tampoco su disposición geométrica en filón-capa. Sí es posible, por el contrario, examinar un pequeño afloramiento de unos 4 m en las proximidades del nivel de barita y recoger alguna muestra de ésta, generalmente de tamaño centimétrico. Desde este emplazamiento hasta el río existe una diferencia de cota de unos 90 m, a lo largo de los cuales es posible reconocer tramos parciales de la serie de Cándana, todos ellos areniscosos o pizarrosos y bastante alterados. Tampoco se ha podido confirmar la presencia de la banda dolomítica basal, idealmente poco por debajo del nivel de barita.



Figura 70. Izquierda: Vista, desde el N, de la zona donde estuvo situada la antigua explotación. Centro y derecha: aspecto en muestra de mano de la barita de Muñalén.

Caracterización de la barita

Examinada en lámina delgada, la barita de Muñalén se presenta en agregados cristalinos de tamaño medio-grueso (0,4-1 mm), con cristales equidimensionales y con los planos de exfoliación bien marcados. Contiene signos de recristalización y, en ocasiones, los cristales presentan abundantes inclusiones fluidas secundarias e inclusiones minerales sub-micrométricas. Los cristales de barita están en buen estado de conservación, presentando límites netos y rectos entre sí. El segundo mineral en importancia cuantitativa es el cuarzo, en general de tamaño mucho más fino (intervalo limo) y también con evidencias de recristalización. La moscovita, aunque lejos de ser importante cuantitativamente, presenta formas aciculares, sobrepasando el mm de tamaño según el eje mayor. A menudo se encuentra en estados intermedios y avanzados de alteración, con neoformación de minerales arcillosos.

El examen de un duplicado de la muestra anterior en sección pulida bajo luz reflejada revela que los opacos, tal y como se deduce de sus frecuentes secciones cuadradas en lámina delgada, son restos de piritas, en su mayor parte ya transformadas en goethita. Los tamaños de los sulfuros y sus óxidos secundarios correspondientes varía entre 20 y 100 μm . El cinabrio, pulverulento y de muy pequeño tamaño, se observa mucho mejor con lupa de mano, por su tonalidad rojiza, que en una sección pulida. En las imágenes siguientes se ilustran algunos de los aspectos más representativos de la barita de Muñalén:

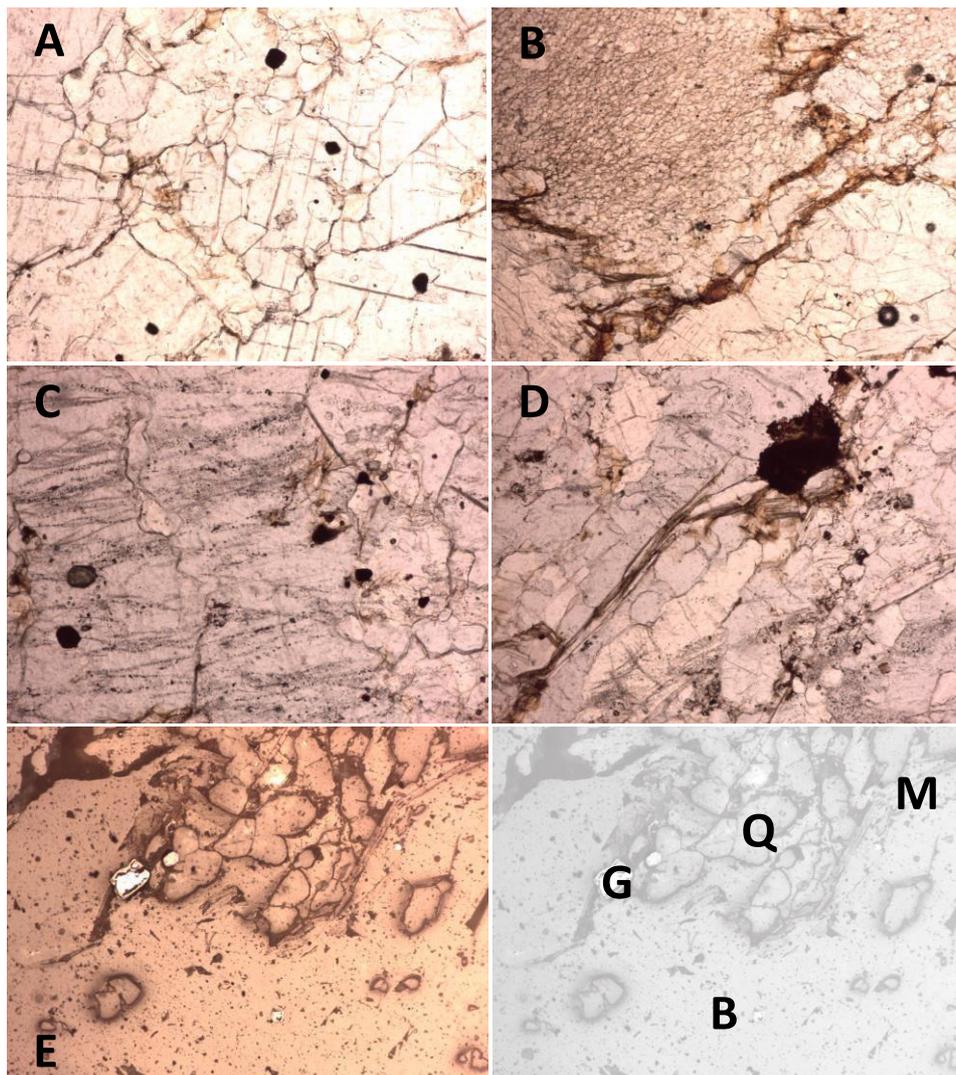


Figura 71. A) Aspecto representativo de la barita de Muñalén, en forma de agregado policristalino con opacos diseminados. B) Barita (mitad inferior) cuarzo (mitad superior) e insolubles arcillosos en las juntas. C) Alineaciones de inclusiones fluidas secundarias y algunas inclusiones minerales en los cristales de barita de mayor tamaño. D) Barita, opacos y cristales de moscovita (diagonal secundaria) algo meteorizados. E) Imagen tomada con luz reflejada (B: barita; G: goethita; Q: cuarzo y M: moscovita). Encuadre horizontal: A, C y D: 1,3 mm. B: 2,6 mm; E: 650 μ m.

Síntesis

Esta mineralización, muy al contrario de lo que ocurre con los niveles albiticos de Paredes, no presenta interés económico, dado que: a) la barita aparece en un filón-capa que ha sido explotado, y que se acuña en el espacio; b) la mena viene acompañada de cinabrio, lo que limita su interés actual y c) ni siquiera el análisis de su posición estratigráfica serviría como guía de prospección local, dado que otras mineralizaciones equivalentes (San Martín de Luña o Tebongo) se encontraban en posiciones distintas (Fernández, 1985), si bien dentro de la serie de Cándana. De esta forma, en el presente trabajo no se le dedicará mayor atención, una vez conocidas las generalidades mineralógicas y texturales del mineral de interés que, como se ha indicado, se puede considerar, desde un punto de vista práctico, agotado.



6.3 LAS CALIZAS Y DOLOMÍAS COMO MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL

Introducción

Hasta la primera mitad del siglo XX era frecuente, en los contextos rurales de Asturias occidental, la obtención de cal en hornos rudimentarios, denominados “caleros” o “caleiros”, a partir de fragmentos de rocas ricas en carbonato cálcico, que era calcinado utilizando materia vegetal como combustible. Restos de este tipo de construcciones se pueden encontrar hoy día, generalmente en estado ruinoso, sobre el trazado de la Fm Vegadeo, única unidad litoestratigráfica de carácter carbonatado, a excepción de la delgada banda dolomítica de la mitad inferior de la Serie de Cándana. La cal obtenida por medio de estos hornos se destinaba a usos variados, siendo el más importante su empleo como material conglomerante. En la exhaustiva obra de recopilación de García (2009) se pueden consultar muchos detalles sobre esta práctica.

Como se ha indicado en secciones anteriores, la Fm Vegadeo presenta unas condiciones de afloramiento bastante deficientes en todo el corredor Navelgas-Trevías, y en superficie se suele encontrar bastante alterada. Existen restos de caleros (al menos) en el entorno de Navelgas, en Naraval, en Calleras y en Los Fornones (estas dos sobre el nivel dolomítico de Cándana, ver figura siguiente), en Los Pontones y en San Feliz.

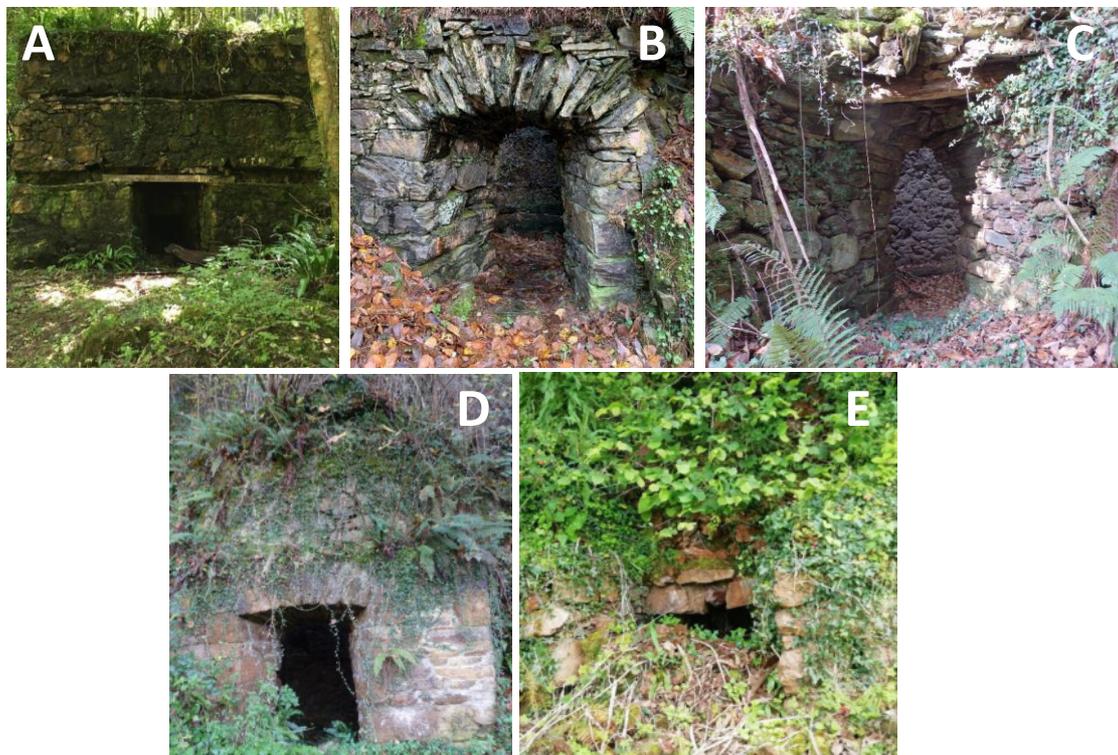


Figura 72. Diferentes caleros en la zona de estudio. A: Navelgas; B: Navelgas (Castandiel). C: Los Fornones; D: Calleras; E: San Feliz. A y B: cortesía de Alba Iglesias.



