

TORDELÁBANO

UN YACIMIENTO DE GOETHITA CRISTALIZADA

■ En algunos puntos de los sedimentos triásicos de las proximidades de Tordelrábano (Guadalajara), se localizaron desde los años 80 unas llamativas geodas de carbonato tapizadas por cristales aciculares de goethita, de hasta 2 cm de longitud. En este trabajo se revisa el entorno geológico del yacimiento y se describe la goethita desde el punto de vista mineralógico.

Autores:

Miguel CALVO (*)

Juan VIÑALS ()**

Gonzalo GARCÍA (*)**

(*) Museo de Ciencias Naturales de Álava (Vitoria) ; (**) Dpto. Ingeniería Química y Metalurgia. Univ. de Barcelona ; (***) Bocamina

INTRODUCCIÓN

LAS geodas con goethita y hematites de Tordelrábano aparecieron por primera vez en el mundo del coleccionismo de minerales en la década de 1980.

El primer hallazgo tuvo lugar en el contexto de las prácticas de campo de la asignatura de Estratigrafía del tercer curso de los estudios de Ciencias Geológicas. Estas prácticas consistían en la cartografía, estudio estratigráfico y estructural de una pequeña zona. La actividad iba tutelada por un profesor, que acompañaba a los alumnos en la primera salida y les apoyaba durante la realización del estudio. La zona de Tordelrábano fue asignada al grupo de alumnos formado por Fernando Palero, Javier Fernández Casals y Lola Parra del Río, bajo la supervisión del profesor Sopeña, que había realizado su Tesis sobre la zona norte de Guadalajara.

La presencia de nódulos carbonatados, tanto compactos como geódicos, es un hecho común en los sedimentos triásicos, por lo que no llaman excesivamente la atención. Normalmente los que son geódicos suelen tener algunos cristallitos de calcita y cuarzo, pero lo más corriente es que sólo resulten llamativos por el hecho de ser huecos.

Naturalmente la sorpresa vino cuando se encontraron los nódulos, no solamente huecos, sino bellamente tapizados por goethita y hematites cristalizados,



Vista parcial de una geoda: grupos de cristales prismáticos de goethita sobre calcita, y conjuntos esféricos de hematites (submilimétricos). Encuadre de 20 mm. Colección y foto: F. Piña.

aún sin conocer en un primer momento la identidad del mineral que formaba aquellos llamativos cristales. Los alumnos recogieron algunas muestras y la profesora Doval ofreció a Fernando Palero la determinación de la especie por difracción de rayos X. Tras una laboriosa tarea de selección, molienda y revisión de tablas, se determinó la especie, a pesar de algunos problemas derivados de la orientación de los cristales por su carácter acicular.

Con la especie bien caracterizada, comenzó una pequeña comercialización de muestras en el Rastro de Madrid, a través de Pascual Pareja y Manuel de Torres. Ejemplares de estas geodas con la procedencia de "Atienza" pudieron verse con cierta frecuencia en diversas ferias de minerales de España, clasificados y comercializados como geodas de goethita, que era el mineral principal.

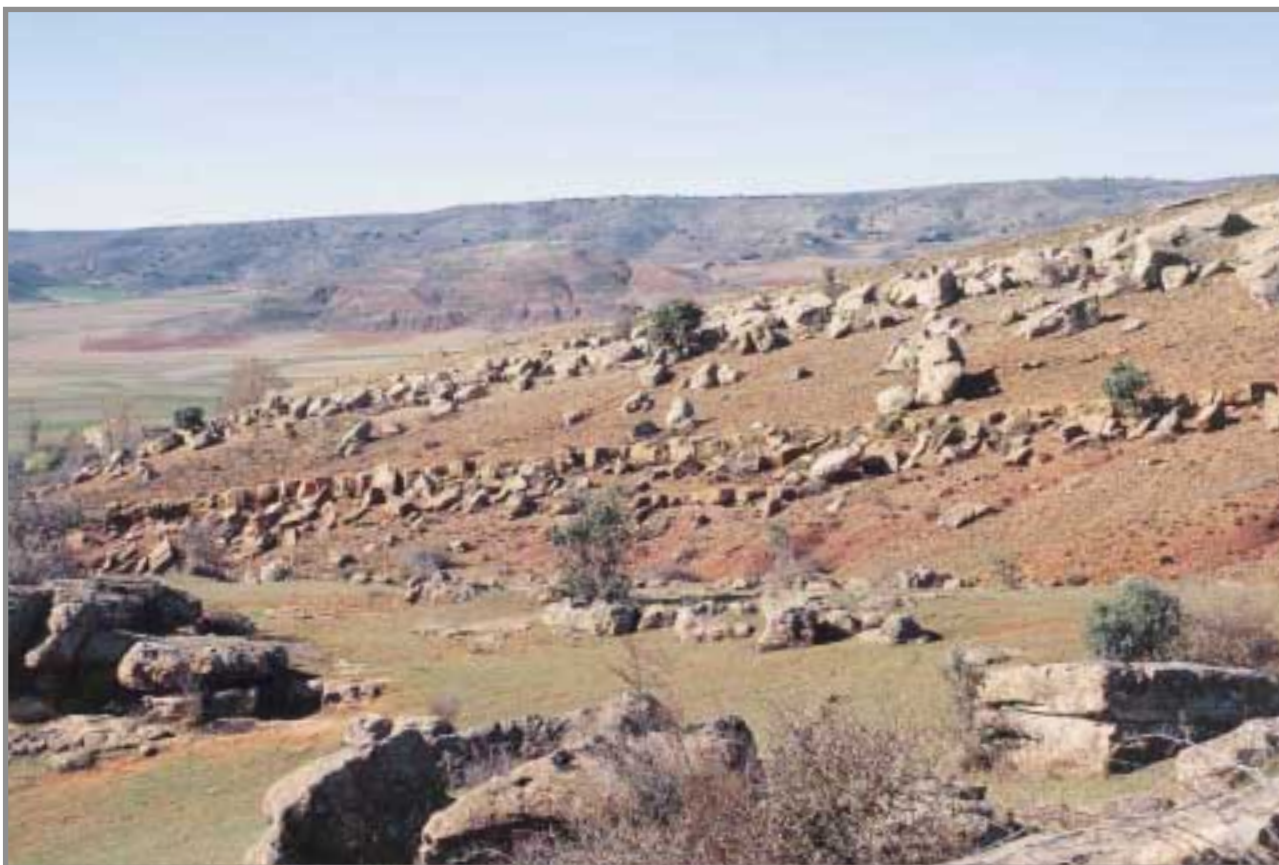
Aunque la goethita suele presentarse con un aspecto macroscópico generalmen-



