

Los indicios auríferos sobre la Fm Vegadeo en el corredor Navelgas-Trevías (Zona Asturoccidental-Leonesa)

Gold showings on the Vegadeo limestone in the Navelgas-Trevías corridor (West Asturian-Leonese Zone)

Santiago González-Nistal¹, Almudena Ordóñez¹, Efrén García-Ordiales¹, Fernando Alberquilla¹, Rodrigo Álvarez^{1*}

¹ Grupo de investigación ISYMA, Escuela de ingeniería de minas, energía y materiales, Universidad de Oviedo, C/ Independencia, 13, 33004 Oviedo. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0009-6529-1509>; <https://orcid.org/0000-0002-0055-1828>; <https://orcid.org/0000-0002-3598-9790>; <https://orcid.org/0000-0002-0912-7097>; <https://orcid.org/0000-0002-2651-1103>.

*Corresponding author: alvarezrodrigo@uniovi.es

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos resultados de interés práctico sobre las mineralizaciones de oro que aparecen en el sector norte del cinturón aurífero de Navelgas (Zona Asturoccidental-Leonesa). El indicio de Navelgas, el más importante del área de estudio, presenta una mineralización hidrotermal cuya paragénesis se ha completado con la presencia de arsenopirita, lollingita, Bi nativo, bismutinita, gersdorfito, violarita, monacita y parisita. El oro nativo, escaso, se asocia a pirita y arsenopirita. La primera, mayoritaria, contiene 625 mg·kg⁻¹ de oro refractario invisible. El microanálisis de elementos traza en oro aluvionar indica que en la cuenca alta del río Navelgas existen varios indicios, no conocidos, de oro primario, probablemente asociados a filones de cuarzo.

En el área de San Feliz, unos 12 km al NE de Navelgas, se ha identificado la presencia de oro refractario (727 mg·kg⁻¹) en la goethita (pseudomorfa de pirita) de los eluviones que se desarrollan sobre la Fm Vegadeo, lo que parece indicar la posible existencia de zonas profundas mineralizadas.

Palabras clave: oro refractario; cinturón de Navelgas; geoquímica de elementos traza; goethita eluvionar aurífera.

ABSTRACT

In this paper, some results of practical interest regarding the gold mineralisation occurring in the northern area of the Navelgas gold belt (West Asturian-Leonese Zone) are presented. The mineral paragenesis of the Navelgas hydrothermal-type mineralization has been completed with the presence of arsenopyrite, lollingite, native Bi, bismuthinite, gersdorffite, violarite, monazite and parisite. Native gold, although scarce, is mainly associated with pyrite and arsenopyrite. Pyrite, predominant sulphide, contains 625 mg·kg⁻¹ of invisible refractory gold. Micro-analysis of trace elements in alluvial gold particles indicates the presence of several unknown primary gold showings, likely associated with quartz veins, in the upper basin of the Navelgas river.

Recibido el 1 de junio de 2023; Aceptado el 27 de julio de 2023; Publicado online el 17 de octubre de 2023

Citation / Cómo citar este artículo: S. González-Nistal et al. (2023). Los indicios auríferos sobre la Fm Vegadeo en el corredor Navelgas-Trevías (Zona Asturoccidental-Leonesa). *Estudios Geológicos*, 79(2), e156. <https://doi.org/10.3989/egeol.45078.1069>

Copyright: (c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

In the San Feliz area, about 12 km NE of Navelgas, refractory gold ($727 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) has been identified in the goethite (pseudomorph of pyrite) within the eluvium overlying the Vegadeo Fm, suggesting the possible existence of deep mineralized areas.

Keywords: Refractory gold; Navelgas gold belt; trace elements geochemistry; auriferous eluvial goethite.

Introducción

La presencia de oro en el subsuelo del NO de la península ibérica es bien conocida desde la ocupación romana, encontrándose, además, razonablemente bien estudiados y documentados los vestigios de minería aurífera de esta época. Estos trabajos, generalmente a cielo abierto, llegaron a tener en algunos casos (Las Médulas, Corta de La Freita, Montefurado...) una envergadura importante. Los trabajos y estudios de prospección minera para oro sufrieron un prolongado letargo desde el final de la dominación romana hasta el segundo tercio del siglo XIX, intervalo en el que apenas se conocen avances. Es especialmente durante las segundas mitades de los siglos XIX y XX cuando se llevan a cabo de manera más intensa diversas campañas de exploración que permiten profundizar en el conocimiento de los recursos de oro existentes, resultando en la definición de cinco grandes alineaciones de indicios de oro (Gutiérrez-Claverol et al., 1991; Martín-Izard et al., 1998; 2000a; Spiering et al., 2000; Martínez-Abad et al., 2015a) que, siguiendo la nomenclatura anglosajona, se han denominado “cinturones auríferos” (*gold belts*).

De E a O, estas alineaciones de indicios se conocen como “cinturón del río Narcea”, “cinturón de Navelgas”, “cinturón de Ibias-Los Oscos”, “Cinturón de Villalba” y “cinturón de Malpica-Tuy”. El primero de estos cinturones es el más estudiado y mejor conocido, y también el único con actividad minera reciente, aún activa en los yacimientos de El Valle-Boinás y Carlés (Cepedal, 2001; Cepedal et al., 2006; Martín-Izard et al., 2000b). Por su parte, el cinturón de Navelgas es el que cuenta con una mayor densidad de indicios auríferos, sin que por el momento ninguno de ellos haya llegado a ser prometedor desde el punto de vista económico. También es el de mayor extensión superficial, y el menos explorado en épocas recientes, con la excepción de los tímidos trabajos llevados a cabo en el indicio de Linares (Ce-

pedal et al., 2013) por las compañías que han explotado desde 1998 el yacimiento de El Valle-Boinás. Es precisamente el sector más septentrional de este lineamiento el que se ha seleccionado en este trabajo como zona de estudio. En el cinturón de Ibias-Los Oscos se localiza el depósito de Salave ($>1 \text{ Moz}$ a $4,6 \text{ g/t}$), considerado como la mayor mineralización de oro conocida y sin explotar en Europa, (Rodríguez-Terente et al., 2018 y referencias ahí citadas), además de algunos otros indicios de menor relevancia en la comarca de Ibias. En el cinturón de Villalba se han descrito (Martínez-Abad et al., 2015b; 2015c) indicios de oro en las localidades de Castro de Rei (skarn de W-Au), Valiña-Azúmara y Arcos (venas hidrotermales en ambos casos). Finalmente, el cinturón de Malpica-Tuy cuenta con la mineralización de Corcoesto (Boixet et al., 2007) como indicio más prometedor, y algunos otros, de menor entidad, en el S de la provincia de La Coruña (Asensio, 2016), en Pontevedra (Boiron et al., 1996) y en el N de Portugal.

Tal y como se indicó anteriormente, el cinturón de Navelgas es un área poco explorada, con potencial (sirva como ejemplo el carácter aurífero de los ríos Navelgas y Bárcena, que se unen formando el Esva), y en la que existen algunas guías de prospección de reconocida utilidad, siendo las litológicas las más interesantes. Así, resulta bien patente que muy buena parte de los indicios de sustancias metálicas en este sector se alinean sobre los dos únicos niveles carbonatados (uno dolomítico y otro calcáreo) que se conocen en la Zona Asturoccidental-Leonesa, ambos de edad Cámbrico (González-Nistal, 2023). En este trabajo se presentan y discuten algunos resultados de orden práctico obtenidos a partir del muestreo de la caliza cámbrica en su trazado cartográfico entre las localidades de Navelgas (Tineo) y Trevías (Valdés), área que representa el sector situado más al norte del conjunto del cinturón. Aunque este trabajo se centra en el oro, es reseñable que en el sector se ha citado recientemente (González-Nistal et al., 2020) la pre-

sencia de monacita-Ce aluvial, lo cual resulta significativo en el contexto de este trabajo, ya que se ha detectado la presencia de este mineral en la paragénesis de la mineralización de Navelgas, como se detallará más adelante.