Para la elaboración de este apartado se han recogido muestras de la Fm Vegadeo en lugares cercanos a los propios caleros, y se ha realizado una breve caracterización basada en su estudio en lámina delgada. No se ha profundizado en su estudio geoquímico, dado que en el contexto socio-económico actual, no es en modo alguno previsible que se implante ninguna actividad extractiva en la zona de estudio para la obtención de cal.

Caracterización

La Fm Vegadeo es una caliza cristalina, localmente algo dolomítica, con bastante variedad composicional derivada de las frecuentes impurezas. Estas impurezas, si bien desde el punto de vista mineralógico no son muy variadas, sí se presentan en un amplio abanico de contenidos porcentuales. Los niveles más alejados del muro y el techo resultan algo más puros, presentando las zonas próximas a las areniscas y pizarras de techo y muro niveles muy elevados en silicatos diversos.

En las impurezas, el cuarzo es la especie mineral predominante, tanto que, en ocasiones, la roca original se encuentra prácticamente silicificada. El cuarzo aparece en tamaño limo, siendo los diámetros superiores a 80 μm menos frecuentes. Son cristales angulosos, algo corroídos y habitualmente inequidimensionales, mostrando cierta alineación según S_0 . Generalmente es monocristalino y presenta extinción recta. Por su parte, los filosilicatos, se presentan en forma de pequeñas láminas, mal conservadas, de moscovita y flogopita (identificación no concluyente) que se encuentran a veces en moderado estado de transformación a minerales arcillosos. Las láminas micáceas se disponen en una orientación imperfecta según S_0 y son las principales responsables del aspecto foliado de la roca. Los opacos son abundantes, presentándose como pequeños cristales dispersos (<20 μm) en las bandas más ricas en cuarzo; los tamaños más grandes son algo menos frecuentes, concentrándose preferentemente en las zonas donde abundan los filosilicatos. Un análisis mediante DRX de una muestra tomada en la sección de la gasolinera de Navelgas proporcionó, además de calcita y cuarzo, cantidades significativas de caolinita y goethita.

El tamaño medio de los cristales de calcita se sitúa en torno a 100-200 μm , siendo muy raros los de menos de 80 μm en las muestras más o menos puras. Localmente, la recristalización puede ser mucho más intensa y se pueden ver, como relleno de fracturas, cristales superiores a 1 mm de eje mayor. Dado que las láminas delgadas no están teñidas, sobre una muestra tomada entre Longrey y Piñera ($X_{\text{UTM}}=702673$, $Y_{\text{UTM}}=4814181$, ETRS89, huso 29), que resultó ser la más pura en carbonato, se realizó un ensayo de DRX para determinar la proporción de dolomita. Realizando la asignación de picos manualmente, y tras los cálculos oportunos, la presencia de dolomita se puede establecer en un 3,5% en peso.

La deficiente idoneidad de este nivel como materia prima para la producción de cal tiene su máximo exponente en las explotaciones existentes en las inmediaciones de los caleros más



septentrionales de la zona de estudio (Los Pontones y San Feliz). En ambos sectores, la Fm Vegadeo es una caliza intensamente recristalizada y silicificada que combina cuarzo y filosilicatos de pequeño y muy pequeño tamaño con carbonato cristalino de tamaño milimétrico. Su contenido en carbonato cálcico ronda el 30% del total de la muestra, con lo que la cantidad de cal que se obtendría tras su calcinación sería de poco más de la mitad de dicha proporción. En estas muestras, la calcita es de tamaño muy grueso, con cristales que varían de subidiomorfos a xenomorfos. Su diámetro habitualmente supera el mm de tamaño. Se encuentra casi siempre maclada y se observa con cierta claridad su reemplazamiento por el conjunto cuarzo+filosilicatos. El cuarzo habitualmente aparece en tamaño limo, aunque existen cristales de hasta 240 μm .

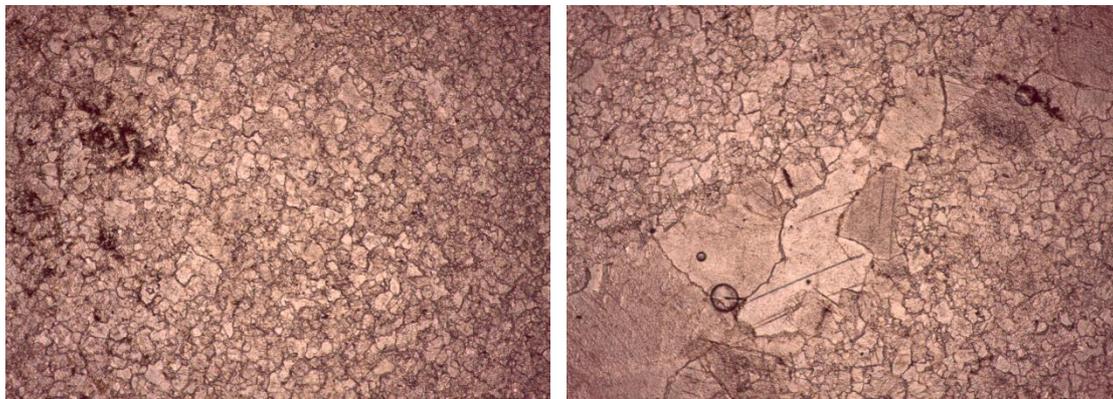


Figura 73. Aspecto de la Fm Vegadeo en lámina delgada. Términos más puros, poco dolomíticos, sección de Piñera. Encuadre horizontal: 1,3 mm. Los términos impuros se muestran en las figuras 16.C-D-E-F.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Teniendo en cuenta los resultados presentados en los capítulos anteriores, así como sus correspondientes discusiones, se pueden establecer como conclusiones y aportaciones originales las siguientes:

- En la zona de estudio, a pesar del claro predominio de las rocas detríticas, metasedimentarias, en sucesiones monótonas y muy potentes, existen diversos puntos o áreas con potencial interés económico por la presencia de sustancias igualmente diversas, destacando las metálicas frente a las rocas y minerales industriales. No existe, por el contrario, ningún recurso mineral energético. Las conclusiones se presentan agrupadas por la sustancia de interés

Oro

- Existen varios indicios de oro, entendiendo como tales a los de origen primario. El sector más importante es el de Navelgas. El contexto geológico local viene definido por el trazado de la falla de Allande y la presencia, como guía litológica de la Fm Vegadeo. El espesor máximo de este nivel se ha estimado, en el corte de Navelgas, en 177 m. La presencia de la serie gabroica que cita Rubio (2010) en el contacto entre la Fm Vegadeo y la Serie de Los Cabos no ha podido ser confirmada, a pesar del notable espesor que se le asigna (150 m). Se trata de calizas cristalinas y microcristalinas, poco dolomitizadas, que evolucionan a calco-esquistos a techo. Albergan una mineralización metálica de claro carácter epigéntico, con un control por fracturas, y origen hidrotermal. El interés económico principal de esta mineralización es por su contenido en Au. La paragénesis primaria previa conocida, pirita-pirrotina (+pentlandita)-calcopirita ha sido completada y actualizada con las siguientes especies: arsenopirita, lolingita, gersdorfito-Sb, violarita, Bi nativo, bismutinita, monacita y parisita. En la paragénesis de alteración hay que añadir, además de lo apuntado en trabajos anteriores, la calcosina. El oro nativo es escaso, se asocia principalmente a pirita y arsenopirita, siendo el tamaño más frecuente las unidades de micrómetro. No suele superar las 20 μm . El microanálisis ha revelado contenidos medios en Au en la pirita (sulfuro más abundante) de 625 mg/kg y máximos de 3649 mg/kg.
- En el sector de La Mortera se ha podido verificar la presencia de rocas intrusivas, de texturas porfídicas, muy alteradas, formadas por cuarzo, plagioclasa, clorita (secundaria) y abundantes óxidos de Ti. En este indicio no se han apreciado valores interesantes de los contenidos en Au, aunque no se han realizado un número suficiente de determinaciones como para garantizar la representatividad.
- En el área de Santiago de Cerredo no se ha podido verificar la presencia de rocas magmáticas que, sin embargo, sí están descritas en campañas previas de prospección



con sondeos mecánicos. La mineralización es débil, constituida esencialmente por óxido de Fe y/o Ti. En las secciones pulidas se ha observado algún pequeño cristal que podría, por sus propiedades ópticas, ser Au.

- Los indicios de Los Fornones y Candanedo han sido reconocidos, sin observarse rasgos de interés, más allá de las labores romanas de Los Fornones. Los valores obtenidos para Au son desfavorables. Los indicios de Naraval y La Oscura (Vega de Muñalén) no se han muestreado por las dificultades de acceso y la ausencia de afloramientos.
- El indicio de Ferrera de Merás, muy interesante por los datos previos de que se dispone, no ha podido ser localizado, ni siquiera con ayuda de los habitantes del pueblo. La conjunción de una roca granítica encajada en la Fm Vegadeo justifican este apunte en las conclusiones del trabajo, a modo de sugerencia para investigadores futuros.
- En relación al oro aluvionar, se ha podido comprobar, aunque desde luego no se trata de un dato original, el carácter aurífero de los ríos Bárcena y Navelgas, el segundo incluso aguas arriba de su intersección con las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo. Esto indica que existen mineralizaciones primarias sin descubrir en la parte alta de la Serie de Los Cabos. El mayor interés del oro aluvionar es su potencial empleo como guía para la búsqueda de la acumulación primaria. A este respecto, se han mostrado útiles como guías geoquímicas el Bi, el Cu y la Ag (al contrario que As y Fe). El oro nativo aluvionar del río Navelgas muestra valores de Ag bastante superiores (2,9-53,2%, media en torno al 20%) a los del oro del río Bárcena, tratándose, por lo tanto, de electrum. La geoquímica de elementos traza en oro aluvionar permite afirmar que en ambas sub-cuencas (Bárcena y Navelgas) hay, a su vez, al menos tres fuentes primarias diferentes. Las inclusiones minerales en el oro aluvionar apuntan a un encajante ígneo en el caso del río Bárcena (cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa, además de óxidos de Ti) y a filones de cuarzo en el caso del río Navelgas. Con todo lo anterior, parece claro que las cuencas altas de ambos ríos son zonas muy prometedoras.
- En el entorno de San Feliz se ha detectado la presencia de un suelo eluvionar, desarrollado sobre la Fm Vegadeo o al menos en sus inmediaciones, en el cual aparece goethita idiomorfa (pseudomorfa de pirita) que, por su similitud con la de la mineralización de Navelgas, fue microanalizada para verificar su contenidos en Au, resultando éste muy similar al encontrado en los sulfuros primarios de Navelgas: 706 mg/kg (máximo de 5541 mg/kg de Au). Estos “píritoedros” de goethita se caracterizan por sus bordes rectos y formas ideales, presentan huecos internos y, en ocasiones, conservan un núcleo pirítico. Como elementos menores, esta goethita contiene As y Bi, ambos elementos considerados como trazadores de Au. Se trata de un hallazgo original y de gran interés, ya que esta misma goethita podría encontrarse, por analogía, en diversas zonas del trazado del nivel calcáreo entre las localidades de Navelgas y



Trevías. En todo caso, el hallazgo justificaría una campaña de prospección para reconocer el subsuelo inmediato.