Vista general de Tordelrábano, desde el sureste. Al fondo se observa el suave relieve de carniolas y dolomías de la transición del Trias al Jurásico. Foto: G. García, 2002.

ABSTRACT

The Triassic sediments in the proximity of Tordelrábano (Guadalajara) locally host some fine cavities with carbonates. These are coated with goethite acicular crystals up to 2 cm in length. This work discusses their mineralogical features and summarizes the confusion and circumstances surrounding their discovery back in the 1980's.



Vista general de una de las zonas del yacimiento. Entre las barras fragmentadas de areniscas, los niveles de limolitas rojas y verdes contienen los nódulos mineralizados. Al fondo se aprecia el suave relieve del Keuper en las laderas, cubierto por las carniolas y dolomías jurásicas. Foto: G. García, 2002.

te diferente (costras, masas globulares o fibrosoradiales, irisadas o no), la simple inspección de los ejemplares con una lupa de mano y a la vista de la translucencia en marrón amarillento de las partes más delgadas de los cristales, y sobre todo el color de la raya sobre una placa de porcelana, hacía que se diferenciaron muy fácilmente de otros óxidos de hierro, y en particular de la hematites. Aunque la goethita es un mine-

ral muy común, los cristales bien formados y visibles a simple vista son bastante raros. En la mina de hierro de La Arboleda (Vizcaya), se han encontrado cristales diminutos (<1 mm) sólo en contadas ocasiones (Calvo et al, 1993). En las minas de Cala (Huelva), cristales de goethita comparables en tamaño y calidad a los de Tordelrábano han podido observarse en fisuras rellenas de carbonato de la fracturación de la mag-

netita masiva. Una difracción de rayos X realizada en 1997 en el Laboratorio de la Escuela de Minas de Madrid confirmó nuevamente la especie. Sin embargo, y a pesar de los casi veinte años transcurridos, el primer artículo sobre estas geodas aparece publicado en 1998 (Calvo, 1998).

En el trabajo publicado por Calvo se describe la localización del yacimiento, su ubicación geológica y, especialmente, su



Esquema geológico de la zona del yacimiento. Hoja 434 (Barahona) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (IGME). La trama rosa de la parte inferior son las areniscas y arcillas (facies de borde) del Buntsandstein, en cuyo tramo superior se han encontrado las geodas.



mineralogía. El mineral más interesante que se describe incluyendo la morfología cristalina es la goethita (FeOOH), como cristales, normalmente de 1 mm – 5 mm, con hábito tabular, alargados y dispuestos en grupos implantados sobre los cristales de carbonatos que tapizan el interior de las geodas. El color marrón muy oscuro (casi negro) de estos cristales contrasta con el blanco de la matriz lo que convierte estas geodas en unos ejemplares muy atractivos. Los cristales más pequeños, son completamente transparentes y de color marrón más claro. También se indica la presencia de pequeños agregados laminares (menores de 1 mm) de cristales de hematites (Fe_2O_3), aislados o bien implantados sobre cristales de goethita. Su color es negro brillante con translucencia roja oscura.

Casi simultáneamente se publicó un extenso trabajo mineralógico y genético sobre estas geodas (Bustillo et al., 1999). Dicha investigación incluye una extensa descripción geológica del área, un detallado estudio estructural y composicional de los minerales de las geodas, así como una determinación de las composiciones isotópicas de carbono y oxígeno en los carbonatos. En base a lo anterior, se propone y discute un modelo genético para las geodas. En referencia a las especies mineralógicas descritas y su composición, destaca la

Cristales de goethita de 10 mm de longitud. Obsérvese la transparencia marrón propia de la goethita (la hematites es roja). Colección y foto: Manuel de Torres.



Grupos cristalizados de goethita desarrollados en el interior de una geoda de 5 cm de diámetro. Colección: A. F. Cutillas y M. de la Torre. Foto: F. Piña.

identificación de los cristales laminares como hematites (“hematite laths”), la explicación de su morfología como si el mineral perteneciera a la clase de simetría 32/m a partir de fotografías de SEM, y su afirmación acerca de la presencia de un excepcional y alto contenido en oro (0.24 % – 0.71%) en la red de este óxido de hierro.

El presente trabajo consiste en una revisión geológica del yacimiento y en una nueva caracterización mineralógica y composicional del material previamente identificado *de visu*. Entre otros aspectos, se trata de clarificar si los cristales son efectivamente goethita, o hematites de un hábito inusual, o bien existe un reemplazamiento que origina pseudomorfosis.