El área de estudio y su contexto geológico

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se sitúa en la Zona Asturoccidental-Leonesa (ZAOL), en su parte más oriental, denominada “Dominio del Navia-Alto Sil” (DNAS). Tal y como ha quedado bien patente en trabajos previos (Tornos et al., 1996), las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo (ver epígrafe siguiente) constituyen un metalotecto a nivel regional, albergando diversas mineralizaciones estratoligadas y multitud de excavaciones romanas. Teniendo esto en cuenta, la zona muestreada en este estudio se corresponde con el trazado de la Fm Vegadeo (Cámbrico Inferior-Medio) entre Navelgas ($X_{UTM}=698902$; $Y_{UTM}=4808729$) y Trevías ($X_{UTM}=707213$; $Y_{UTM}=4819547$, huso 29, ETRS89).

Litoestratigrafía

En una primera aproximación, la geología del DNAS se caracteriza por dos rasgos: su límite oriental es un Precámbrico en facies esquistosa, sobre el que se dispone un potente conjunto de rocas metasedimentarias, predominantemente detríticas, del Paleozoico Inferior. En el sector meridional de la zona de estudio, en las inmediaciones de Navelgas, aparece la serie pelítico-arenosa precámbrica conocida como Fm Narcea (Ediacariense Superior, Rubio, 2010). Su potencia mínima es de 1000 m, y cuenta con lentejones de rocas volcánicas y volcanoclásticas concordantes con la estratificación. De forma discordante, y mediante un contacto mecánico, por encima de la serie pizarrosa anterior se dispone un potente intervalo arenoso-pizarroso, localmente microconglomerático, con una característica banda dolomítica en la base. Este conjunto se denomina Fm Cándana y su espesor llega a los 2000 m; se interpreta como depósitos intermareales y marinos someros y su edad es Cámbrico Inferior. Por encima de la serie de Cándana aparece el horizonte carbonatado al que ya se ha hecho alusión previamente: la Fm Vegadeo. Se trata de 150-200 m (177 m en la sección

de Navelgas) de calizas grises y rojas, recristalizadas y localmente silicificadas, de edad Cámbrico Inferior-Medio. Por medio de un tránsito gradual, la Fm Vegadeo da paso a una nueva unidad siliciclástica, La Serie de Los Cabos. Con un espesor en torno a los 4000 m, es una serie alternante de pizarras y cuarcitas en la que la monotonía únicamente se rompe con la ocasional presencia de rocas volcánicas interestratificadas, de escasa importancia cuantitativa. Su base es del Cámbrico Superior, y abarca hasta el Ordovícico Medio. Culminando la serie de la zona de estudio, y en concordancia con las unidades anteriores, aparece un intervalo de pizarras negras, lustrosas, con piritas y de gran uniformidad de facies que representa el Ordovícico Medio y se conoce como Fm Luarca. En la figura 1 se muestra la cartografía simplificada de la zona de estudio.

Estructura

La estructura de la zona de estudio es, a grandes rasgos, resultado de la orogenia varisca. El elemento más importante es el cabalgamiento de Allande (Marcos, 1973), estructura regional que recorre la zona de NE a SO (figura 1) y en cuyo entorno se alcanza la isograda de la biotita. Al O de esta gran fractura la disposición de la serie es esencialmente monoclinial, con las capas buzando al O, 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. Ambas estructuras se consideran, también, importantes controles para el potencial emplazamiento de mineralizaciones.

Rocas ígneas

En el sector analizado únicamente se conoce la existencia de pequeños sills encajados en la serie pizarrosa precámbrica, concordantes con la estratificación, también presentes en algunos puntos de los tramos inferiores de la Serie de Los Cabos. Las principales manifestaciones, según la cartografía del mapa geológico nacional, se localizan al SO de Trevías.

Por otra parte, en la localidad de Burgazal, a unos 6 km al O de Navelgas, y ya en el límite occidental de la zona de estudio existe un cortejo de cuerpos

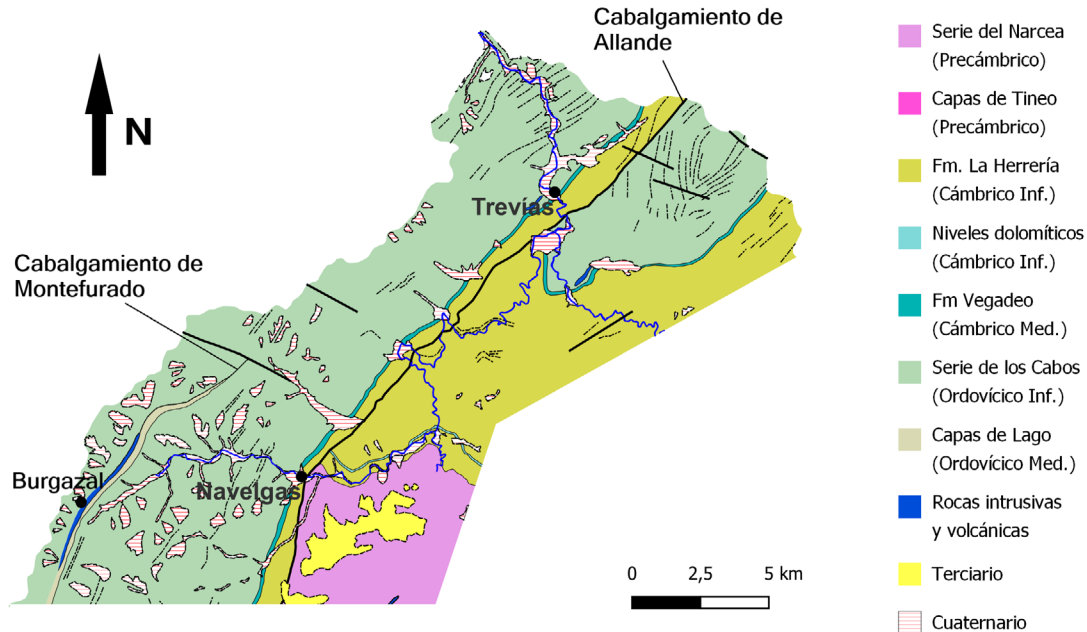


Figura 1.— Mapa geológico simplificado de la zona de estudio (mod. Mapa geológico continuo de España, <https://info.igme.es/visor/>).

ígneos de naturaleza diabásica, probablemente post-variscos. Petrográficamente se trata de epidibasas de grano medio/grueso y textura intergranular diabásica. Sus minerales esenciales son plagioclasa (An_{5-15}), clinopiroxeno, actinolita y clorita. Estas rocas contienen una débil mineralización metálica de pirita, pirrotina y calcopirita; mediante microanálisis a nivel de grano, González-Nistal (2023) reporta contenidos de Pt en el orden de 350-400 mg kg⁻¹ en estos sulfuros.

Métodos y técnicas instrumentales

El tramo objeto de estudio, siguiendo el rumbo SO-NE del litosoma seleccionado, cuenta con una longitud aproximada de 14 km. Al tratarse de un horizonte carbonatado encajado entre niveles siliciclásticos, la Fm Vegadeo genera un relieve negativo sobre el que existen, fundamentalmente, fincas con aprovechamiento agrícola, siendo los afloramientos muy deficientes y siempre parciales. Los emplazamientos muestreados fueron un total de 5: la sección de la gasolinera de Navelgas (afloramiento más completo, parcial en todo caso), el talud de la AS-219 (Luarca-Tineo) a la altura del PK 23,5, el acceso a la cooperativa de Piñera, Ferrera de Merás y San Feliz.