- También fueron muestreados los sedimentos detríticos terciarios discordantes en El Espín, Miño y La Cabuerna. Los valores obtenidos para el oro no son alentadores pero, una vez más, el número de muestras no es representativo. Los concentrados a la batea de estas muestras son ricos en óxidos de Fe (magnetita y hematites) y Ti. También se ha encontrado, en algún caso, cinabrio. La cartografía MAGNA de estos retazos presenta un amplio margen de mejora, especialmente en el caso de los depósitos de La Cabuerna.
- En la literatura especializada, hasta el momento, se han establecido en la región tres grandes lineaciones de indicios de Au (“cinturones auríferos”), cuya dirección aproximada es NE-SW. Algunos de los emplazamientos reconocidos en este trabajo parecen situarse en la intersección de los cinturones auríferos anteriores con otras posibles lineaciones de indicios, de dirección NW-SE, no citadas hasta el momento. Ejemplos de esta segunda familia de lineaciones serían Naraval-Ese de Calleras-Los Fornones-El Valle-Boinás y, por otra parte, San Feliz-Ortosa-Carlés. Esta hipótesis podría ayudar a definir nuevas zonas potencialmente favorables para su prospección y no consideradas hasta ahora, ya fuera de la zona de estudio.

Cobre y EGPs

- Los niveles diabásicos de Burgazal se presentan en bandas poco potentes y múltiples. Petrográficamente se trata de epidibasas de grano medio/grueso y textura intergranular diabásica. Sus minerales esenciales son plagioclasa (An5-15), clinopiroxeno, actinolita y clorita. El clinopiroxeno se encuentra, en la mayor parte de los casos, uralitizado. Los minerales accesorios son epidota, clinzoisita y óxidos de Ti. Estas rocas cuentan con una mineralización débil, no descrita ni citada con anterioridad a este trabajo, de carácter epigenético y constituida por pirrotina-pirita-calcopirita. No se ha observado la presencia de minerales específicos de Ni. La geoquímica de elementos traza revela contenidos medios de 373, 390 y 395 mg/kg de Pt en pirita, pirrotina y calcopirita, respectivamente. El Pd aparece en niveles por debajo de los 100 mg/kg, límite de detección de la técnica. Estos valores, comparados con los proporcionados en la bibliografía para otros yacimientos ortomagmáticos tipo Cu-Ni, son elevados, por lo que convendría verificarlos con estudios complementarios.

Tierras raras

- En los sedimentos de la zona de transición del río Esva se ha verificado la presencia de granos de monacita, cuya existencia ha sido puesta de manifiesto, como ya se ha comentado, en la paragénesis de Navelgas. Se trata de monacita-Ce que se presenta



en partículas mixtas (5-20 μm) y también en forma libre ($\sim 100 \mu\text{m}$, hasta un máximo de 250 μm). Los análisis a escala de grano llevados a cabo revelan contenidos elevados de Ce (26,8%, entre 20 y 31%), La (12%, entre 4,6 y 14,8%) y Nd (10,8%, entre 7,8 y 18%). También es reseñable la presencia, en el rango de elemento mayor, de Pr (2,5%), Sm (1,8%) y Gd (1,3%). Esta distribución, por comparación con datos bibliográficos, nos lleva a pensar en un origen en terrenos metamórficos. Cuatro partículas de esta monacita fueron analizadas mediante microsonda electrónica para realizar una datación empleando el método del U-Th-Pb (Scherrer et al., 2000), proporcionando unas edades llamativamente antiguas (2811-3749 Ma), que debe ser puesta en entredicho, ya que las rocas más antiguas de la cuenca son Neoproterozoicas. Con los datos anteriores, se muestrearon en tres emplazamientos distintos (Obona, Oves y Troncedo) las pizarras precámbricas, con el resultado de encontrar indicios de monacita -si bien de pequeño tamaño-en las tres muestras.

Manganeso

- Los indicios de Mn en la zona de estudio se restringen al sector Trevías-Briefes. Estas mineralizaciones, ya estudiadas en profundidad por diversos autores, presentan una paragénesis basada en óxidos de Fe y Mn, contando con la singularidad de estar espacialmente asociadas a rocas volcánicas. A pesar de haber recorrido las principales zonas de forma detallada, no ha sido posible constatar la presencia de horizontes volcánicos. Desde luego, se puede descartar su presencia con las potencias señaladas en la cartografía MAGNA. Como aportaciones más importantes, se ha encontrado que estas mineralizaciones existen niveles elevados de Ba debido a la presencia, como fase principal portadora de Mn, de romanechita, en ocasiones ferrífera. La especie más abundante de Fe es la goethita. Ambas presentan un claro carácter epigenético con respecto al encajante, que tiene naturaleza detrítica. Texturalmente, los óxidos de Mn/Fe se presentan como fase de unión (“cemento”) de granos de cuarzo y filosilicatos, y como relleno de espacios vacíos, ocasionalmente incompleto. Son muy frecuentes, igualmente, las texturas bandeadas y coloformes que delatan un origen supergénico, ligado a fenómenos superficiales. También se ha identificado la presencia de manganita y pirolusita.
- Este tipo de mineralizaciones se corresponde con zonas intensamente alteradas por oxidación, y en efecto, localmente pueden tener leyes elevadas en Mn y/o Fe, pero presentan texturas problemáticas para una buena liberación por molienda y su evolución en profundidad cabe esperar que sea igualmente desfavorable.

Feldespatosódico



- En el sector de Piñera-Ovienes, al W de San Pedro de Paredes, existe un nivel, al menos de decenas de metros de potencia y 2 km de trazado en afloramiento de rocas ricas en albita, cuyos contenidos en Na_2O se encontrarían, en los términos más puros, entre el 8,65 y el 9,58% (0,38% de K_2O). Se trata de una masa concordante con la roca encajante, cuya composición en el diagrama TAS lleva al campo de las traquitas, aunque petrográficamente es clara su participación de procesos exógenos. Mineralógicamente contienen albita, cuarzo, moscovita, clorita, calcita y opacos, cuya distribución puede variar entre límites amplios. La plagioclasa no presenta maclas. Texturalmente, son rocas microcristalinas, que en muestra de mano se reconocen por su tono blanco y por la presencia de fantasmas de calcita. La empresa Venis determinó, al W de Piñera, unas reservas de 960350 t (en las condiciones de mercado de hace unos 30 años), pero la banda se prolonga hacia el S al menos 1,5 km más a partir del área investigada, por lo que la cantidad total de feldespato sódico económico podría ser bastante superior.

Barita

- En la localidad de Muñalén existe una mineralización de barita, dispuesta en morfología de filón-capa y comuna potencia, que fue beneficiada en la segunda mitad del siglo XX y que se puede considerar de muy limitado interés económico. La barita se presenta en agregados cristalinos de grano grueso (0,4-1 mm), equidimensionales, con marcada exfoliación, y viene acompañada de cuarzo, moscovita (generalmente argilitizada), abundante goethita pseudomorfa de pirita y cinabrio. La posición estratigráfica no debe considerarse como criterio de prospección, ya que otras acumulaciones similares en la serie de Cándana aparecen en otras posiciones, claramente diferentes.

Cal

- Las calizas y dolomías en la zona de estudio son horizontes poco potentes y relativamente impuros. La utilización de estas rocas como materia prima para la obtención de cal debe ser entendida en el contexto social y económico de la primera mitad del siglo XX (los últimos caleros se clausuraron en la década de los 60). Actualmente, no cabría plantearse un aprovechamiento de este tipo.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., 2003. Mineralogical and geochemical characterization of an epithermal gold deposit in northwestern Spain. *Memorias e Noticias*, 2 (Nova Série): 195-204.
- Álvarez, R., Ordóñez, A., 2010. La mineralización aurífera de Navelgas. El modelo Carlin de la zona Astur-Occidental Leonesa. En: Loredó, J. (Ed.), *Nuevos retos en la prospección e investigación de los recursos minerales. Libro homenaje al profesor Jesús García Iglesias*, p. 53-80.
- Alves, J.J., Conceicao, H., Santos, M.V., Silva-Rosa, M.L., 2018. Formation of monazite-(Ce, La) by fluid-apatite interaction: the Floresta Azul Alkaline Complex, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48(4): 721-733.
- Argüelles, M.C., 1972. Estudio petrológico de la formación Cándana. *Breviora Geológica Astúrica*, 16(2): 25-32.
- Baldwin, C.T., 1975. The stratigraphy of the Cabos Series in the section between Cadavedo and Luarca, Province of Oviedo, NW Spain. *Breviora Geológica Astúrica*, 19(1): 1-16.
- Barrois, C., 1882. Recherches sur les terrains anciens des Asturies et la Galice. *Mémoires de la Société géologique du Nord*, 2: 1-630.
- Bern, C.R., Shah, A.K., Benzel, W.M., Lowers, H.A., 2016. The distribution and composition of REE-bearing minerals in placers of the Atlantic and Gulf coastal plains, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, 162: 50-61.
- Calvo, M., Sevillano, E., 2000. Notas sobre algunos yacimientos aluviales del noroeste de España. *Revista de Minerale*, 1(8): 264-270.
- Chapman, R.J., Banks, D.A., Styles, M.T., Walshaw, R.D., Piaolo, S., Morgan, D.J., Grimshaw, M.R., Spence-Jones, C.P., Matthews T.J., Borovinskaya, O., 2021. Chemical and physical heterogeneity within native gold: implications for the design of gold particle studies. *Mineralium Deposita*, 56: 1563-1588.
- Chen, W., Honghui, H., Bai, T., Jiang, S., 2017. Geochemistry of Monazite within Carbonatite Related REE Deposits. *Resources*, 6(4): 51.
- Chen, W.T., Zhou, M.F., 2015. Mineralogical and geochemical constraints on mobilization and mineralization of rare earth elements in the Lala Fe-Cu-(Mo, REE) deposit, SW China. *American Journal of Science*, 315: 671-711.
- Crespo, J.L., Moro, M.C., Fadón, O., Cabrera, R., Fernández, A., 2000. The Salamón gold deposit (León, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 71(2): 191-208.
- CSA Global, 2018. NI 43-101 Technical Report. Salave Gold Project Mineral Resource Update for Black Dragon Gold Corp. Disponible on-line: <https://www.blackdragongold.com/our-projects/resource-statements/> (acceso en noviembre de 2022).