Por otra parte, se ha realizado un estudio composicional de estos óxidos para, en su caso, confirmar si los altos contenidos de oro que han sido publicados, son generales en todas las geodas del yacimiento.

LOCALIZACIÓN

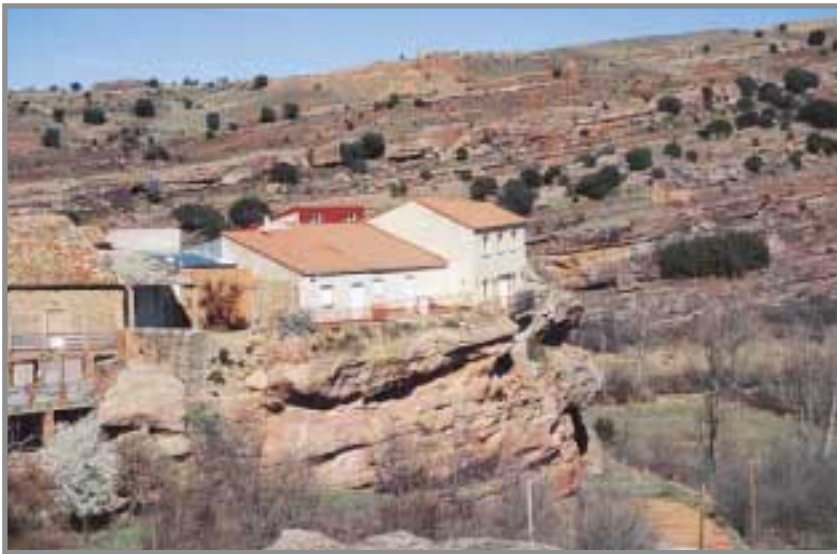
Tordelrábano es un pequeño pueblo ubicado entre las localidades de Alcolea



El río Alcolea baja desde la mancha paleozoica que se encuentra al Sur de esa localidad, excavando su cauce entre las areniscas y arcillas del Buntsandstein (capas duras del fondo de la fotografía) y las margas, calizas dolomíticas y arenas del Muschelkalk (planicie del primer plano de la imagen). Foto: G. García, 2002.

de las Peñas y Paredes de Sigüenza, 12 km al suroeste de Barahona, que da nombre a la Hoja del Mapa Geológico de España, nº 434. El acceso desde Atienza (175 km desde Madrid por la N-II) es rá-

pido y cómodo, tomando la desviación hacia Cincovillas y continuando 4 km por la carretera hasta el desvío que entra a Tordelrábano, bien señalizado. Desde el pueblo se accede en dirección sureste



Vista parcial del pueblo de Alcolea de las Peñas, construido sobre las areniscas y arcillas del Bunt (Triás Inferior). Obsérvense las superficies de erosión sobre las areniscas. Foto: G. García, 2002.

hacia el afloramiento donde se han identificado las geodas, emplazado en materiales arcillosos y areniscos del Buntsandstein (Triás Inferior), que corresponde a una antigüedad de unos 245 millones de años. El relieve es suave, aunque el propio Bunt forma localmente algunos escarpes de notable verticalidad, como en la localidad de Alcolea de las Peñas, a solo 2 km de Tordelrábano.

ENCUADRE GEOLÓGICO

A nivel regional, el yacimiento se encuentra en la mancha mesozoica del cuadrante suroeste de la hoja 434 (Barahona), en contacto con los afloramientos silúricos y devónicos que asoman entre Alcolea de las Peñas y Riba de Santiuste. Dichos materiales, pizarras, cuarcitas y calizas, son los más

orientales del estrato cristalino del sistema hercínico. A 10 km al Norte del yacimiento, se encuentra el contacto con los conglomerados y derrubios del Mioceno, con una importante extensión Este-Oeste.

El Triásico, discordante sobre el Paleozoico, está bien representado en sus facies detríticas (Buntsandstein) que pasan a techo a las dolomías y margas del Muschelkalk. Los yesos y arcillas coloreadas del Keuper destacan en todo el relieve suave de Sierra Mediana, paralela a la carretera Atienza-Barahona, cuyos Picos Sierra y Calvario (1198 m y 1150 m respectivamente) coronan su estratigrafía con niveles de carniolas y dolomías del Jurásico. En estas laderas, y en una banda de unos 3 km de ancho, pueden aparecer los clásicos aragonitos y jacintos de compostela entre las margas y yesos de la facies Keuper, tan popular y conocida para los amantes de la mineralogía.

Es mencionable el vulcanismo andesítico del Oeste de Atienza, y la relativa proximidad de yacimientos metálicos de gran importancia en el pasado como Hiedelencina-La Boderá (a 20 km en dirección suroeste) o La Nava de Jadraque (a 35 km en dirección SO), como rasgos básicos de una actividad epitermal asociada a fracturas, de alto interés minero hasta comienzos del siglo XX.

El Bunt y el Muschelkalk presentan cambios de facies y de potencia, haciéndose más estrechos y detríticos de Este a Oeste (IGME, 1978). El primero está representado por depósitos fluviales y el segundo por dolomías marinas con arcillas.

EL YACIMIENTO

El yacimiento de geodas se localiza concretamente en el horizonte superior del Buntsandstein, en una litología de areniscas y arcillas, con lechos o pasadas de conglomerados y que se extiende a lo largo de más de 80 km² con una potencia variable entre 30 m y 100 m (Bustillo et al, 1999), o bien 40 m a 60 m (IGME, 1978), lo que constituye en cualquier caso unas enormes expectativas de presencia de geodas en otros puntos del afloramiento. Marfil et al (1998), señalan la presencia de nódulos calcáreos y silíceos en la zona superior del Bunt, confirmando el carácter no puntual de las geodas. También Bustillo et al (1999) indican sobre un plano modificado de Sopena y Sánchez Moya (1997) el hallazgo de geodas incluso a 4 kilómetros al Este del primer punto de aparición (en las



Grupo de cristales de goethita sobre romboedros de calcita. Colección. G. García. Foto: F. Piña.