La localización precisa de los puntos de muestreo se recoge en la tabla 1. En la localidad de San Feliz, aprovechando las obras de la mejora de caminos, además de la roca se muestreó el potente eluvión desarrollado sobre la Fm Vegadeo.

Se realizaron láminas delgadas y probetas pulidas para estudios de microscopía óptica. Posteriormente,

Tabla 1.— Coordenadas espaciales de las secciones de muestreo.

Sección de muestreo	X _{UTM}	Y _{UTM}
	ETRS89, huso 29	
Navelgas (gasolinera)	698977	4809150
PK 23,5 AS-219	699542	4809769
Cooperativa de Piñera	702675	4814194
Ferrera de Merás	705651	4817525
San Feliz	706470	4818779

para análisis mineralógico y geoquímico se molieron 100 g de cada muestra, con un molino de aros, a 1400 rpm durante 2 minutos, hasta alcanzar la fracción inferior a 63 μ m. La identificación mineral mediante difracción de rayos X (DRX) se llevó en un difractor Bruker D8 Discover, con ánodo de Cu ($\lambda=1,54060$ Å) a 40 mA y 45 kV. Los análisis elemen-

tales sobre la muestra total se realizaron por medio de un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X (FRX-EDS) modelo Niton XL3t GOLDD+ con detector de deriva de Si y ánodo de Ag que opera a 200 μ A y 50 kV. Para la geoquímica de la roca total se empleó un espectrómetro de fluorescencia de rayos X PHILIPS-PW2404 con ánodo de Rh y 4 kW de potencia. Además, las muestras se estudiaron mediante microscopía electrónica con un microscopio electrónico de barrido (SEM) JEOL 6610-LV, equipado con un módulo de análisis elemental mediante espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS) INCA Energy 350 Xmax 50, de 125 eV de resolución. Finalmente, para el microanálisis de elementos traza a escala de grano, se empleó una microsonda electrónica (EPMA) Cameca Camebax SX-100 que dispone de cinco espectrómetros de dispersión de longitudes de onda (WDS) y detectores de electrones secundarios (SE) y retrodispersados (BSE). El microanálisis de las partículas de oro nativo, dada la dificultad de alcanzar un pulido adecuado, se realizó mediante ablación láser acoplada a un espectrómetro de masas (LA-ICP-MS); el sistema láser utilizado es el modelo Analytes G2 ArF, que opera a una longitud de onda de 193 nm y con un límite de potencia de 7 mJ por pulso. La muestra se dispone en una celda de ablación, bajo atmósfera inerte (Ar) y la acción del láser crea un aerosol a partir del material arrancado (penetración <1 μ m) que se conduce al espectrómetro de masa por medio de una corriente gaseosa.

Los equipamientos SEM-EDS, EPMA-WDS, FRX-WDS, LA-ICP-MS y de DRX pertenecen a los servicios científico-técnicos comunes de la Universidad de Oviedo.

Resultados y discusión

Petrografía y geoquímica de rocas

El aspecto que muestra la Fm Vegadeo en lámina delgada es siempre el de una caliza completamente recristalizada, en la que se ha borrado por completo la textura sedimentaria original. Los cristales de calcita varían, en diámetro, entre unas pocas decenas de μ m y 1 mm, siendo lo más frecuente 100-150 μ m, y se encuentran frecuentemente maclados. Las determinaciones mediante DRX muestran, ocasionalmen-

te, un contenido en dolomita con valores máximos en torno al 3-4%. Únicamente en la sección de muestreo de la Cooperativa de Piñera la textura microscópica se corresponde con la de una roca carbonatada más pura (figura 2A). Resulta curiosa la participación, casi siempre importante, de material detrítico, constituido por cuarzo, en ocasiones microcristalino, láminas de filosilicatos (clorita, moscovita, flogopita) y cantidades subordinadas de plagioclasas (figuras 2B-2E). Este contenido en especies silicatadas resulta especialmente importante en los metros de techo, indicando un tránsito gradual a la Serie de Los Cabos por medio de calcoesquistos. 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 (“insolubles arcillosos”) y opacos (figura 2F).

Las observaciones anteriores se ven refrendadas en los resultados de los análisis de la roca total, en los que el contenido en CaO varía desde el 11,23% hasta valores máximos del 47,03%, lejos del 56% que marcaría la estequiometría ideal para una caliza pura. Este dato resulta curioso, ya que la Fm Vegadeo fue explotada, en el pasado, como materia prima para la producción (artesanal) de cal, en algunos casos en sectores donde el contenido el CaO no supera el 20%. Los contenidos en Fe₂O₃ y MnO pueden ser localmente elevados, hasta el 9,11 y 15,46%, respectivamente. La presencia de filosilicatos-K, en mayor o menor grado de alteración, queda igualmente puesta de manifiesto con valores de K₂O que alcanzan el 17,83%. Los rangos composicionales en elementos mayores y menores, determinados mediante fluorescencia de rayos X (WDS) se muestran en la tabla 2. En dos muestras, tomadas en las secciones de Navelgas y San Feliz, se han llegado a identificar, mediante FRX-EDS la presencia de Au en el límite inferior de resolución de la técnica.

Mineralización metálica

Al margen de cierto contenido en óxidos de Fe (dominados por la goethita, según se ha determinado mediante DRX), Mn y Ti, únicamente las muestras recogidas en las secciones de Navelgas y San Feliz presentan otras especies o particularidades de inte-