- Dare, S.A.S., Barnes, S.J., Prichard, H.M., Fisher, P.C., 2011. Chalcophile and platinum-group element (PGE) concentrations in the sulfide minerals from the McCreedy East deposit, Sudbury, Canada, and the origin of PGE in pyrite. *Minerallium Deposita*, 46: 381–407.
- De Vicente, G., González-Nistal, S., Muñoz Martín, A., Vegas, R., Olaiz, A., Fernández-Lozano, J., de Vicente, R., 2007. El cabalgamiento cenozoico de Boinás (Cordillera Cantábrica, España). *Geogaceta* 42: 7-10.
- Díaz-Asenjo, J., Loredó, J., García-Iglesias, J., 1984a. Algunos aspectos de interés metalogénico en el nivel carbonatado de la formación Cándana-Herrería. *Boletín de Ciencias de la Naturaleza del Real Instituto de Estudios Asturianos*, 34: 115-120.
- Díaz-Asenjo, J., Loredó, J., García-Iglesias, J., 1984b. Investigaciones geoquímicas de zonas auríferas potencialmente interesantes en niveles dolomíticos del Cámbrico Inferior en Asturias. *Boletín de Ciencias de la Naturaleza del Real Instituto de Estudios Asturianos*, 35: 157-168.
- Farber, A., Jaritz, W., 1964. Die Geologie des westasturischen Küstengebietes zwischen San Esteban de Pravia und Ribadeo (NW Spanien). *Geologie*, 81: 679-783.
- Fernández, C.J., 1982. Mineralogía y metalogenia de los indicios y yacimientos de barita en el zócalo Precámbrico-Paleozoico de Asturias. Tesis doctoral inédita, Universidad de Oviedo, 647 p.
- Fernández, C.J., 1985. Los yacimientos stratabound de barita en la formación Cándana o Herrería (Cámbrico Inferior), Asturias, NO de España. *Boletín Geológico y Minero*, 96(1): 31-49.
- Fernández-Ochoa, C., Morillo, A., 2012. Poblamiento y explotación de los recursos mineros en el Cantábrico. En: Zarzalejos, M., Hevia, P., Mansilla, L. (Eds.), Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica: Investigaciones recientes y nuevas líneas de trabajo. Homenaje a Claude Domergue, p. 171-184.
- Förster, H.J., 1998. The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany, Part I: The monazite-(Ce)-brabantite solid solution series. *American Mineralogist*, 83: 259-272.
- García, J.L., 2009. La cal en Asturias. Ed. Fundación Municipal de Cultura, Educación y Universidad Popular del Ayuntamiento de Gijón. Serie Etnográfica, 10, 302 p.
- García-Arias, M., Corretgé, L.G., Castro, A., 2006. Las albitas del Paleozoico Inferior del occidente de Asturias: ¿Posible fuente de leucogranitos?. *Geogaceta*, 40: 147-150.
- García-Arias, M., Corretgé, L.G., Castro, A., 2007. Fusión y cristalización de las albitas de San Pedro de Paredes (Asturias): modelos teóricos y experimentales. *Geogaceta*, 41: 83-86.
- García-Iglesias, J., Gutiérrez-Claverol, M., Orueta, J., Suárez, O., 1979. Mineralizaciones asociadas al metamorfismo de contacto del complejo ígneo de



- Infiesto (Zona oriental de Asturias, España). Publicações do Museu do Laboratorio Mineralogico e Geologico de Oporto, 111: 155-181.
- García-Iglesias, J., Ruiz, F., Suárez, O., 1985. Mineralizaciones de afinidad volcánica en el área de S. Martín de Oscos. Asturias (Hacia la definición de una provincia vulcano-sedimentaria en la zona Astur-Occidental Leonesa). Trabajos de Geología, 15. 249-266.
 - Ghosh, S.K., 2020. Diversity in the Family of Manganese Oxides at the Nanoscale: From Fundamentals to Applications. ACS Omega, 5: 25493-25504.
 - González-Castro, G., Loredó, J., García-Iglesias, J., 1985. Datos sobre las mineralizaciones de manganeso en Asturias. Boletín Sociedad Española de Mineralogía, 8: 173-179.
 - González Castro, G., Loredó, J., García Iglesias, J., 1986. Depósitos de manganeso en la zona comprendida entre Luarca y Cudillero (Asturias). Boletín de Ciencias de la Naturaleza del Real Instituto de Estudios Asturianos, 37-38: 95-106.
 - Gumiel, P., Martín-Izard, A., Arias, M., Rodríguez-Terente, L., 2008. Geometrical analysis of the Punta del Pedrón shear zone (Asturias, Spain): Implications related to exploration of Salave Gold-type mineralization. Journal of Structural Geology, 30: 354-365.
 - Gutiérrez, J.A., Suárez, P., Jiménez, J.I., 2015. Arqueología del valle del Esva en los trabajos de Manuel Menéndez: la fortificación del castiellu de Ovienes/Ubienes y su entorno. Anexos de Revista de filoloxía Asturiana 4, p. 99-114.
 - Gutiérrez-Claverol, M., Luque, C., 1994. Recursos del subsuelo de Asturias. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 2nd ed., 379 p.
 - Gutiérrez-Claverol, M., Martínez-García, E., Luque, C., Suárez, V., Ruiz, F., 1991. Gold Deposits, Late Hercynian tectonics and magmatism in the northeastern Iberian Massif (NW Spain). Chronique de la Recherche Minière, 503: 3-13.
 - Higuera, P.L., Jiménez-Ballesta, R., Esbrí, J.M., García-Giménez, R., García-Noguero, E.M., Álvarez, R., Peco, J.D., García-Noguero, C., Campos, J.A., 2021. Occurrence and environmental constraints of gray monazite in red soils from the Campo de Montiel area (SW Ciudad Real province, south central Spain). Environmental Science and Pollution Research, 28: 4573–4584.
 - Hutchinson, D., McDonald, I., 2008. Laser ablation ICP-MS study of platinum-group elements in sulphides from the Platreef at Turfspruit, northern limb of the Bushveld Complex, South Africa. Mineralium Deposita, 43: 695-711.
 - IGME, 1977. Investigación minera en la zona de Trevías-Sierra de los Vientos (Oviedo). Informe interno inédito, 62 p.
 - ITGE, 1993. Estudio de las rocas albiticas (Albititas) del norte de Lugo y Asturias (Zona Asturoccidental-Leonesa). Documento interno inédito, 34 p.



- Ketchaya, Y.B., Dong, G., Santosh, M., Lemdjou, Y.B., 2022. Microchemical signatures of placer gold grains from the Gamba district, northern Cameroon: Implications for possible bedrock sources. *Ore Geology reviews*, 14: 104640.
- Lotze, F. 1958. Zur Stratigraphie des spanischen Kambriums. *Geologie*, 7: 727-750. Traducción por J. Gómez de Llarena: "Sobre la estratigrafía del Cámbrico español". *Notas y Comunicaciones del I.G.M.E.*, 61: 131-164.
- Lotze, F., 1945. Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6: 78-92. Traducido por J.M. Ríos: "Observaciones respecto a la división de los Variscides de la Meseta Ibérica". *Publicaciones extranjeras sobre geología de España*, 5: 149-166.
- Lotze, F., 1956. Das Prakambriums Spaniens. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 8: 373-380. Traducido por J. Gómez de Llarena: "El Precámbrico de España". *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 60: 227-240.
- Lotze, F., Sdzuy, K., 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil I: Stratigraphie Akademie der Wissenschaften und der Literatur, *Abhandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse*, 6: 1-216
- Luque, C., Gutiérrez-Claverol, M. (Eds.), 2010. *Riquezas geológicas de Asturias*. 417 p.
- Llopis, N., Martínez Álvarez, J.A., 1960. Sobre el Terciario continental del occidente de Asturias y su significado morfotectónico. *Breviora Geológica Astúrica*, 4(1-2): 3-18.
- Marcos, A., 1973. Las series del Paleozoico Inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España). *Trabajos de Geología*, 6: 1-113.
- Marcos, A., Arboleya, M.L., 1975. Evidence of progressive deformation in minor structures in Western Asturias (NW Spain). *Geologische Rundschau*, 64: 278-287.
- Marcos, A., Pérez-Estaún, A., 1981. La estratigrafía de la Serie de Los Cabos en la Zona de Vegadeo (Zona Asturoccidental-Leonesa, NW de España). *Trabajos de Geología*, 11: 89-94.
- Marcos, A., Pérez-Estaún, A., Martínez-Catalán, J.R., Gutiérrez-Marco, J.C., 2004. Zona Asturoccidental-Leonesa. Estratigrafía y Paleogeografía. En: Vera (Ed., Coord.), *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, p. 49-51.
- Martínez-Catalán, J.R., Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Pulgar, J.A., Marcos, A., 1990. West Asturian-Leonese Zone: structure. En: Dallmeyer, R.D., Martínez-García, E. (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer, p. 103-114.
- Martínez-Catalán, J.R., Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Pulgar, J.A., Marcos, A., 1992. La Zona Asturoccidental-Leonesa: estructura. En: Gutiérrez-Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I. (Eds.), Liso, M.J. (Coord.), *Paleozoico inferior de Ibero-América*, p. 463-468
- Montel, J.M., Foret, S., Veschambre, M., Nicollet, C., Provost, A., 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, 131: 37-53.



- Oberthür, T., Cabri, L.J., Weiser, T.W., McMahon, G., Müller, P., 1997. Pt, Pd and other trace elements in sulfides of the main sulfide zone, Great Dyke, Zimbabwe: a reconnaissance study. *The Canadian Mineralogist*, 35: 597-609.
- Papunen, H., Lindsjö, O., 1972. Apatite, monazite and allanite; three rare earth minerals from Korsnäs. *Finland Bulletin of the Geological Society of Finland*, 44: 123-129.
- Piña, R., Romeo, I., Ortega, L., Lunar, R., Capote, R., Gervilla, F., Tejero, R., Quesada, C., 2010. Origin and emplacement of the Aguablanca magmatic Ni–Cu–(PGE) sulphide deposit, SW Iberia: a multidisciplinary research. *Geological Society of America Bulletin*, 122: 915–925.
- Piña, R., Gervilla, F., Barnes, S.J., Ortega, L., Lunar, R., 2012. Distribution of platinum-group and chalcophile elements in the Aguablanca Ni–Cu sulfide deposit (SW Spain): Evidence from a LA-ICP-MS study. *Chemical Geology*, 302-303: 61-75.
- Post, J.E., 1999. Manganese oxide minerals: crystal structures and economic and environmental significance. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America*, 96(7): 3447-3454.
- Río Narcea Gold Mines, 1995. Permiso de investigación Navelgas. Informe interno inédito.
- Río Narcea Gold Mines, 1998. Plan de Labores del proyecto Navelgas. Documento inédito.
- Río Narcea Gold Mines, 2002. Proyecto Navelgas. Memoria de los trabajos realizados en 2000 y 2001. Plan de labores previsto para 2002. Documento inédito.
- Río Narcea Gold Mines, 2005. Proyecto Navelgas. Memoria de los trabajos de investigación realizados en 2002-2004. Plan de labores previsto para 2005. Documento inédito.
- Rodríguez-Terente, L.M., Martín-Izard A., Arias D., Fuertes-Fuente M., Cepedal A., 2018. The Salave Mine, a Variscan intrusion-related gold deposit (IRGD) in the NW of Spain: Geological context, hydrothermal alterations and ore features. *Journal of Geochemical Exploration*, 188: 364-389.
- Roel, J., 1994. Las rocas albiticas (albititas) del Norte de Lugo y Asturias (Zona Asturoccidental-Leonesa). *Cuadernos del Laboratorio Xeológico de Laxe*, 19: 347-378.
- Rubio, A., 2010. Magmatismo Neoproterozoico en el antiforme del Narcea. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Oviedo, 306 p.
- Ruiz, F., 1971. Geología del sector Norte del anticlinorio del Narcea. *Breviora Geológica Astúrica*, XV(3): 39-46.
- Ruiz, F., 1975. Permiso de investigación Virginia. Informe de los trabajos realizados en la mina Luarquesa. Informe interno inédito de CEMIM, 13 p.
- Ruiz, F., Luque, C., 1988. Metalogenia de la Zona Asturoccidental-Leonesa. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1(1-2): 239-247.