Otro ejemplo de la traslucidez parda de los cristales aciculares de goethita. Con suficiente aumento, pueden observarse las fuertes reflexiones internas rojas de los minúsculos grupos de hematites, que con mucha frecuencia es el único mineral metálico que aparece en las geodas. Colección y foto: F. Piña.

cercanías de Tordelárbano), con lo que se descarta la vulnerabilidad del yacimiento a la actividad de recogida de muestras por parte de aficionados y coleccionistas, que más adelante se volverá a aludir. Sólo considerando la superficie registrada y sin necesidad de excavación, estamos hablando de una banda de 20 hectáreas, donde las geodas potencialmente mineralizadas se podrían contar por decenas de miles.

El estrato portador aflora a lo largo de 20 hectáreas, de forma que las geodas podrían contarse por decenas de miles

El tramo portador de las geodas está constituido por areniscas feldespáticas en estratos de 1 m a 2 m de potencia, que intercalan niveles de limolitas rojas con pasadas verdes, con espesores entre 1 m y 3,5 m (IGME, 1978). El análisis mineralógico arroja una composición entre el 36 % y el 49 % de cuarzo, entre 2 % y 47 % de feldespatos, 3 % de accesorios, 5 % de cemento ferruginoso y caolín y sericita en torno al 6 % (IGME, 1978).

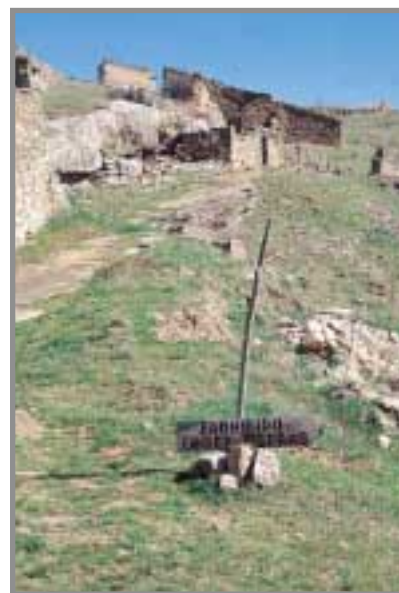
La geomorfología del yacimiento se caracteriza por un relieve suave de areniscas y arcillas en series alternantes y pequeña inclinación. La erosión ha actuado con mayor eficiencia sobre las limolitas, desmantelando su afloramiento y dando lugar

a resaltes horizontales de las areniscas, que terminan por constituir barras fragmentadas de gran continuidad lateral. Estas arcillas, a su vez, alternan tonalidades verdosas y rojizas, característica de una ritmicidad recurrente en la química de sedimentación. Sobre las areniscas se reconocen estratificaciones cruzadas

y granoselección, y la erosión ha ido lamando los estratos de arenisca con particular efectividad, aislando fragmentos y configurando un paisaje de singular belleza. Los arroyos y otras escorrentías menos enérgicas han ido trazando pequeños cursos de agua por la zona, secos en la estación cálida. El presente estudio no ha alcanzado en su muestreo la totalidad de la superficie aflorante del estrato mineralizado.

LAS GEODAS DE GOETHITA

Las geodas, de origen diagenético, tienen como precursor nódulos de anhidrita, mineral que de forma residual permanece como inclusiones en el cuarzo y en los carbonatos (Bustillo et al, 1999). La anhidrita



Al inicio del sendero que conduce al afloramiento, las autoridades municipales advierten de la prohibición expresa de "coger piedras". Un ejemplo de protectionismo extremo sin fundamento objetivo. Foto: G. García.

sería reemplazada por carbonatos y posteriormente silicificada, produciéndose después la entrada de los fluidos férricos que originaron la mineralización metálica. Otra generación de cuarzo y calcita se po-



Contacto del tramo superior de Bunt (estrato del yacimiento) con las arcillas del tramo medio (sin geodas). Foto: G. García, 2002.



Estratificación cruzada en las barras de areniscas del estrato mineralizado. Foto: G. García, 2002.

ne de manifiesto por su absoluta transparencia y por el hecho de incluir goethita y hematites. En nuestra opinión, el hierro procede del cemento ferruginoso de la capa y sería la circulación de aguas la que controlaría la presencia o no de goethita y hematites.

Los nódulos están repartidos a lo largo de las capas arcillosas, en varias de las cuales se han reconocido. El tamaño es variable entre 1 cm y 15 cm, excepcionalmente mayores, si bien el 80 % de los nódulos oscila entre 4 cm y 8 cm. Su distribución en las capas parece aleatoria, pero carecemos de información para establecer criterios.

Los nódulos no son esféricos. Por lo general tienen formas achatadas llegando a ser discoidales, con una textura exterior irregular y basta. Los carbonatos, que son su principal constituyente, son de color blanquecino, pero tienden a aparecer teñidos del óxido que le rodea. No siempre sucede así ya que pueden recogerse nódulos muy limpios conservados en arcilla verde (con hierro, pero sin oxidar). La luz o tamaño de la cavidad interior de estos nódulos es muy variable, llegando en los casos más desfavorables a estar completamente cerrada, atrapando los cristales de goethita, cuando los hay.