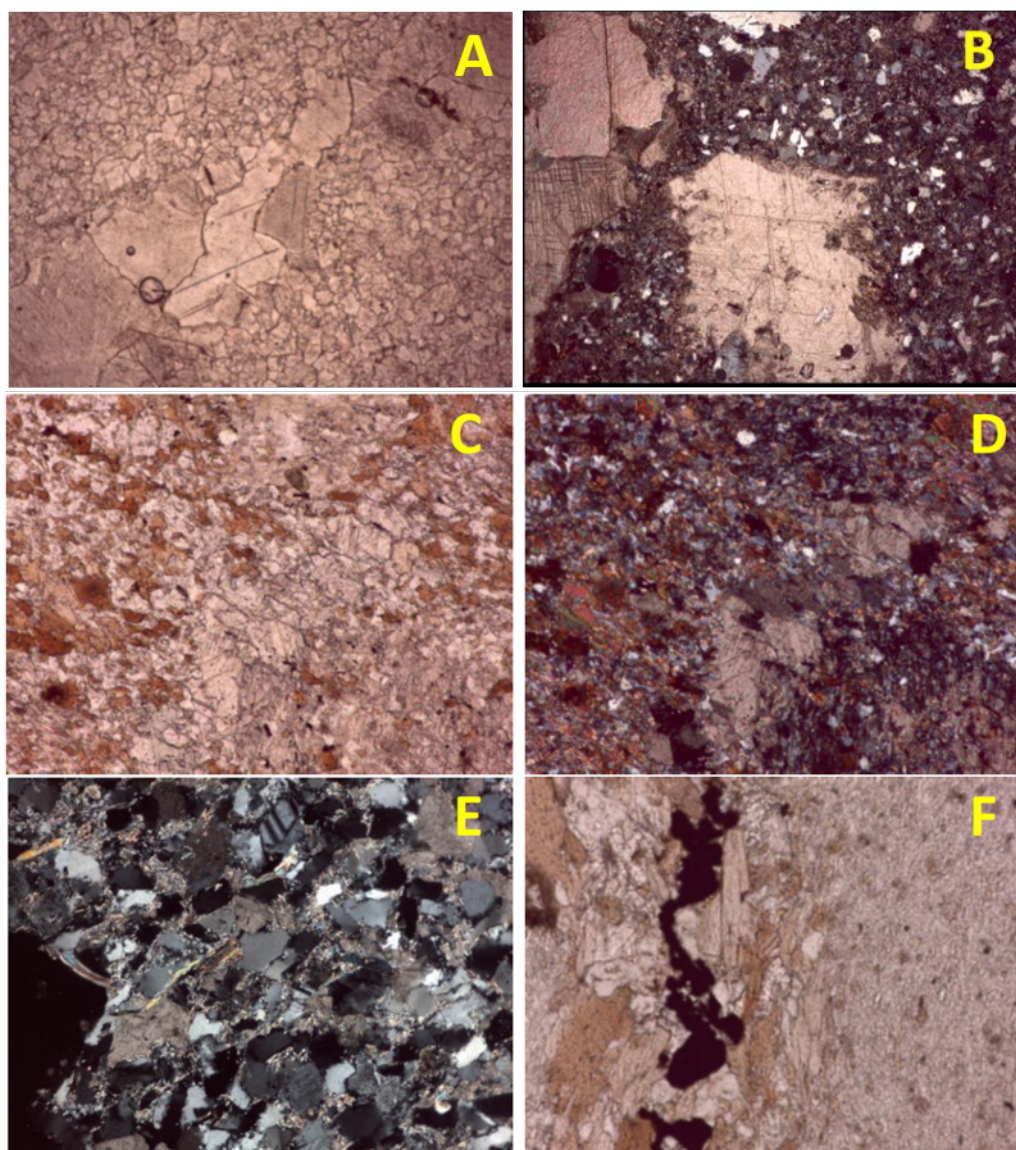


Figura 2.— A) Microfacies más pura de entre las observadas en la Fm Vegadeo en el sector estudiado (sección de la Cooperativa de Piñera). B) Cristales, maclados y corroídos, de calcita, acompañada de cuarzo detrítico en tamaño limo (Sección de San Feliz). C y D) Calcoesquisto de techo (calcita, cuarzo y filosilicatos, sección de Navelgas). E) Roca detrítica (cuarzo, plagiocasa tipo albita, moscovita) cementada con calcita (sección de Navelgas). F) Diseminación de opacos en la microfacies de las figuras C-D (Sección de Navelgas). Las figuras A, C y F están tomadas con luz polarizada plana (el resto -B, D y E- con luz polarizada cruzada). Encuadre horizontal: 1,3 mm (A-B-C-D) y 2,6 mm (E-F).

rés, por lo que serán las únicas que se detallan y discutan en este apartado.

Sector Navelgas

En el examen de las muestras mediante microscopía óptica en modo reflexión se pone de manifiesto, tal y como apuntaban trabajos anteriores (Álvarez, 2003; Álvarez y Ordóñez, 2010) que la paragénesis

metálica de esta mineralización está dominada por pirita, a la que acompañan, como especies principales, la calcopirita, la pirrotina y la arsenopirita (citada en este trabajo por primera vez para esta mineralización). Se trata, en todas las muestras, de una mineralización finamente dispersa (<2 mm) de sulfuros en el encajante carbonatado, con un claro control por fracturas que denota un carácter epigenético.

Tabla 2.— Composición de la caliza de la Fm Vegadeo (resultados en % en peso).

Óxidos	Rango	Valor medio (n=5)
SiO ₂	3,88-46,09	19,47
Al ₂ O ₃	1,14-3,09	2,23
Fe ₂ O ₃	0,67-9,11	5,07
MnO	0,79-15,46	5,19
MgO	1,09-4,09	3,06
CaO	11,23-47,03	34,36
Na ₂ O	0,16-1,34	0,82
K ₂ O	0,89-14,77	5,56
TiO ₂	0,05-0,15	0,09
P ₂ O ₅	0,02-0,07	0,05
L.O.I	8,82-36,95	26,98

La pirrotina se forma con carácter previo al resto de los sulfuros, y en muchas ocasiones se presenta asociada a pentlandita (figura 3A). La identificación de la pentlandita, además de su asociación con pirrotina, se ha establecido en base a los resultados de microanálisis mediante EPMA, que proporcionan una relación Fe:Ni media de 0,843 (30,03-37,76% de Ni, 24,83-33,62% de Fe). En relación a la pirita, es posible diferenciar dos etapas separadas en el tiempo: la pirita precoz es de tamaño de grano más grueso (hasta superar el mm) y formas subhedrales, mientras que la pirita tardía presenta tamaños mucho menores y, al contrario que la primera, casi no se ve afecta-

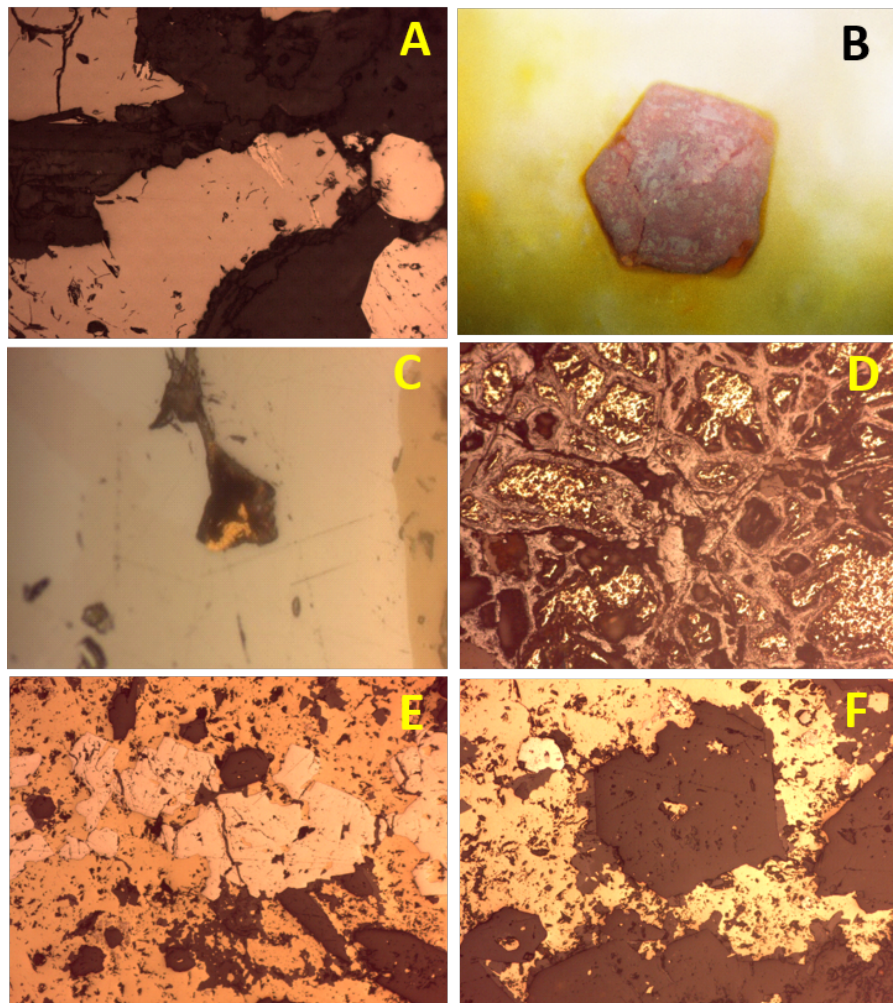


Figura 3.— A) Pirrotina (parte central e izquierda superior) con inclusiones minerales, en formas penetrativas, de pentlandita. B) Goethita pseudomorfa de pirita con una pequeña inclusión de oro en la parte central-inferior. C) Inclusión de oro nativo en arsenopirita (a la izquierda, calcopirita). D) Facies más meteorizada: goethita supergénica, con o sin reminiscencias de pirita en los núcleos. E) Carácter previo de la arsenopirita (centro) con respecto a la calcopirita que la rodea. F) Cuarzo hidrotermal, corroído por los sulfuros. Todas las figuras están tomadas con luz polarizada plana. Encuadre horizontal: 1,3 mm (D-E), 650 µm (A y F) y 130 µm (B-C, inmersión en aceite).