- Sánchez Palencia, F.J., Suárez, V., 1985. La minería antigua del oro en Asturias. En: Mases (Ed.), El Libro de la Mina, p. 221-242.
- Scherrer, N.C., Engi, M., Gnos, E., Jakob, V., Liechti, A., 2000. Monazite analysis; from sample preparation to microprobe age dating and REE quantification. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 80(1): 93-105.
- Sdzuy, K., 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten. Akademie der Wissenschaften und der Literatur Abhandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse, 7-8: 217-408.
- Spiering, E.D., Pevida, L.R., Maldonado, C., González, S., García, J., Varela, A., Arias, D., Martín-Izard, A., 2000. The gold belts of western Asturias and Galicia (NW Spain). Journal of Geochemical Exploration, 71: 89-101.
- Tornos, F., Ribera F., Shepherd, T.J., Spiro, B., 1996. The geological and metallogenic setting of stratabound carbonate-hosted Zn-Pb mineralizations in the West Asturian Leonese Zone, NW Spain. Mineralium Deposita, 31: 27- 40.
- Vaquero, C., 1979. Descubrimiento, por primera vez en España, de una monacita de facies aberrante portadora de Europio. Boletín geológico y minero, 90(4): 374-379.
- Vázquez, M., 1982. Contribución al estudio de los yacimientos auríferos de la zona de Los Fornones (Tineo). Proyecto fin de carrera inédito. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad de Oviedo.
- Venis, 1991. Investigación geológico-minera del PI Paredes. Tomo I: investigación geológica. Informe técnico inédito.
- Villa, A., 1995. Inventario arqueológico del concejo de Valdés. En: Servicio de Publicaciones del Gobierno del Principado de Asturias (Ed.), Excavaciones arqueológicas en Asturias 1991-94, p. 185-189.
- Villa, A., 2010. El oro en la Asturias antigua: beneficio y manipulación de los metales preciosos entorno al cambio de era. En: De Blas, M.A., Delibes, G., Villa, A., Suárez, M.J., Fernández-Tresguerres, J.A. (Coords.), Cobre y oro. Minería y Metalurgia en la Asturias prehistórica y antigua. Real Instituto de Estudios Asturianos del Principado de Asturias, p. 83-126.
- Villa, L., Arias, D., Suárez, O., Corretge, L. G., 1993. Distribución y caracterización del oro libre y refractario presente en los filones de cuarzo-arsenopirita de las minas de Penedela, Fornaza y Río de Porcos (Límite entre Lugo y Asturias). Cuaderno del Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 18: 81-88.
- Williams, M.L., Jercinovic, M.J., Hetherington, C.J., 2007. Microprobe monazite geochronology: Understanding geologic processes by integrating composition and chronology. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35(1): 137-175.
- Zamarreño, I., Bellamy, J., Hermosa, J.L., Rabu, D., 1975. Litofacies del nivel carbonatado del Cámbrico de la región de Ponferrada (Zona Asturoccidental- Leonesa, NW de España). Breviora Geológica Astúrica, 19(3): 40-48.

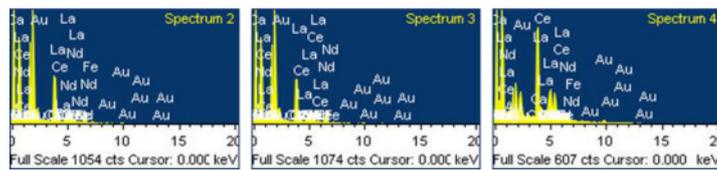
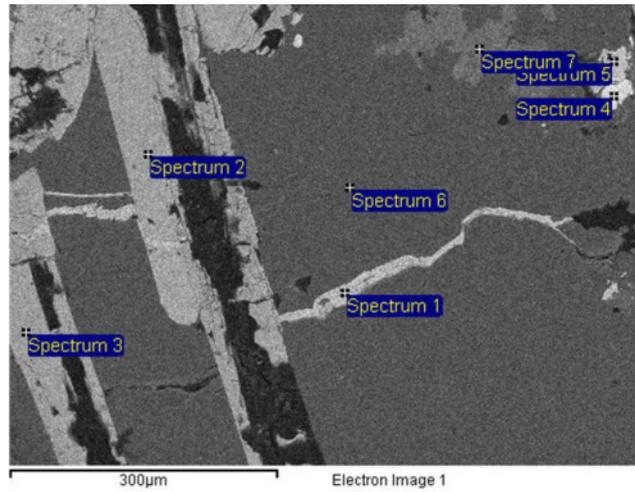


- Zamarreño, I., Perejón, A., 1976. El nivel carbonatado del Cámbrico de Piedrafita (zona Asturoccidental-Leonesa, NW de España): tipos de facies y faunas de Arqueociatos. *Breviora Geológica Astúrica*, 20(2): 17-32.
- Zhang, J., Deng, J., Chen, H., Yanga, L., Cooke, D., Danyushevsky, L., Gong, Q., 2014. LA-ICP-MS trace element analysis of pyrite from the Chang'an gold deposit, Sanjiang region, China: Implication for ore-forming process. *Gondwana research*, 26: 557-575.

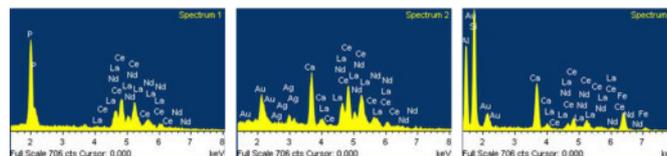
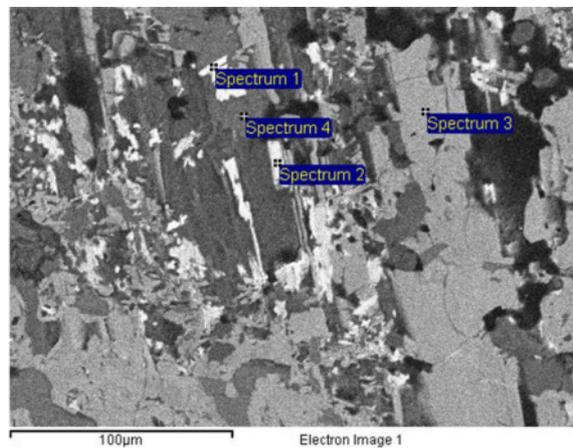


ANEXO I

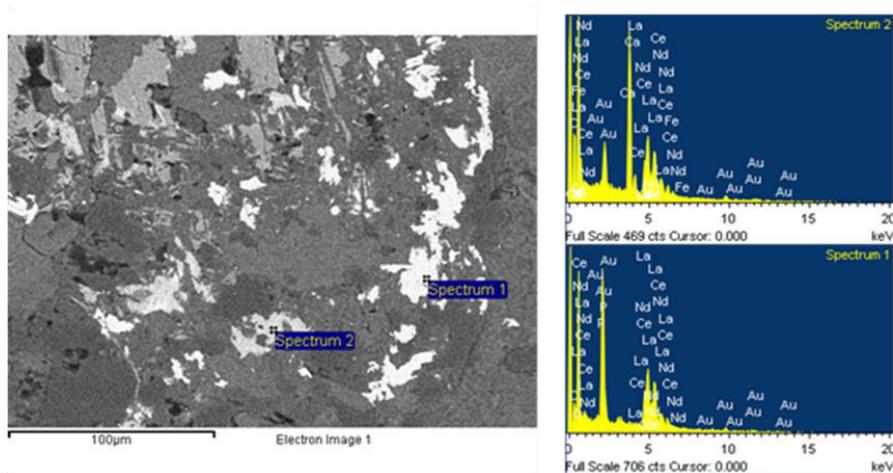
Analíticas SEM-EDS de fases minerales portadoras de tierras raras en la mineralización de Navelgas



Spectrum	C	O	F	Mg	Al	Si	Ca	Fe	La	Ce	Nd
Sp 2	10.41	48.48			7.99	11.54	7.05	5.29	2.83	4.77	1.64
Sp 3	12.71	47.14			7.66	11.12	6.59	5.12	3.22	5.02	1.42
Sp 4	14.91	38.88	6.39	1.02	1.95	2.34	8.45	1.55	6.41	12.87	5.23



Spectrum	C	O	F	Al	Si	P	Ca	Fe	Ag	La	Ce	Nd
Sp 1	13.75	38.60	1.79			10.25				10.53	18.82	6.25
Sp 2	22.11	36.03	8.44				4.24		1.62	8.29	14.03	5.25
Sp 3	11.27	46.60		7.57	11.32		5.92	5.86		2.98	6.10	2.37



Spectrum	C	O	F	P	Ca	Fe	La	Ce	Nd
Sp 1	18.18	37.84		9.16			10.39	17.89	6.54
Sp2	20.45	37.45	7.98		8.41	0.63	7.03	13.06	4.98



ANEXO II

Resultados de los ensayos mediante DRX sobre muestras de las mineralizaciones de La Mortera



Condiciones de las medidas:

Start Position [°2Th.] 5.0084
End Position [°2Th.] 79.9784
Step Size [°2Th.] 0.0170
Scan Step Time [s] 90.1700
Scan Type Continuous
PSD Length [°2Th.] 2.12
Offset [°2Th.] 0.0000
Irradiated Length [mm] 10.00
Specimen Length [mm] 10.00
Measurement Temperature [°C] 25.00
Anode Material Cu
K-Alpha1 [Å] 1.54060
K-Alpha2 [Å] 1.54443
K-Beta [Å] 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
Generator Settings 40 mA, 45 kV
Diffractometer Type 0000000085078724
Goniometer Radius [mm] 240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100.00