En la fractura del nódulo, se observan con frecuencia cristales perfectos de cuarzo, débilmente ahumado, que llegan a asomar por el interior de la cavidad. Sin embargo, el mineral principal que tapiza la geoda son la calcita y dolomita en cristales romboédricos y trapezoédricos, de algunos milímetros de arista. La hematites aparece, cuando lo hace, en pequeños grupos aislados de 1 mm o menores, de forma esférica, con fractura laminar y mostrando fuertes reflexiones rojas bajo una luz intensa. Otras veces se aprecian las aristas de los cristales y contornos he-



Cristales de goethita de hasta 2 cm, sobre una geoda teñida por óxidos de hierro. Colección: A. F. Cutillas y Marisol de la Torre. Foto: F. Piña.



Profusión de grupos radiales de goethita. Algunas geodas presentan una gran abundancia de cristales, llegando a cruzarse entre sí y desprendiéndose al partir el nódulo. Colección y foto: F. Piña.



Otra vista general de una parte del yacimiento, con el pueblo de Tordelálabano al fondo. El pequeño regato que discurre por la ladera ha liberado y lavado cierta abundancia de nódulos, que en su mayor parte han sido ya recuperados por los coleccionistas. Foto: G. García, 2002.

xagonales. No acompaña necesariamente a la goethita y son muy comunes las geodas en las que el único mineral metálico son los grupitos de cristales laminares de hematites.

La goethita viene a aparecer sólo en un 20 % - 25 % de los nódulos que se prospectan. El mineral se presenta en haces radiales de cristales aislados que alcanzan el centímetro, y excepcionalmente mayores. Otras veces se disponen sobre las aristas de los cristales de calcita, mostrándose aéreos. Su marcada forma entre acicular y tabular permite el paso de la luz a su través, mostrando por transparencia un homogéneo color marrón que tiende al amarillo en los bordes más finos. Sus caracteres físicos concuerdan con las propiedades correspondientes a la especie. La terminación de los cristales, con independencia de su tamaño, puede ser recta, con una faceta, o notablemente lanceolada, llegando a terminaciones muy irregulares y curviformes. Exteriormente son muy brillantes, e indudablemente los especímenes más finos son aquellos en los que el mineral se reúne en pequeños haces fuertemente contrastados con la calcita blanca. Con alguna frecuencia sucede que óxido filtrado desde la arcilla tiñe a ésta, y el ejemplar pierde contraste. Este hecho



Formas erosivas típicas sobre la arenisca. Se observan pequeñas venas paralelas a la estratificación rellenas por carbonato y cuarzo. Los niveles de arenisca no contienen nódulos. Foto: G. García, 2002.

no tiene porqué suceder en la totalidad del nódulo, siendo normal la aparición de geodas con una parte oxidada y otra no. Sobre algunos cristales puede observarse un fino polvo anaranjado, que atribuímos a residuos arcillosos, y las alteraciones de la goethita, mineral muy estable, suelen li-

mitarse a una pérdida del brillo externo. Incluso en las geodas en que la corrosión de la calcita es más intensa y penetrativa, la goethita puede mostrar un brillo excepcional. Algunos cristales de goethita muestran un brillo acharolado impactante, tal como si estuvieran húmedos. Las caras



Bloque de arenisca aislado y redondeado por efecto de la erosión, con estratificaciones cruzadas hacia la base. Foto: G. García, 2002.



Entre las areniscas y arcillas del Buntsandstein son frecuentes las pasadas de conglomerados, como se aprecia en la imagen. Foto: G. García, 2002.



Las geodas tienen una forma achatada y solamente un 20 % aproximadamente están huecas y mineralizadas. Foto: G. García.



Enclave típico de aparición de nódulos. La acción erosiva del arroyo tiene un alcance incomparablemente mayor al que pudiera tener una actividad de recogida por coleccionistas. Foto: G. García, 2002.

laterales de mayor desarrollo corresponden al prisma de 3ª especie y las menores al de 2ª. En algunos casos se pueden apreciar en las esquinas caras extremadamente diminutas del prisma de 1ª especie (Calvo, 1998).

En algunos ejemplares se ha observado la presencia de inclusiones de hematites en cristales hexagonales dentro de los romboedros de calcita. Otros grupos de hematites tienen una estructura francamente radial, y muy ocasionalmente configuran auténticas rosas de hierro de tamaño submilimétrico. Algunos agregados de hematites están recubiertos por un mineral globular blanco de pequeñísimo tamaño y por prismas de goethita de terminación recta y muy delgados, con perfecta translucencia marrón. Existe en algunos nódulos una posible alteración, parcial o no, de la hematites a goethita o lepidocrocita(?), una especie de color marrón-rojizo brillante, totalmente diferente del hematites fresco, hasta constituir pseudomorfosis completas sobre algunos cristales aislados de contorno hexagonal. A veces se forma un pátina metalizada de aspecto dorado. Estos grupos coexisten con hematites que muestran sus típicas reflexiones rojas intensas y goethita acicular y laminar lanceolada. Algunos grupos de hematites que se desprenden de la calcita dejan una cavidad o huella en forma de semiesfera excavada en la calcita, con una aureola residual. La estructura de algunas de ellas es concéntrica, y en muchos casos están huecas.

En relación a la calcita, son muy frecuentes las calcitas trapezoédricas (dientes de perro con la punta sustituida por una terminación compleja) en cristales escalonados con óxidos de hierro en las aristas, a modo de gérmenes de lo que constituirá un zonado en otros cristales.