da por fenómenos de oxidación. La alteración de la pirita genera principalmente goethita: el proceso de transformación mineral suele respetar la morfología de la pirita original, facilitando, ocasionalmente, la apreciación de pequeñas partículas de oro nativo (1-10 μm) a modo de inclusiones minerales; estas partículas auríferas, con una observación cuidadosa y grandes aumentos (100X), también resultan apreciables en asociación con pirita y arsenopirita (figuras 3B y 3C). Tanto la pirrotina como la calcopirita, escasas, se observan sanas, aunque no es posible descartar que algunos óxidos de Fe procedan de la alteración de una pirrotina primaria. En relación a la calcopirita, solamente se observó una pequeña orla de calcosina en una muestra. En las partes más intensamente oxidadas, que se corresponden con tonalidades marrónceas de la roca 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. En ocasiones, debido a estos fenómenos de alteración, la pirita desaparece completamente, siendo rellenado el hueco parcialmente por goethita (figura 3D): esta goethita presenta una textura típica de una génesis supergénica, en capas envolventes. Álvarez (2003) señala un contenido medio en Au en la pirita de este indicio de 757 mg kg^{-1} , indicando que es el único sulfuro portador de cantidades significativas de Au refractario invisible. Este aspecto se ha podido verificar durante la realización de este trabajo, en el que se han realizado un total de 46 microanálisis mediante EPMA-WDS en piritas, que revelan contenidos medios de 625 mg kg^{-1} de Au, con un máximo de 3649 mg kg^{-1} . Este contenido medio en Au en piritas se encuentra en el mismo orden ($\sim 113\text{-}1397 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) que el reportado por Babedi et al. (2022) para yacimientos epitermales (en sentido amplio).

La arsenopirita, también escasa, aparece en asociación con la calcopirita, disponiéndose ambas según la dirección de la estratificación, en las salbandas de fracturas selladas y siendo este su único modo de ocurrencia. La primera, subordinada a la calcopirita en cantidad, es precoz con respecto a ésta y presenta tamaño de grano grueso (hasta 880 μm). Aparece como cristales subhedrales en el seno de la calcopirita, o en equilibrio con ella (figura 3E). 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 de ser anterior a los sulfuros (golfos de corrosión, figura 3F).

El estudio de las muestras mediante microscopía electrónica, y en particular el microanálisis a escala de grano mediante EDS, ha permitido identificar algunas inclusiones minerales presentes en los sulfuros anteriores que no ha sido posible resolver mediante métodos ópticos. También, mediante esta técnica, ha resultado posible identificar algunos cristales de minerales transparentes, genéticamente asociados a la mineralización sulfurada. Así, se ha podido concluir la presencia de bismutinita y de Bi nativo, y también de lollingita, como inclusiones minerales en los cristales de arsenopirita (figuras 4A y 4B) y de gersdorfito y violarita (esta última no identificada de manera concluyente) en asociación con la pirita. En una de las muestras, rica en cuarzo, se observaron cristales, euhedrales y milimétricos, de una fase ópticamente transparente, que el microanálisis permite identificar como carbonato de tierras raras con F, posiblemente parisita-Ce. Acompañando al anterior, también se ha identificado, en esta ocasión de forma definitiva, la presencia de pequeños cristales (10-20 μm) de monacita-Ce (figura 4C).

En la figura 5 se muestra un cuadro paragenético con las especies cuya presencia se ha identificado. En relación a las primarias, no es posible establecer relaciones temporales entre todas ellas, por lo que se han agrupado en tres asociaciones, según los grupos de especies minerales que coexisten (Fe-Cu-Ni, As-Bi-Au y TTRRs).

A pesar de que la Fm Vegadeo es una guía litológica de primer orden en el área de estudio, resulta evidente que existen indicios de Au primario, desconocidos, en el área de afloramiento de la Serie de Los Cabos, al NO del trazado de esta banda calcárea. Esto se puede inferir por la presencia de Au secundario en los aluviones del río Navelgas (y del río Bárcena) en tramos de la parte alta de la cuenca, en los que aún no ha intersectado a la caliza cámbrica. Así, como complemento al estudio de la mineralización primaria de Navelgas, se han recuperado, mediante ensayos a la batea, algunas partículas de oro nativo en los sedimentos del río Navelgas a la altura de