**Muestra:** Mortera intrusivo

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2577	755.13	0.0669	14.12448	22.31
12.5215	3384.15	0.0836	7.06937	100.00
13.8790	194.04	0.0836	6.38082	5.73
18.8237	1119.62	0.1004	4.71435	33.08
20.8708	524.26	0.0836	4.25634	15.49
22.0613	905.43	0.1004	4.02928	26.75
23.0712	223.78	0.1338	3.85514	6.61
23.5595	543.70	0.1171	3.77633	16.07
24.2890	805.15	0.1004	3.66454	23.79
25.1836	3153.11	0.1171	3.53635	93.17
26.3944	250.19	0.0669	3.37682	7.39
26.6483	2679.86	0.1004	3.34522	79.19
27.7440	1040.05	0.0669	3.21554	30.73
27.9479	2782.92	0.1338	3.19255	82.23
28.2952	393.87	0.1673	3.15413	11.64
30.1132	343.62	0.0836	2.96773	10.15
30.5059	408.43	0.1338	2.93042	12.07
31.2470	196.79	0.0502	2.86259	5.81
31.6260	579.37	0.1004	2.82915	17.12
31.9096	323.04	0.0502	2.80464	9.55
32.6343	327.99	0.1004	2.74400	9.69
33.0774	168.89	0.0669	2.70824	4.99
34.4694	319.64	0.0836	2.60200	9.45
35.0729	418.45	0.1506	2.55860	12.37
36.5743	417.17	0.1004	2.45694	12.33
37.3617	196.56	0.1004	2.40695	5.81
37.6195	312.58	0.1338	2.39105	9.24
39.4754	225.51	0.0502	2.28281	6.66
42.4654	279.94	0.0669	2.12874	8.27
45.1860	331.12	0.2342	2.00669	9.78
45.8009	123.50	0.0836	1.98118	3.65
48.1987	274.67	0.2007	1.88807	8.12
49.5514	139.38	0.0669	1.83965	4.12
50.1378	456.26	0.0816	1.81800	13.48
50.2882	192.33	0.0612	1.81742	5.68
51.1613	158.22	0.1020	1.78400	4.68
53.2088	240.42	0.1632	1.72008	7.10
58.8920	226.16	0.2448	1.56691	6.68
59.6897	194.36	0.0816	1.54786	5.74
59.9538	280.59	0.0816	1.54167	8.29
60.1013	127.70	0.0816	1.54207	3.77
66.0163	121.76	0.1224	1.41402	3.60
67.1720	208.34	0.2040	1.39247	6.16
68.1438	149.43	0.1020	1.37496	4.42
68.3256	179.41	0.1020	1.37175	5.30

Fichas aceptadas: cuarzo (01-079-1906), albita (01-070-3752) y clinocloro (01-070-6455)

Se han eliminado, por simplicidad, los picos con intensidad relativa inferior al 3%.

**Muestra:** Mortera residual oxidada

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.8882	859.92	0.4015	15.00987	8.54
8.8605	70.11	0.2007	9.98032	0.70
12.3444	277.00	0.1506	7.17037	2.75
17.7693	117.65	0.4684	4.99164	1.17
19.8331	823.70	0.1673	4.47663	8.18
20.8484	2544.45	0.1004	4.26086	25.27
21.2398	270.99	0.3346	4.18323	2.69
23.0356	52.33	0.2007	3.86101	0.52
24.8902	296.38	0.1004	3.57737	2.94
25.2673	159.88	0.1004	3.52482	1.59
26.6329	10068.08	0.1004	3.34711	100.00
30.9214	111.37	0.0669	2.89198	1.11
34.9861	357.05	0.1673	2.56474	3.55
35.9628	282.24	0.1338	2.49730	2.80
36.5303	1149.37	0.0816	2.45776	11.42
36.6367	628.29	0.0612	2.45696	6.24
38.4814	149.65	0.1224	2.33751	1.49
39.4455	717.87	0.0612	2.28258	7.13
40.2653	452.12	0.0816	2.23797	4.49
41.1841	27.02	0.4896	2.19014	0.27
42.4252	385.82	0.0816	2.12890	3.83
43.6959	424.12	0.1428	2.06989	4.21
45.7779	330.15	0.0816	1.98048	3.28
47.9686	33.63	0.2448	1.89502	0.33
50.1165	2071.09	0.0816	1.81872	20.57
50.2492	1092.44	0.0816	1.81873	10.85
53.9121	215.33	0.0816	1.69929	2.14
54.0721	177.45	0.0816	1.69464	1.76
54.8620	433.90	0.0816	1.67209	4.31
54.9995	268.94	0.1020	1.66824	2.67
57.2455	34.63	0.2448	1.60800	0.34
59.9315	827.45	0.1020	1.54219	8.22
60.0931	420.14	0.0816	1.54226	4.17
61.9835	228.84	0.3672	1.49597	2.27
64.0157	165.49	0.1224	1.45330	1.64
64.1959	124.36	0.0612	1.45325	1.24
65.8433	26.23	0.2448	1.41731	0.26
67.7328	606.42	0.1020	1.38230	6.02
67.9224	322.17	0.0816	1.38233	3.20
68.1279	638.03	0.1020	1.37524	6.34
68.3036	541.18	0.0816	1.37554	5.38
73.4412	151.54	0.1632	1.28831	1.51
75.6439	114.39	0.1428	1.25618	1.14
77.6614	139.07	0.1224	1.22851	1.38
77.8697	65.77	0.1224	1.22878	0.65
79.8660	288.53	0.1020	1.20005	2.87

Fichas aceptadas: cuarzo (01-070-3755), caolinita (01-078-1996) y montmorillonita (00-003-0015)

**Muestra:** Mortera residual caolinizada

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.8882	859.92	0.4015	15.00987	8.54
8.8605	70.11	0.2007	9.98032	0.70
12.3444	277.00	0.1506	7.17037	2.75
17.7693	117.65	0.4684	4.99164	1.17
19.8331	823.70	0.1673	4.47663	8.18
20.8484	2544.45	0.1004	4.26086	25.27
21.2398	270.99	0.3346	4.18323	2.69
23.0356	52.33	0.2007	3.86101	0.52
24.8902	296.38	0.1004	3.57737	2.94
25.2673	159.88	0.1004	3.52482	1.59
26.6329	10068.08	0.1004	3.34711	100.00
30.9214	111.37	0.0669	2.89198	1.11
34.9861	357.05	0.1673	2.56474	3.55
35.9628	282.24	0.1338	2.49730	2.80
36.5303	1149.37	0.0816	2.45776	11.42
36.6367	628.29	0.0612	2.45696	6.24
38.4814	149.65	0.1224	2.33751	1.49
39.4455	717.87	0.0612	2.28258	7.13
40.2653	452.12	0.0816	2.23797	4.49
42.4252	385.82	0.0816	2.12890	3.83
43.6959	424.12	0.1428	2.06989	4.21
45.7779	330.15	0.0816	1.98048	3.28
47.9686	33.63	0.2448	1.89502	0.33
50.1165	2071.09	0.0816	1.81872	20.57
50.2492	1092.44	0.0816	1.81873	10.85
53.9121	215.33	0.0816	1.69929	2.14
54.0721	177.45	0.0816	1.69464	1.76
54.8620	433.90	0.0816	1.67209	4.31
54.9995	268.94	0.1020	1.66824	2.67
57.2455	34.63	0.2448	1.60800	0.34
59.9315	827.45	0.1020	1.54219	8.22
60.0931	420.14	0.0816	1.54226	4.17
61.9835	228.84	0.3672	1.49597	2.27
64.0157	165.49	0.1224	1.45330	1.64
64.1959	124.36	0.0612	1.45325	1.24
65.8433	26.23	0.2448	1.41731	0.26
67.7328	606.42	0.1020	1.38230	6.02
67.9224	322.17	0.0816	1.38233	3.20
68.1279	638.03	0.1020	1.37524	6.34
68.3036	541.18	0.0816	1.37554	5.38
70.1866	13.32	0.4896	1.33986	0.13
73.4412	151.54	0.1632	1.28831	1.51
75.6439	114.39	0.1428	1.25618	1.14
77.6614	139.07	0.1224	1.22851	1.38
77.8697	65.77	0.1224	1.22878	0.65
79.8660	288.53	0.1020	1.20005	2.87

Fichas aceptadas: cuarzo (01-070-3755), caolinita (01-078-1996) y moscovita (00-007-0042)



ANEXO III

Resultados del análisis elemental de 3 muestras recogidas en Santiago Cerredo



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Muestra	SCR-1	SCR-2	SCR-3
Mo	10.75	6.52	3.96
Mo Error	1.67	1.73	1.53
Zr	288.26	128.8	88.16
Zr Error	3.19	2.93	2.27
Sr	13.45	283.71	175.9
Sr Error	0.98	3.76	2.76
U	<LOD	<LOD	<LOD
U Error	4.01	3.4	3.46
Rb	114.24	7.94	36.28
Rb Error	2.41	1.16	1.58
Th	11.59	<LOD	5.82
Th Error	1.84	2.54	1.62
Pb	15.78	<LOD	8.27
Pb Error	2.54	3.3	2.33
Au	<LOD	<LOD	<LOD
Au Error	1.97	2.45	2.33
Se	<LOD	<LOD	<LOD
Se Error	1.99	2.39	2.3
As	<LOD	3.25	<LOD
As Error	2.77	1.97	2.97
Hg	<LOD	<LOD	<LOD
Hg Error	4.83	5.86	5.57
Zn	7.44	105.5	34.99
Zn Error	3.54	6.8	4.65
W	<LOD	<LOD	44.94
W Error	22.1	27.51	16.78
Cu	12.56	16.86	20.66
Cu Error	7.17	9.06	8.08
Ni	30.84	113.57	45.15
Ni Error	8.31	11.54	9.03
Co	129.03	382.63	89.73
Co Error	47.92	105.34	37.1
Fe	22791.57	87898.7	11809.64
Fe Error	131.72	293.54	100.14
Mn	532.19	1029.33	280.77
Mn Error	33.02	49.44	29.56
Cr	241.02	453.94	81.01
Cr Error	10.04	16.85	8.15
V	190.46	348.17	59.55
V Error	18.26	34.3	12.44
Ti	4580.57	12033.93	1226.88
Ti Error	61.82	125.18	47.17
Sc	<LOD	75.72	872.55
Sc Error	9.14	25.77	89.78
Ca	624.81	14228.06	282351.06
Ca Error	66.88	171.16	624.35
K	40899.19	1717.8	11573.59
K Error	301.13	105.01	197.67
S	<LOD	<LOD	<LOD
S Error	191.82	342.27	353.62
Ba	40.57	<LOD	143.03
Ba Error	13.77	23.67	16.37
Cs	<LOD	<LOD	7.78
Cs Error	3.77	4.47	3.01
Te	<LOD	<LOD	<LOD
Te Error	10.46	12.43	12.67
Sb	<LOD	<LOD	<LOD
Sb Error	6.94	8.18	8.28
Sn	<LOD	<LOD	<LOD
Sn Error	4.43	5.18	5.27
Cd	<LOD	<LOD	<LOD
Cd Error	5.57	6.49	6.54
Ag	<LOD	<LOD	<LOD
Ag Error	3.99	4.62	4.68
Pd	<LOD	<LOD	<LOD
Pd Error	4.78	5.42	5.62

Resultados expresados en mg/kg



ANEXO IV

Resultados de los análisis mediante microsonda electrónica de los sulfuros de las mineralizaciones de Navelgas y Burgazal