Grupos de goethita de Tordelábarano. A estos cristales se les ha asignado un contenido en oro de hasta 7.000 ppm (Bustillo et al, 1999). En el presente estudio no han podido confirmarse semejantes valores. Encuadre de 20 mm. Colección: A. F. Cutillas y M. de la Torre. Foto: F. Piña.

Otras veces estos dientes de perro están absolutamente limpios de óxido, aún en presencia del posible mineral de alteración del hematites. Algunas veces los romboedros son completamente incoloros, permitiendo apreciar doble refracción del contorno de sus inclusiones, y mostrando un pequeño truncamiento del vértice triedro obtuso. Son muy frecuentes las corrosiones sobre la calcita, deformando facetas y originando nebulosas blanquecinas que afectan al cristal. También se han observado crecimientos en tolva. Han podido verse algunas geodas con nódulos esféricos de calcita, exteriormente acabados con aristas curvas de grupos de romboedros, de color blanquecino y hasta 5 mm de diámetro.

Se han observado pequeñas dendritas de supuesta pirolusita sobre las facetas de cristales corroídos de calcita.

En relación a los cuarzos que asoman por el interior de la cavidad, no en todos los casos es evidente su conexión con la



Nódulo de pequeño tamaño con la típica forma discoidal *in situ*. Foto: G. García, 2002.

cáscara sílicea externa, y en los cristales más transparentes pueden observarse inclusiones tanto de hematites como de go-

ethita, lo que indica que algunos de estos cuarzos son de génesis posterior al de la cubierta.



Las geodas de Tordelárbano fueron inicialmente nódulos de anhidrita, que se reemplazaron por carbonato y se silicificaron antes de que cristalizaran las goethitas y hematites. El contacto entre la costra silicea y el relleno de carbonato queda bien patente por un cambio de color del material. Los cuarzos que eventualmente asoman por el interior de la geoda constituyen una generación diferente, ya que incluyen cristales de goethita y hematites. Ejemplar de 50 mm. Colección y foto: F. Piña.

ESTUDIO MINERALÓGICO

MATERIALES Y MÉTODO

Dada la absurda prohibición de recoger muestras en el propio yacimiento, se han utilizado para este estudio 15 geodas de 1 cm - 5 cm de diámetro, suministradas por el Museo de Ciencias Naturales de Álava de sus colecciones de reserva y recogidas en el yacimiento de Tordelárbano en 1998. Todas las geodas

se inspeccionaron al binocular, comprobándose la ausencia (aparente) de alteración en los óxidos de hierro que contenían.

La observación microscópica se efectuó mediante óptica de luz reflejada (secciones pulidas) y mediante microscopía electrónica de scanning (SEM) tanto sobre secciones pulidas como sobre muestras montadas directamente. Las muestras para SEM fueron recubiertas con carbono. El equipo utilizado fue un Jeol S-840 operando a 15 kV. La observación de las muestras montadas di-

rectamente, se realizó mediante señal de electrones secundarios (SE) (contraste topográfico). En las muestras pulidas se utilizó la señal de electrones retrodifundidos (BSE) (contraste composicional).

Los cristales de goethita fueron examinados por difracción de rayos X. Se seleccionaron, bajo binocular, unos 10 cristales de 1 mm - 2 mm, libres de cristales de hematites adheridos. Se utilizó el método del polvo en capilar. El equipo utilizado fue un INEL CPS-120 (geometría

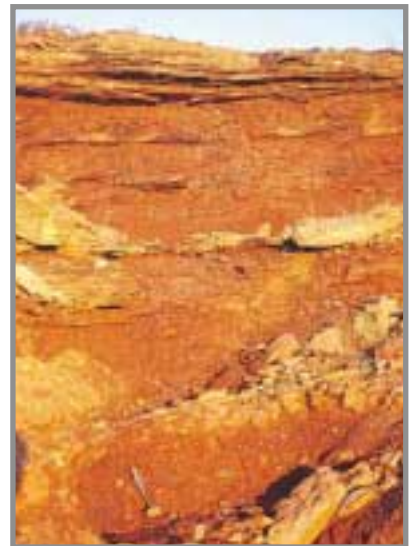
Debye-Scherrer) con radiación Cu K α .

La conversión de canales (4096 de medida en el detector) en ángulos 2 θ se efectuó por calibración utilizando

NAC como patrón externo y software PEAKOK(INEL).

La composición química de los cristales de "goethita" y hematites fue determinada por microsonda electrónica (EMPA) en un equipo CAMECA SX50, operando a 20kV y 20 nA. Se utilizó el banco de patrones de los Servicios científico-técnicos de la Universidad de Barcelona.

La identificación de la goethita no es complicada si se observan los cristales con una lupa de bolsillo



Detalle del enclave de la foto de la página 36 en 1998, antes de que se estableciese la prohibición de recoger "piedras". Comparando ambas, es evidente que no se produjo ningún deterioro que justificase la medida. El propio objeto de la prohibición, genéricamente "piedras", revela su gran discrecionalidad. Foto: G. García, 1998.

La determinación de oro se efectuó mediante Espectroscopía de Masas con Plasma de Inducción Acoplado

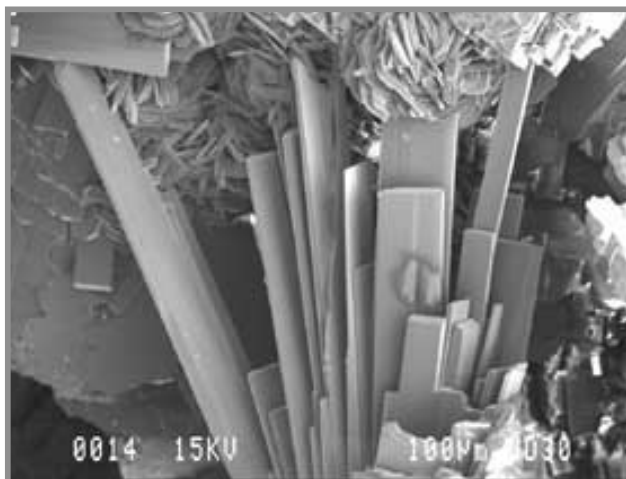


Figura 3: Imagen SEM de un grupo de cristales de goethita.