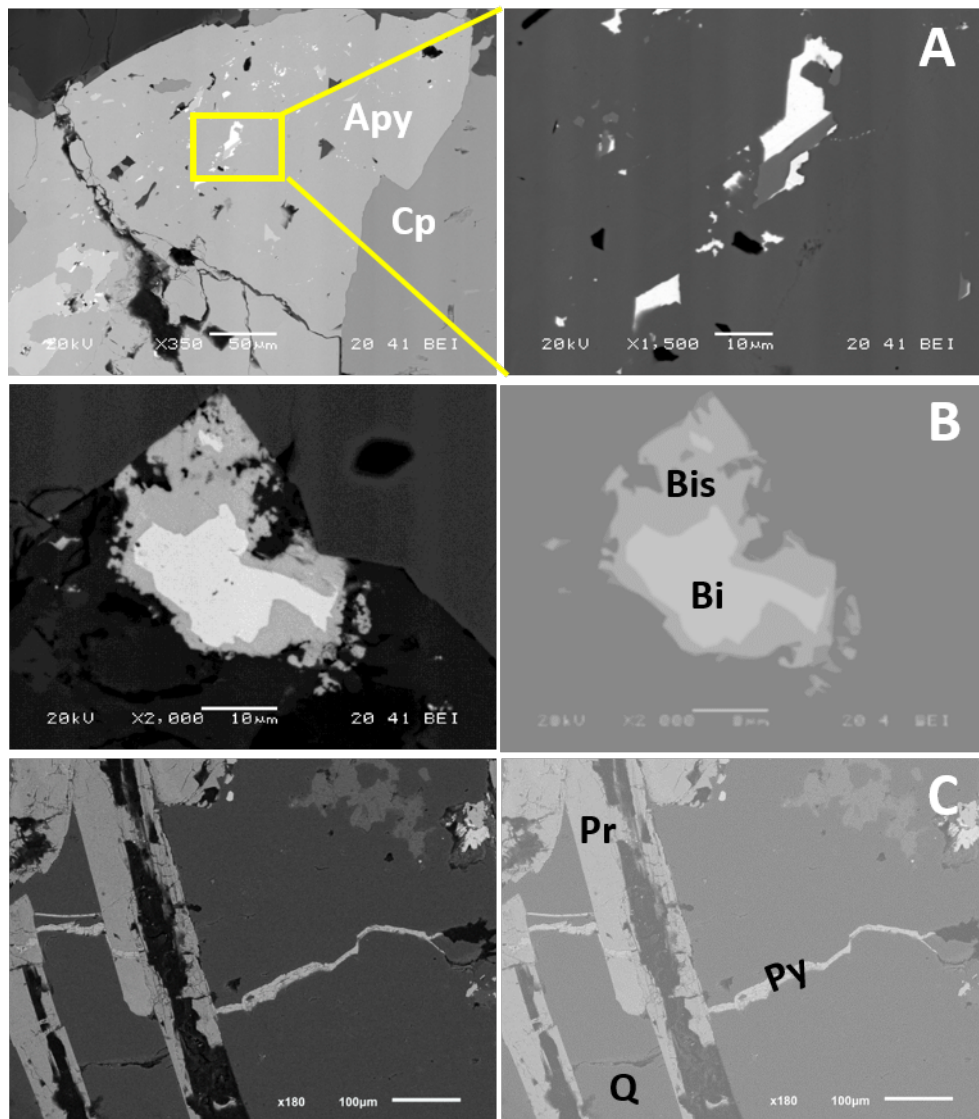


Figura 4.— Imágenes tomadas con SEM-BSE. A) Arsenopirita (Apy) y calcopirita (Cp) ; a la derecha, detalle de las inclusiones en la arsenopirita: la fase más brillante es Bi nativo y la intermedia, lollingita. B) Transformación de Bi nativo (Bi) a bismutinita (Bis). C) Parisita (Pr), pirita (Py) y cuarzo (Q).

Foyedo ($X_{UTM}=696815$; $Y_{UTM}=4809130$). Sobre 3 de estas partículas (denominadas FOY-1 a FOY-3), una vez montadas sobre una sección pulida, se han llevado a cabo determinaciones analíticas de elementos traza mediante LA-ICP-MS, cuyos resultados se exponen a continuación.

Para la ejecución de los microanálisis mediante LA-ICP-MS, y en base a las recomendaciones de la literatura específica (Zhang et al., 2014; Chapman et al., 2021 o Ketchaya et al., 2022) y teniendo también en cuenta el contexto metalogénico, se seleccionaron para su cuantificación los siguientes elementos: Fe,

Cu, As, Ag y Bi. El aspecto de las partículas analizadas se muestra en la figura 6 y los resultados analíticos, en la tabla 3 (en cada una de la partículas se realizaron 4-5 análisis lineales). Estos resultados ponen de manifiesto un más que probable origen diferente para cada una de las tres partículas: los valores de Bi, sin ser muy elevados, permiten definir un origen diferente para la partícula FOY-3 con respecto a las otras dos. Ese dato se refrenda atendiendo a los valores de Cu, siendo esta partícula la única en la que este elemento alcanza el rango de elemento mayor. Por su parte, las partículas FOY-1 y FOY-2 presentan

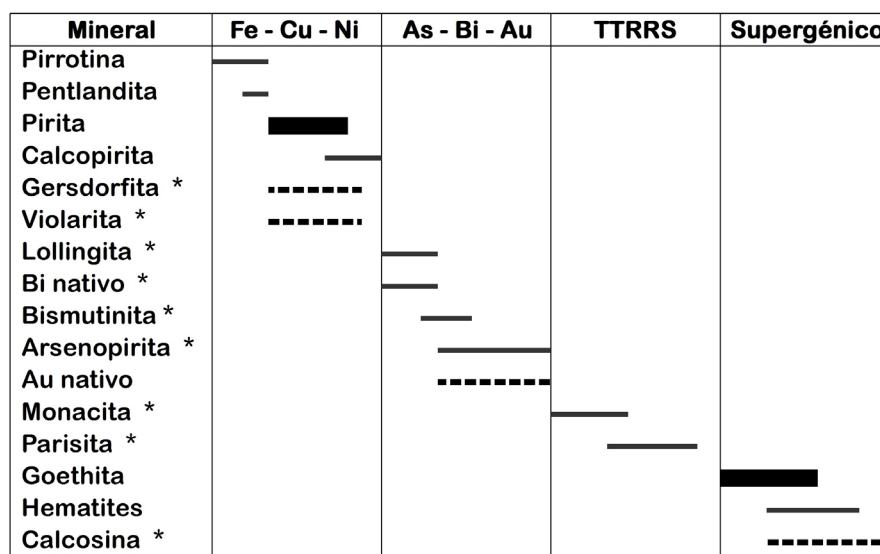


Figura 5.— Secuencia temporal de las especies presentes en la mineralización de Navelgas. Se han separado las asociaciones Fe-Cu-Ni, As-Bi-Au y TTRRS, dado que no siempre es posible establecer sucesiones temporales entre ellas. La monacita y la parisita sí son anteriores a la pirita. (*) Especies citadas por primera vez en este trabajo para la mineralización de Navelgas.

Tabla 3.— Contenidos elementales en Fe, Cu, As, Ag y Bi de las partículas de oro aluvionar del río Navelgas (mg kg⁻¹).

Partícula	Línea	Fe	Cu	As	Ag	Bi
FOY-1	FOY-1_1	1276,4	136,0	80,8	181951,5	1,2
	FOY-1_2	1361,0	128,8	48,5	196079,6	1,5
	FOY-1_3	1223,2	112,1	57,7	195131,8	1,1
	FOY-1_4	1477,8	150,4	53,8	206865,9	1,0
	Media (FOY-1)	1334,6	131,8	60,2	195007,2	1,2
FOY-2	FOY-2_1	1362,7	636,0	38,0	30785,7	0,9
	FOY-2_2	1579,0	530,0	57,6	29439,6	1,2
	FOY-2_3	1488,9	559,1	78,3	29901,8	2,9
	FOY-2_4	1434,9	623,0	62,0	30629,0	2,0
	Media (FOY-2)	1466,4	587,0	59,0	30189,0	1,8
FOY-3	FOY-3_1	1175,3	15560,6	58,1	334139,5	181,5
	FOY-3_2	641,2	14629,0	50,9	325124,4	234,0
	FOY-3_3	1340,8	9662,5	59,7	289606,9	138,1
	FOY-3_4	755,3	4900,0	57,7	267222,2	90,9
	FOY-3_5	1060,5	22172,9	60,1	532524,9	177,1
	Media (FOY-3)	994,6	13385,0	57,3	349723,6	164,3
Mínimo		641,2	112,1	38,0	29439,6	0,9
Máximo		1579,0	22172,9	80,8	532524,9	234,0
Media		1244,4	5369,3	58,7	203800,2	64,1
Desviación estándar		280,26	7592,93	11,21	150648,32	88,03

similares contenidos en Fe, Bi y As; por su parte, la Ag, que se sitúa en torno a un 3% en la muestra FOY-2, alcanza el 19,5% en la muestra FOY-1. A pesar de que las grandes diferencias en los contenidos en Ag no son adecuadas para discriminar orígenes diferentes (ver Rodríguez-Terente et al., 2018) no es probable que su origen se relacione con un mismo fluido mineralizador, a merced de los valores de Cu. Esto parece indicar que existen, en la parte alta de la cuenca, un número indeterminado de indicios, con firmas geoquímicas particulares para el oro nativo. Los elementos que mejor discriminan el origen serían Cu y Bi. La Ag, a pesar de contar con un amplio abanico de contenidos, no debe usarse en la discriminación del origen de partículas de oro o electrum, según se ha argumentado anteriormente. Otro de los aspectos de mayor relevancia en la determinación del origen partículas de oro nativo es la presencia o ausencia de inclusiones minerales: la correcta identificación de las especies presentes pueden resultar de

gran utilidad en la localización de las áreas de aporte, a través de las rocas encajantes. En el caso particular de las tres partículas de la figura 6, las inclusiones minerales son exclusivamente de cuarzo, según se ha determinado mediante SEM-EDS: su utilidad como guía resulta, entonces, muy limitada.