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Mineralización de Navelgas (resultados en mg/kg)												
	S	Fe	Cu	Ni	As	Te	Bi	Co	Ag	Sb	Au	Hg
2 / 1 .	54.0887	46.2959	0.0577	0.0281	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0128	0.0078	0.0995	0.0000
3 / 1 .	53.7010	46.1604	0.0361	0.0000	0.0124	0.0027	0.0000	0.0000	0.0086	0.0014	0.0000	0.0000
4 / 1 .	53.5422	46.1778	0.0000	0.0052	0.0169	0.0000	0.0000	0.0000	0.0281	0.0047	0.0956	0.0000
5 / 1 .	53.3962	46.2951	0.0618	0.0091	0.0596	0.0067	0.0000	0.0000	0.0051	0.0190	0.1071	0.0000
6 / 1 .	53.4910	46.0081	0.0277	0.0114	0.0449	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0128	0.3469	0.0000
7 / 1 .	53.1955	46.2836	0.0088	0.0063	0.0159	0.0105	0.0000	0.0000	0.0316	0.0107	0.0000	0.0000
8 / 1 .	53.3888	45.6494	0.0000	0.0000	0.0495	0.0087	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9 / 1 .	53.2251	46.3241	0.0408	0.0037	0.0592	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000
10 / 1 .	53.3697	46.1547	0.0455	0.0000	0.0926	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0117	0.0000	0.0000
11 / 1 .	53.7970	45.7381	0.0000	0.0000	0.0321	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0218	0.1097	0.0000
12 / 1 .	53.4067	45.8205	0.0550	0.0722	0.0599	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0884	0.0000
13 / 1 .	53.6246	46.0441	0.0030	0.0123	0.0336	0.0007	0.0000	0.0000	0.0115	0.0077	0.0000	0.0000
14 / 1 .	53.4325	46.2304	0.0484	0.1271	0.0422	0.0000	0.0000	0.0000	0.0082	0.0092	0.0000	0.0000
15 / 1 .	53.4185	45.5379	0.0256	0.0000	0.0630	0.0088	0.0000	0.0000	0.0092	0.0016	0.0000	0.0000
16 / 1 .	53.3846	45.5796	0.0157	0.0023	0.0619	0.0000	0.0000	0.0000	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000
17 / 1 .	53.6962	45.9657	0.0518	0.0000	0.0357	0.0136	0.0000	0.0000	0.0006	0.0115	0.2278	0
18 / 1 .	53.4933	45.0907	0.0384	0.1845	0.2054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.004	0	0
19 / 1 .	53.7223	45.2069	0.0000	0.2213	0.2009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0824	0
20 / 1 .	53.1975	45.9858	0.0113	0.0578	0.0538	0.0000	0.0000	0.0000	0.0132	0	0	0
21 / 1 .	53.8392	46.2082	0.0273	0.0275	0.0885	0.0000	0.0000	0.0000	0.0247	0	0.0578	0
22 / 1 .	53.3077	45.8434	0.0185	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0105	0	0
23 / 1 .	53.4063	46.3510	0.0602	0.0517	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0208	0.0052	0	0
24 / 1 .	53.2798	45.9260	0.0803	0.0190	0.0559	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0238	0.1664	0
25 / 1 .	54.1686	45.2020	0.0000	0.0255	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0306	0.0133	0.1524	0
26 / 1 .	53.3217	45.5703	0.0415	0.0303	0.0546	0.0000	0.0000	0.0000	0.0286	0	0	0
27 / 1 .	36.5882	28.9935	32.7898	0.0024	0.0095	0.0047	0.0000	0.0000	0.0035	0	0.307	0
28 / 1 .	53.6734	45.6649	0.0002	0.0000	0.0555	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0	0	0
29 / 1 .	53.6525	45.1943	0.0438	0.0000	0.5956	0.0000	0.0000	0.0000	0.0083	0	0	0
30 / 1 .	53.7304	45.9033	0.0243	0.0321	0.0595	0.0000	0.0000	0.0000	0.0170	0.0156	0.0115	0
31 / 1 .	53.5283	45.6808	0.0130	0.0091	0.0292	0.0049	0.0000	0.0000	0.0064	0.0173	0.0888	0
32 / 1 .	53.3650	45.5429	0.0653	0.2689	0.0260	0.0042	0.0000	0.0000	0.0054	0.0009	0	0
33 / 1 .	52.8828	44.6585	0.0252	0.0418	0.3450	0.0000	0.0000	0.0000	0.0243	0.0337	0.014	0
35 / 1 .	52.7898	45.5825	0.0380	0.0214	0.5094	0.0062	0.0000	0.0000	0.0150	0	0	0
36 / 1 .	52.7204	45.6842	0.0347	0.0030	0.8438	0.0000	0.0000	0.0000	0.0206	0.018	0	0
37 / 1 .	53.8184	46.2158	0.0673	0.0000	0.0617	0.0164	0.0000	0.0000	0.0222	0.008	0	0
38 / 1 .	53.5955	45.9068	0.0213	0.0162	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0179	0	0.1337	0
39 / 1 .	52.5817	43.1168	0.0000	0.2897	0.0937	0.0000	0.0000	0.7317	0.0292	0.0165	0.0776	0
40 / 1 .	53.7718	45.2124	0.0009	0.0923	0.0591	0.0059	0.0000	0.0000	0.0118	0	0	0
41 / 1 .	54.3041	46.2648	0.0248	0.0421	0.0459	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.1817	0
42 / 1 .	53.5888	45.6298	0.0076	0.6018	0.0000	0.0076	0.0000	0.0000	0.0345	0.0002	0.1126	0
43 / 1 .	54.2297	46.3109	0.0000	0.0098	0.0031	0.0082	0.0000	0.0000	0.0358	0	0	0
44 / 1 .	53.6287	45.5449	0.0507	0.3299	0.0384	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0166	0	0
45 / 1 .	53.4637	45.2396	0.0267	0.6536	0.0034	0.0036	0.0000	0.0000	0.0188	0.011	0	0
46 / 1 .	53.7040	46.0652	0.0000	0.0163	0.0321	0.0000	0.0000	0.0000	0.0066	0	0.2741	0
47 / 1 .	53.6785	45.8466	0.0473	0.0005	0.0313	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0232	0.0785	0



INVESTIGACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

Pirita de Burgazal (resultados en mg/kg)									
	S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt	Bi
1 / 1 .	52.8751	46.4347	0.0287	0.0901	0.0392	0.0001	0.0131	0.0000	0.0000
2 / 1 .	53.1804	46.5839	0.0622	0.0251	0.0371	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5 / 1 .	51.4078	45.9295	0.0659	0.0970	0.0171	0.0000	0.0000	0.0857	0.0000
6 / 1 .	52.8981	46.2660	0.0383	0.0774	0.0000	0.0000	0.0000	0.0593	0.0000
7 / 1 .	53.3540	46.1059	0.0555	0.2053	0.0170	0.0000	0.0000	0.0972	0.0000
8 / 1 .	53.2017	46.1971	0.0770	0.0523	0.0319	0.0206	0.0124	0.0000	0.0000
10 / 1 .	53.5436	46.1145	0.0648	0.0826	0.0485	0.0000	0.0102	0.0000	0.0000
15 / 1 .	53.5614	47.0203	0.0235	0.0512	0.0279	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000
16 / 1 .	53.2729	46.9068	0.0173	0.0719	0.0145	0.0000	0.0090	0.0848	0.0000
23 / 1 .	52.9696	47.3591	0.0360	0.0489	0.0531	0.0056	0.0057	0.0000	0.0000
24 / 1 .	52.6718	46.7400	0.0681	0.0910	0.0359	0.0291	0.0000	0.1438	0.0000
31 / 1 .	53.8311	46.9793	0.0562	0.0000	0.0049	0.0020	0.0000	0.0520	0.0000
33 / 1 .	50.5063	44.9316	0.0421	0.0106	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000

Pirrotina de Burgazal (resultados en mg/kg)									
	S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt	Bi
3 / 1 .	38.9775	59.3321	0.0321	0.0840	0.0755	0.0000	0.0204	0.0646	0.0000
4 / 1 .	39.0753	59.3903	0.0818	0.0543	0.0290	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000
9 / 1 .	38.5438	59.0732	0.0647	0.0771	0.0592	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000
11 / 1 .	39.0141	58.6929	0.0227	0.0641	0.0116	0.0202	0.0000	0.0000	0.0000
12 / 1 .	38.8738	59.0174	0.0411	0.0649	0.0388	0.0024	0.0000	0.2891	0.0000
13 / 1 .	39.0137	58.9724	0.0351	0.0645	0.0113	0.0000	0.0233	0.0000	0.0000
17 / 1 .	39.4541	60.2225	0.0357	0.0430	0.0618	0.0214	0.0000	0.0000	0.0000
19 / 1 .	39.0981	60.0008	0.0020	0.0613	0.0000	0.0173	0.0000	0.0448	0.0000
20 / 1 .	38.8953	59.9378	0.1355	0.0400	0.0000	0.0000	0.0269	0.0133	0.0000
21 / 1 .	39.4635	59.9946	0.0297	0.0428	0.0440	0.0191	0.0151	0.0000	0.0000
22 / 1 .	43.7315	56.0268	0.0671	0.0323	0.0816	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25 / 1 .	39.3926	59.5492	0.0706	0.0528	0.0314	0.0000	0.0218	0.0562	0.0000
14 / 1 .	35.7370	56.6441	0.0162	0.0528	0.0352	0.0195	0.0000	0.0000	0.0000
18 / 1 .	39.5637	60.5671	0.0250	0.0717	0.0237	0.0000	0.0000	0.1115	0.0000

Calcopirita de Burgazal (resultados en mg/kg)									
	S	Fe	Cu	Ni	As	Pd	Te	Pt	Bi
26 / 1 .	34.2886	30.3863	33.4233	0.0033	0.0128	0.0022	0.0000	0.0227	0.0000
27 / 1 .	33.3752	30.5660	32.5717	0.0000	0.0208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28 / 1 .	34.7787	30.2598	33.6269	0.0058	0.0460	0.0000	0.0166	0.0378	0.0000
29 / 1 .	34.4262	30.4873	33.3629	0.0144	0.0339	0.0207	0.0000	0.0000	0.0000
30 / 1 .	34.0672	30.0725	33.1033	0.0000	0.0519	0.0187	0.0066	0.0000	0.0000
32 / 1 .	33.9186	29.3916	33.4175	0.0000	0.0000	0.0050	0.0157	0.1442	0.0000



ANEXO V

Resultados de los ensayos mediante DRX sobre muestras de las mineralizaciones de Fe-Mn de Ore-Muñás de Abajo



Muestra: Muñas-1 (ver condiciones de medida en Anexo II).