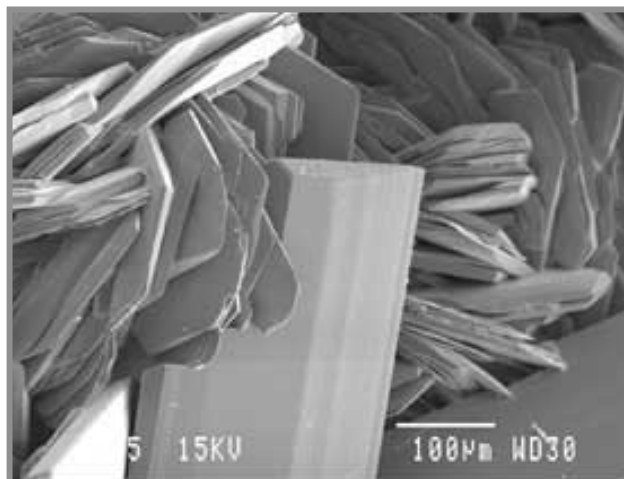


Figura 4: Imagen SEM (SE) de cristales laminares de hematites sobre goethita.

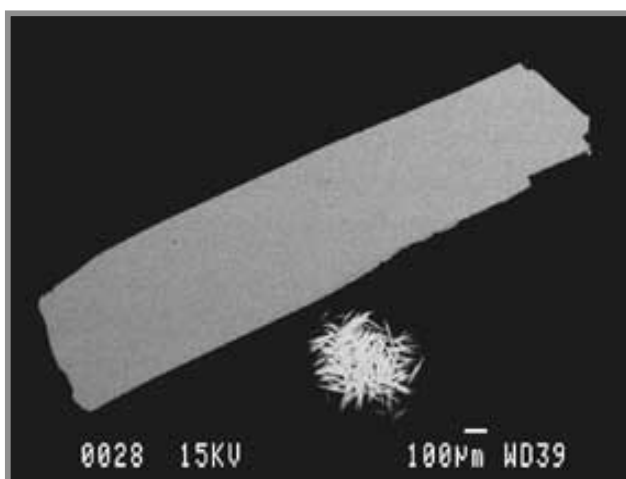


Figura 5: Sección pulida de un cristal de goethita (centro) y un grupo de cristales de hematites (parte inferior). Imagen SEM (BSE).

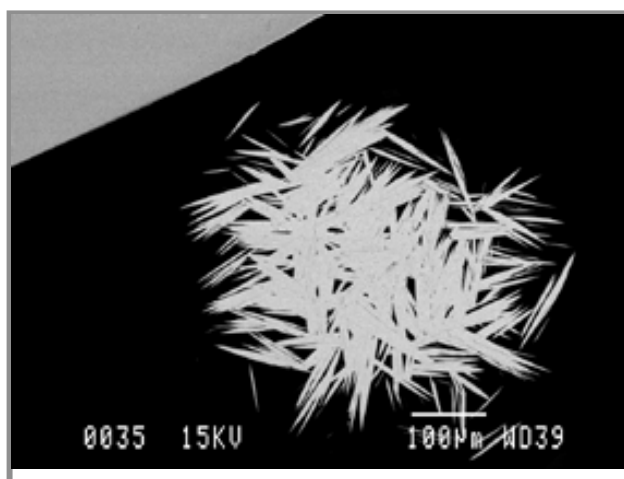


Figura 6: Detalle de una sección pulida de hematites. Imagen SEM (BSE).



Grupo de cristales de goethita de terminación recta, de 7 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Haz de cristales de brillo acharolado, implantados sobre calcita teñida de óxido. Encuadre de 10 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.

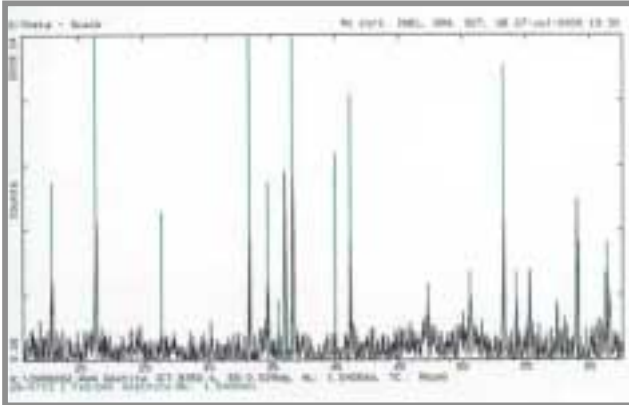


Figura 1: Espectro de difracción de rayos X de la goethita.