Sector San Feliz

San Feliz es un pequeño núcleo rural localizado a 1 km al SO de la localidad de Trevías, que se ve atravesado por las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo, poco antes de cruzar bajo el río Esva a la altura de dicha localidad. Durante los años 2020 y 2021 se realizaron en la zona trabajos de ensanchamiento de pistas que permitían la observación de algunas secciones bien expuestas, en las que se pudo comprobar un buen desarrollo del suelo eluvionar, que presenta en muestra de mano un tono rojizo, presumiblemente debido a los abundantes óxidos de hierro que, en

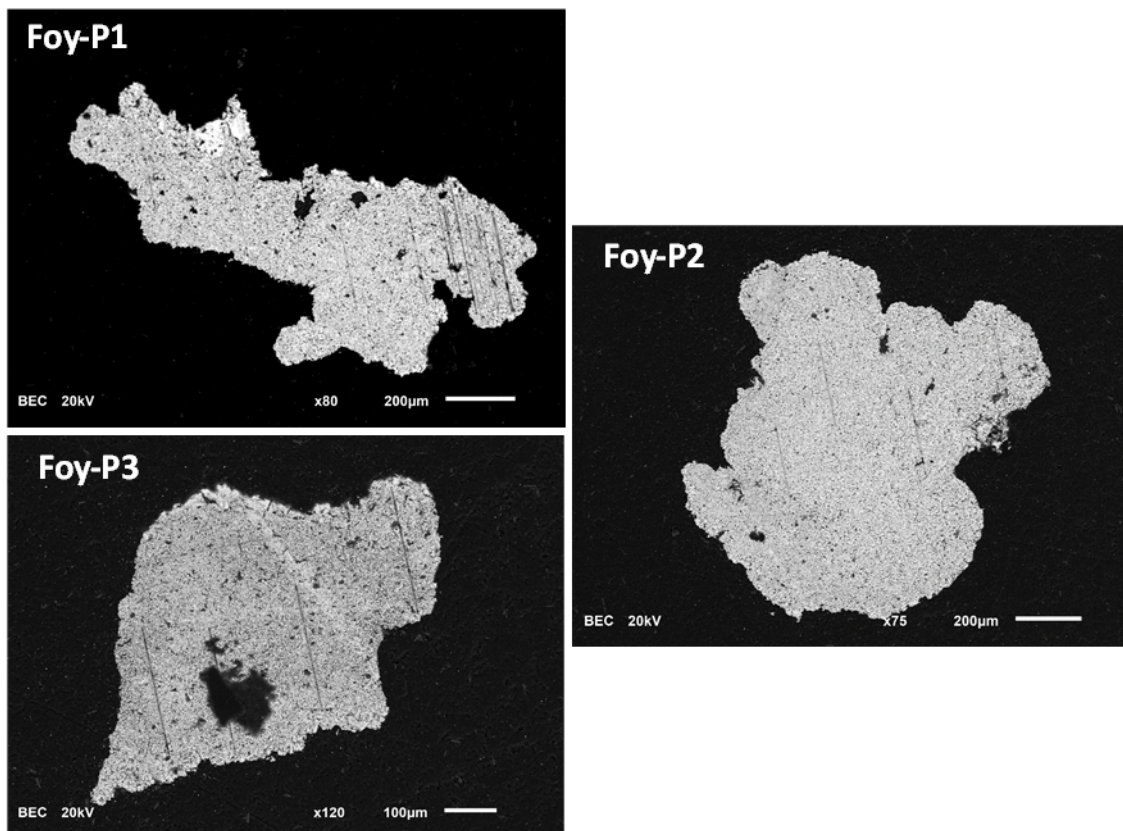


Figura 6.— Imágenes tomadas con SEM-BSE. Partículas de oro nativo sobre las que se han realizado los estudios de inclusiones minerales y heterogeneidades composicionales (evidenciadas por las diferentes tonalidades de gris dentro de cada partícula). Las líneas rectas corresponden a los arranques del láser en los ensayos de LA-ICP-MS.

forma de depósitos superficiales oscuros, salpican lo que parecen ser planos de fractura del macizo rocoso original.

Estas muestras, demasiado blandas para la ejecución de láminas delgadas, sí admiten un pulido aceptable para su estudio mediante EPMA 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 (figura 7). En ocasiones, el núcleo de los cristales conserva el residuo pirítico. El microanálisis EDS que proporciona el SEM ha permitido reconocer contenidos de Co en los núcleos piríticos de hasta el 3,16%, mientras que los barridos de superficie en la mayor parte de las zonas goethizadas arrojan contenidos en Ni en el rango de elemento menor (0,25-0,87%), lo que podría ser interpretado como un enriquecimiento residual. Resulta muy llamativa la enorme frecuencia con la que las goethitas presentan huecos intercristalinos, de tamaños muy varia-

bles y de morfología habitualmente subredondeada, que en ocasiones pueden llegar a ocupar la mayor parte de la superficie del cristal.

Teniendo en cuenta el origen, posiblemente endógeno, de las piritas originales que se han ido transformando durante la edafogénesis en las goethitas ahora presentes en el eluvión, y su relativa apariencia similar (salvando la intensidad de la meteorización) a las observadas en las partes oxidadas de la mineralización de Navelgas, se consideró oportuno realizar microanálisis de mayor detalle para evaluar su posible carácter aurífero. Sobre 30 cristales de goethita se realizaron microanálisis mediante EPMA, 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 (% en peso) se muestran en la tabla 4.

Los elementos menores son, considerando valores medios, As (0,11%) y Bi (0,20%), ambos considerados *pathfinders* para mineralizaciones hidrotermales de Au. De los elementos traza (el resto de entre los

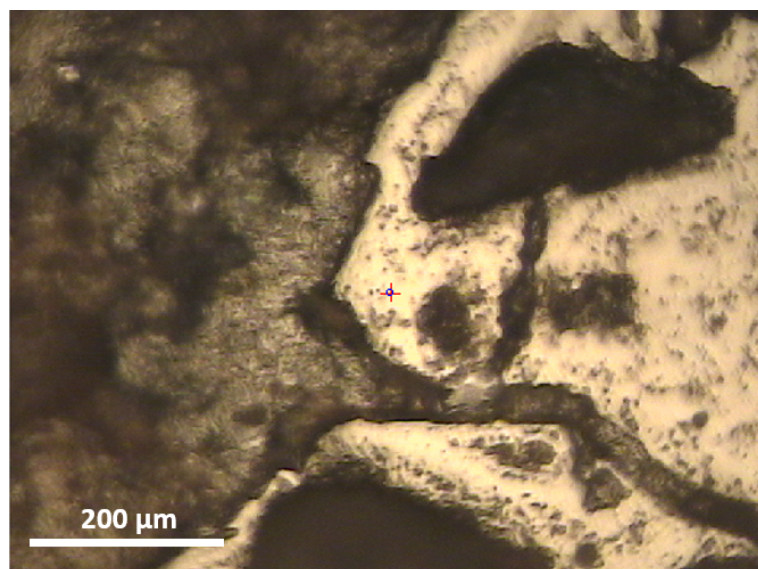


Figura 7.— Aspecto de la goethita presente en los eluviones de San Feliz. En el centro, uno de los puntos de análisis.