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.6797	121.14	0.2342	6.98149	0.55
17.8298	137.90	0.1338	4.97482	0.62
20.8649	2282.44	0.1004	4.25752	10.29
21.2517	294.45	0.1673	4.18090	1.33
25.5028	75.35	0.2007	3.49280	0.34
26.6402	22179.50	0.0836	3.34621	100.00
28.5216	203.82	0.3011	3.12962	0.92
33.2879	165.79	0.2007	2.69160	0.75
34.7366	88.56	0.2007	2.58259	0.40
36.5410	1004.98	0.0836	2.45910	4.53
37.3770	436.71	0.1171	2.40600	1.97
39.4779	321.48	0.0669	2.28267	1.45
40.2882	284.01	0.0669	2.23861	1.28
41.1903	95.83	0.2007	2.19164	0.43
41.9165	118.98	0.2007	2.15534	0.54
42.4374	461.58	0.1020	2.12832	2.08
42.5472	269.01	0.0612	2.12835	1.21
45.7939	208.67	0.1020	1.97982	0.94
47.3160	21.66	0.4896	1.91962	0.10
50.1344	820.15	0.1020	1.81811	3.70
50.2906	433.28	0.0612	1.81733	1.95
53.2994	84.66	0.4080	1.71737	0.38
54.8749	367.63	0.1224	1.67173	1.66
55.0251	211.33	0.0816	1.67166	0.95
55.3231	143.93	0.0816	1.65924	0.65
57.4912	14.94	0.4896	1.60172	0.07
59.0038	92.56	0.4896	1.56421	0.42
59.9601	597.09	0.1224	1.54153	2.69
60.1244	366.45	0.0612	1.54153	1.65
61.4310	42.20	0.4896	1.50810	0.19
64.0245	110.69	0.1224	1.45312	0.50
65.2553	55.63	0.2040	1.42866	0.25
65.8373	32.99	0.2448	1.41743	0.15
67.7411	579.50	0.0816	1.38215	2.61
67.9260	332.80	0.1020	1.38227	1.50
68.1349	426.30	0.1020	1.37512	1.92
68.3222	676.61	0.1020	1.37181	3.05
68.5333	267.51	0.1020	1.37149	1.21
69.2464	54.90	0.5712	1.35574	0.25
71.5467	15.68	0.4896	1.31770	0.07
73.4738	206.36	0.1020	1.28782	0.93
73.6571	103.32	0.1224	1.28826	0.47
75.6626	292.03	0.1020	1.25591	1.32
75.9003	147.71	0.1224	1.25568	0.67
77.6534	80.58	0.1224	1.22861	0.36
79.8755	166.33	0.1020	1.19993	0.75

Fichas aceptadas: Cuarzo (01-086-15609 y goethita (01-081-0464).

**Muestra: Muñas-2**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8982	131.88	0.0669	9.93819	0.45
17.8528	89.46	0.1338	4.96847	0.31
19.8834	68.17	0.2676	4.46542	0.23
20.8704	7537.20	0.1004	4.25642	25.86
21.2596	458.87	0.1338	4.17937	1.57
22.9493	35.72	0.2007	3.87533	0.12
25.5206	274.02	0.0836	3.49041	0.94
26.6460	29143.35	0.1338	3.34550	100.00
27.8661	167.08	0.1338	3.20173	0.57
28.9214	62.29	0.4015	3.08725	0.21
29.8763	74.49	0.1673	2.99072	0.26
31.2801	47.35	0.2007	2.85964	0.16
32.0833	52.60	0.1338	2.78985	0.18
33.2713	205.84	0.2007	2.69291	0.71
34.6975	111.77	0.1004	2.58541	0.38
34.9963	119.55	0.1171	2.56402	0.41
36.5424	2310.07	0.0816	2.45698	7.93
36.6599	1322.86	0.0612	2.45546	4.54
37.7697	42.38	0.2448	2.37991	0.15
39.4592	1778.75	0.0816	2.28181	6.10
39.5803	941.94	0.0612	2.28076	3.23
40.2888	929.36	0.0816	2.23672	3.19
40.4105	448.62	0.0612	2.23581	1.54
41.2166	102.11	0.2040	2.18849	0.35
42.4404	2426.47	0.1020	2.12817	8.33
42.5686	1249.73	0.0612	2.12733	4.29
45.4429	102.95	0.1632	1.99429	0.35
45.7813	1053.54	0.1020	1.98034	3.62
45.9158	598.18	0.0612	1.97976	2.05
50.1288	5225.56	0.0816	1.81830	17.93
50.2762	2748.57	0.0816	1.81782	9.43
50.6186	141.43	0.0816	1.80185	0.49
53.3053	122.94	0.2448	1.71719	0.42
54.8730	990.34	0.1020	1.67178	3.40
55.0353	495.47	0.0816	1.67138	1.70
55.3138	289.81	0.1224	1.65950	0.99
55.4639	155.08	0.1020	1.65948	0.53
57.2055	75.31	0.1428	1.60903	0.26
59.0289	97.93	0.1224	1.56361	0.34
59.9397	2540.42	0.1224	1.54200	8.72
60.1152	1364.01	0.1020	1.54174	4.68
61.5770	60.37	0.4896	1.50487	0.21
63.1241	15.35	0.4080	1.47166	0.05
64.0155	327.68	0.1224	1.45330	1.12
64.2064	179.51	0.0816	1.45304	0.62
65.7770	108.32	0.1224	1.41858	0.37
67.7245	1053.70	0.1224	1.38245	3.62
67.9154	647.21	0.0816	1.38246	2.22
68.1169	1666.31	0.0816	1.37544	5.72
68.3120	1805.00	0.1020	1.37199	6.19
68.4747	691.28	0.1224	1.37252	2.37
71.5817	20.48	0.4896	1.31714	0.07
73.4500	354.96	0.1428	1.28818	1.22
73.6707	202.81	0.1224	1.28806	0.70
75.6485	508.97	0.1428	1.25611	1.75
75.8677	283.11	0.1224	1.25614	0.97
77.6363	292.23	0.1632	1.22884	1.00
77.8764	153.53	0.1224	1.22870	0.53
79.8322	568.80	0.1224	1.20047	1.95

Fichas aceptadas: cuarzo (01-085-0798) y moscovita (01-089-6216).

**Muestra:** Trevías-2

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1659	130.75	0.2007	14.33446	3.07
13.8607	285.27	0.0836	6.38918	6.69
15.0056	144.26	0.1673	5.90418	3.38
20.9573	1030.25	0.1338	4.23897	24.17
22.0430	1905.19	0.1004	4.03258	44.69
22.5100	296.99	0.1673	3.94996	6.97
23.0769	508.73	0.1171	3.85419	11.93
23.5395	1774.56	0.1004	3.77948	41.63
24.1434	665.22	0.0502	3.68630	15.60
24.3089	1361.61	0.0836	3.66158	31.94
25.0756	195.16	0.1338	3.55134	4.58
25.3755	407.68	0.0836	3.51005	9.56
25.6827	822.68	0.1338	3.46874	19.30
26.3928	475.53	0.1004	3.37702	11.15
26.7673	1399.56	0.1840	3.33061	32.83
27.0858	1245.96	0.1506	3.29217	29.23
27.5463	1596.02	0.0836	3.23817	37.44
27.7106	2809.50	0.0669	3.21933	65.90
27.9153	4262.97	0.1171	3.19620	100.00
28.3137	1097.65	0.1171	3.15212	25.75
29.7923	763.80	0.0502	2.99896	17.92
30.1061	753.77	0.1020	2.96596	17.68
30.2149	734.24	0.0669	2.95797	17.22
30.5018	866.88	0.1004	2.93081	20.34
30.7655	525.47	0.1004	2.90628	12.33
31.2205	440.72	0.1171	2.86496	10.34
32.3622	315.47	0.1506	2.76645	7.40
34.3767	313.10	0.1338	2.60880	7.34
34.6873	438.17	0.1673	2.58615	10.28
34.9997	603.32	0.1004	2.56378	14.15
36.7453	392.07	0.0669	2.44589	9.20
36.9919	250.09	0.1673	2.43016	5.87
37.3243	201.17	0.1673	2.40928	4.72
37.7285	179.26	0.2007	2.38439	4.21
38.7896	286.16	0.1171	2.32157	6.71
41.2562	198.57	0.1673	2.18829	4.66
41.6286	258.99	0.1673	2.16957	6.08
42.4621	477.85	0.0836	2.12890	11.21
43.5395	175.75	0.1004	2.07869	4.12
45.7780	165.51	0.1632	1.98047	3.88
45.9625	220.02	0.1338	1.97459	5.16
47.1112	189.17	0.1004	1.92909	4.44
47.9751	249.90	0.0816	1.89478	5.86
48.1258	315.66	0.0836	1.89076	7.40
49.2009	296.55	0.0669	1.85193	6.96
49.7938	253.13	0.0612	1.82975	5.94
49.9496	335.57	0.0612	1.82440	7.87
50.5753	460.42	0.0612	1.80329	10.80
50.7434	450.08	0.1004	1.79920	10.56
51.1155	463.73	0.1020	1.78550	10.88
51.2767	208.45	0.0612	1.78468	4.89
53.2634	215.86	0.2448	1.71844	5.06
54.3196	142.93	0.1020	1.68750	3.35
61.7038	223.22	0.1224	1.50208	5.24
61.8993	177.73	0.1224	1.49781	4.17
63.4819	185.26	0.0816	1.46423	4.35
63.8855	285.41	0.0816	1.45594	6.70
65.1711	162.31	0.4080	1.43030	3.81
69.9293	194.58	0.0816	1.34416	4.56

Fichas aceptadas: albita (01-070-3752) y vermiculita (01-076-0847).



ANEXO VI

Composición química de los diferentes litotipos definidos por Venis en los niveles de albititas del entorno de San Pedro de Paredes



	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	PAR1M14	PASAM7	PAS3M18
SiO₂	63,9%	63,2%	64,1%	62,5%	60,1%	62,9%	63,00%	58,3%	59,9%	68,6%
Al₂O₃	19,8%	20,4%	20,6%	21,5%	20,5%	20,9%	20,8%	22,5%	21,4%	15,1%
Fe₂O₃	0,53%	1,24%	1,25%	1,27%	1,53%	1,23%	1,21%	1,54%	1,79%	1,87%
CaO	34,00%	1,01%	0,51%	0,69%	1,92%	95,00%	0,89%	21,00%	74,00%	1,25%
MgO	2,24%	1,62%	1,32%	1,89%	2,2%	1,46%	1,49%	3,25%	2,89%	1,36%
Na₂O	9,69%	7,82%	7,91%	8,38%	7,76%	7,55%	7,54%	5,56%	8,59%	7,31%
K₂O	1,01%	1,33%	1,25%	0,84%	1,35%	1,39%	1,45%	3,51%	1,95%	1,81%
TiO₂	1,09%	0,69%	0,76%	68,00%	63,00%	69,00%	79,00%	1,01%	87,00%	82,00%
BaO	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
Li₂O	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
PPC	0,98%	2,31%	1,78%	1,82%	3,6%	2,39%	2,27%	3,95%	1,62%	1,37%
% Albilita	81,9%	66,1%	66,9%	70,9%	65,6%	63,8%	63,8%	47,00%	72,6%	61,8%

Muestra X0: muestra en la que aparentemente el feldespato poseía las mejores características tomadas en superficie. Muestra X1: muestra de feldespato sódico útil más feldespato contaminado por carbonatos. Muestra X2: feldespato útil. Se componía de mezcla de muestras de perforaciones. Se definió como la muestra representativa patrón útil del yacimiento. Muestra X3: muestra de feldespato útil de la perforación P1, desde el origen hasta el metro 13,5. Muestra X4: muestra de feldespato contaminado por carbonatos, del sondeo P1 en el intervalo 13,5-34 m. Muestra X5: relación feldespato útil respecto a contaminado de 3:1. Muestra X6:



80% de feldespato útil y 20% de contaminado. Muestra PAR1M14: se seleccionó en superficie y corresponde a zona con minerales sericítico-arcillosos. Muestra PAS4M7: muestra del sondeo S4, en el metro 26, en un sector contaminado por venas de calcita. Muestra PAS3M7: muestra del sondeo número 3 en el metro 41.