Tabla 4.— Contenidos en Si, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, As, Ag, Au y Bi de las goethitas de los eluviones de San Feliz (% en peso).

n=30	Si	Al	Ti	Fe	Mn	Cu	As	Ag	Au	Bi
Min	0,9194	0,0019	0,0000	42,4718	0,0000	0,0000	0,0145	0,0000	0,0000	0,0000
Máx	5,0092	5,6663	0,1172	57,1275	0,0250	0,0789	0,2660	0,0373	0,5541	0,7091
Media	2,0307	2,7797	0,0299	51,1000	0,0055	0,0159	0,1089	0,0106	0,0727	0,2233
Desv est	0,7942	2,0902	0,0332	3,9748	0,0069	0,0182	0,0738	0,0101	0,1320	0,2501

analizados, excluyendo Fe-O-Si-Al), el que aparece en concentraciones mayores es precisamente el Au, con un valor medio de 727 mg kg⁻¹ y un valor máximo de 5541 mg kg⁻¹. Los ratios Au/Ag se sitúan entre 10 y 25. Los contenidos de Au encontrados en estas goethitas se corresponden en orden de magnitud con los obtenidos por Álvarez (2003) 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 invita a realizar estudios más detallados en este sector, en el que únicamente se conocen indicios, ahora sin interés económico, de Fe y Mn (González-Castro et al., 1986).

Conclusiones

En la zona de estudio, la Fm Vegadeo está constituida por calizas cristalinas y microcristalinas, poco dolomitizadas, que evolucionan a calco-esquistos a techo. Éstas albergan una mineralización metálica de claro carácter epigenético, con un control por fracturas, y origen hidrotermal. El interés económico principal de esta mineralización es su contenido en Au. La paragénesis primaria previa conocida, pirita-pirrotina (+pentlandita)-calcopirita ha sido completada y actualizada con las siguientes especies: arsenopirita, lollingita, gersdorffita-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 visible es escaso, se asocia principalmente a pirita y arsenopirita, siendo el tamaño más frecuente las unidades de micrómetro (no excede las 20 µm). El microanálisis ha revelado contenidos medios en Au en la pirita (sulfuro más abundante) de 625 mg kg⁻¹ y máximos de 3649 mg kg⁻¹.

El río Navelgas contiene oro secundario en sus aluviones incluso aguas arriba de su intersección con las calizas cámbricas de la Fm Vegadeo. 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 los elementos Bi y Cu (al contrario que As y Fe). El oro nativo aluvionar del río Navelgas muestra valores medios de Ag en torno al 20% en peso, tratándose, por lo tanto, de electrum. La geoquímica de elementos traza en oro aluvionar permite

afirmar que existen, a su vez, al menos tres fuentes primarias diferentes. Las inclusiones minerales en el oro aluvionar apuntan a un modelo de oro en filones de cuarzo.

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 (pseudomorfa de pirita) que, por su similitud con la de la mineralización de Navelgas, fue microanalizada para verificar su contenido en Au, resultando éste de 727 mg kg⁻¹ en valor medio (máximo de 5541 mg kg⁻¹ Au). Estos “piritoedros” de goethita se caracterizan por sus bordes rectos y formas ideales, presentan huecos internos y, en ocasiones, conservan un núcleo pirítico. 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.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de Francisco Ruiz, quien proporcionó interesante documentación sobre la actividad prospectiva previa en Navelgas y de Pedro Queipo, vecino de Navelgas, por la ayuda con los ensayos a la batea. La parte analítica de este trabajo ha sido parcialmente financiada por la Fundación Caja Rural.

Referencias

- 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. In J. Loredo, (Ed.), *Nuevos retos en la prospección e investigación de los recursos minerales. Libro homenaje al profesor Jesús García Iglesias* (pp. 53-80). Universidad de Oviedo.
- Asensio, B. (2016). Las mineralizaciones auríferas de Galicia Occidental en la zona de cizalla Busto-Limideiro (La Coruña). [Unpublished doctoral dissertation]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Babedi, L., von der Heyden, B .P., Tadie, M., & Mayne, M. (2022). Trace elements in pyrite from five different gold ore deposit classes: a review and meta-analysis. *Geological Society Special Publications*, 516 (1), 47-83. <https://doi.org/10.1144/SP516-2021-41>

- Boiron, M. C., Cathelineau, M., Banks, D.A., Yardley, B. W. D., Noronha, F., & Miller, F. M. (1996). P-TX conditions of late hercynian fluid penetration and the origin of granite-hosted gold quartz veins in northwestern Iberia: A multidisciplinary study of fluid inclusions and their chemistry. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 60, 43-57. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00364-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00364-9)
- Boixet, L., Gleeson, C. F., & García-Nieto, J. (2007, June 14-19). The Corcoesto gold deposit [Conference Presentation]. 3rd International Applied Geochemistry Symposium, Oviedo, España. https://www.appliedgeochemists.org/images/stories/IAGS_2007/Abstracts_and_Program.pdf
- Cepedal, A. (2001). Geología, mineralogía, evolución y modelo genético del yacimiento de Au-Cu “El Valle-Boinás” (Belmonte, Asturias). [Unpublished doctoral dissertation]. Universidad de Oviedo.
- Cepedal, A., Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A., González-Nistal, S., & Rodríguez-Pevida, L. (2006). Tellurides, selenides and Bi mineral assemblages from the río Narcea gold belt, Asturias, Spain: genetic implications in Cu-Au and Au skarns. *Mineralogy and Petrology*, 87, 277-304. <https://doi.org/10.1007/s00710-006-0127-7>
- Cepedal, A., Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A., García-Nieto, J., & Boiron, M. C. (2013). An intrusion-related gold deposit (IRGD) in the NW of Spain, the Linares deposit: igneous rocks, veins and related alterations, ore features and fluids involved. *Journal of Geochemical Exploration*, 124, 101–126. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.08.010>
- Chapman, R. J., Banks, D. A., Styles, M. T., Walshaw, R. D., Piazzolo, 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. <https://doi.org/10.1007/s00126-020-01036-x>
- 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.
- González-Nistal, S., Álvarez, R., Ordóñez, A., & Loredó, J. (2020, June 21-16). Occurrence of detrital monazite within the Esva watershed (NW Spain): EPMA dating and REE geochemistry. [Conference Presentation] *Goldschmidt Virtual 2020*. <https://doi.org/10.46427/gold2020.860>
- González-Nistal, S. (2023). Investigación de recursos minerales en la cuenca hidrográfica del río Esva. [Unpublished doctoral dissertation]. Universidad de Oviedo.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104640>
- 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.
- Martín-Izard, A., Cepedal, A., Fuertes-Fuente, M., Reguilón, R., Pevida, L., Spiering, E., González, S., Varela, A., & Maldonado, C. (1998). Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España. *Boletín Geológico y Minero*, 109, 57-75.
- Martín-Izard, A., Fuertes-Fuente, M., Cepedal, A., Moreiras, D., Nieto, J. G., Maldonado, C. & Pevida, L. R. (2000a). The Río Narcea gold belt intrusions: geology, petrology, geochemistry and timing. *Journal of Geochemical exploration*, 71, 89-101. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(00\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(00)00148-5)
- Martín-Izard, A., Paniagua, J., García-Iglesias, J., Fuertes-Fuente, M., Boixet, L., Maldonado, C., & Varela, A. (2000b). The Carles copper–gold–molybdenum skarn (Asturias, Spain): geometry, mineral associations and metasomatic evolution. *Journal of Geochemical exploration*, 71, 153-175. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(00\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(00)00150-3)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.02.011>
- Rubio, A. (2010). Magmatismo Neoproterozoico en el antiformal del Narcea. [Unpublished doctoral dissertation]. Universidad de Oviedo.
- Spiering, E. D., Pevida, L. R., Maldonado, C., Gonzalez, 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, 103-117. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(00\)00147-3](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(00)00147-3)
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF00225393>
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. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.11.003>