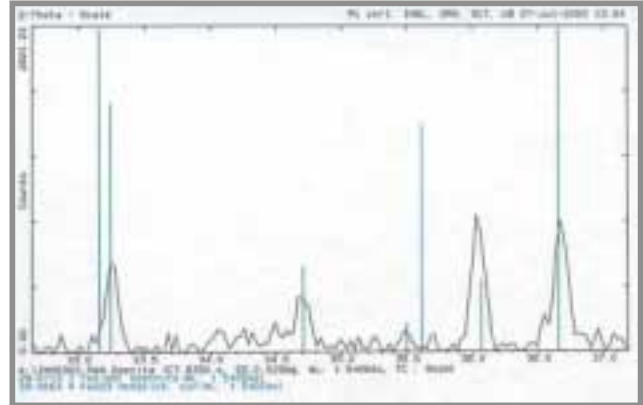


Figura 2: Espectro en la región 33° - 37° 2θ



Haz brillante de goethita, con pequeñas esferas de hematitas sobre calcita romboédrica. Escuadre de 10 mm. Colección y foto: F. Piña.



Los ejemplares resultan tanto más estéticos cuanto más limpia y blanca es la calcita de relleno, realzando el contraste. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Cristales laminares de goethita, de 12 mm de longitud. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Grupo radial de goethita. Encuadre de 20 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Grupo de cristales laceolados de goethita. Encuadre de 10 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Cristales lanceolados y brillantes de goethita, de 8 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.

(ICPMS). El equipo utilizado fue un PERKIN ELMER (ELAN-6000). Para esta determinación, se seleccionaron alrededor de 50 cristales, conteniendo tanto goethita como hematites. Se procedió a su disolución en agua regia y el líquido resultante fue analizado.

RESULTADOS

La figura 1 muestra el espectro de difracción de rayos X de la supuesta goethita, confirmando que es efectivamente este mineral. Una inspección detallada (Fig. 2) del intervalo 2θ entre 33° y 37° , donde se ubicarían picos intensos de hematites, revela la ausencia de dicha fase.

La figura 3 muestra una imagen SEM (SE) de la goethita. Se aprecia su disposición en cristales de hábito tabular [010] y alargado [001]. Ocasionalmente, los cristales de goethita están parcialmente recubiertos de agregados de cristales de hematites.

La hematites presenta también un hábito tabular [0001] con formas romboédricas [1010] muy poco desarrolladas (Fig. 4). La figura 5 muestra una imagen SEM (BSE) de un cristal de goethita y un pequeño agregado de hematites. Se observa el contraste composicional entre la goethita (mas oscura) y la hematites (mas clara).



Grupos traslúcidos de goethita sobre calcita. Encuadre de 20 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.

Sin embargo, no se observa ningún contraste composicional en el interior de los cristales de goethita ni en los de la hematites (Fig. 6), lo que indica la ausencia de inclusiones y que los cambios de composición que pueda haber dentro de los cristales son, en su caso, muy pequeños.

La tabla 1 ofrece los resultados de microsonda electrónica correspondientes a

12 análisis puntuales. La composición química es concordante con los contenidos teóricos de Fe en cada caso. No se detectan elementos minoritarios excepto la presencia de alrededor 0.1% de Si en la hematites y valores de 0.06 - 0.07% Co en ambos óxidos. El contenido de oro, tanto en la goethita como en la hematites, es menor que el límite de detección de esta técnica. En las condiciones instrumentales utilizadas, el límite de detección del Au fue determinado, resultando el 0.01%.

El trabajo de Bustillo et al (1999), aparte de la inexplicable confusión de la goethita con hematites, establece unos contenidos en oro que, o bien son el resultado de un proceso muy localizado, di-

Tabla 1. Resultados de microsonda electrónica

	hematites	goethita
% Fe	68.31 (68.60 – 68.15)	60.65 (60.85 – 60.34)
% Si	0.11 (0.16 – 0.07)	0.03 (0.04 – 0.02)
% Co	0.07 (0.074-0.067)	0.06 (0.065 – 0.061)
% Au	<0.01	<0.01



Cristales de terminación recta, con grupos de hematitas sobre la calcita. Encuadre de 10 mm. Colección y foto: F. Piña.



Grupo en abanico de cristales de goethita, con terminaciones lanceoladas. Encuadre de 15 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.

fácil de concebir en una hipótesis genética de tan amplia cobertura como el epitermalismo de Hiendelaencina y Nava de Jadraque, o, lo que resulta más probable, es fruto de un error instrumental.

CONCLUSIÓN

El yacimiento comentado tiene relevancia mineralógica por las goethitas cristalizadas que se encuentran. El desmonte progresivo por meteorización de la capa que alberga los nódulos, y la natural rodadura de estos hacia las zonas bajas, donde a su vez son lavados por el agua, facilita su identificación y recogida. Por otra parte, este tipo de formación sedimentaria ofrece unas expectativas de continuidad al yacimiento que no tienen otros, lo que garantizaría que, con los medios adecuados, pudieran recuperarse nuevos ejemplares en el futuro. Lamentablemente, las autoridades locales decretaron la prohibición de la recogida de estos nódulos en tanto no fuera determinada la naturaleza de este yacimiento, prohibición que fue contestada por el Grupo Mineralogista de Madrid sin ningún éxito. Esta asociación visitó el yacimiento en 1998, con gran éxito de participación, y siendo posible recuperar abundantes ejemplares para el coleccionismo.

Sería deseable que en breve se tenga en consideración el carácter casi inagotable del yacimiento y, ante la evidencia, se levante por la municipalidad de Tordelrábano la restricción tan absurdamente establecida.



Perfecta transparencia de los cristales de goethita. Encuadre de 15 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Museo de Ciencias Naturales de Álava la financiación para la realización de este trabajo. Asimismo, desean dar las gracias a los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona y al Laboratorio Centralizado de la Escuela de Minas de Madrid por su colaboración en las técnicas instrumentales de SEM, XRD, EMPA y ICPM. Fernando Palero nos orientó en los antecedentes y en la geología, y nos mostró el yacimiento en diciembre de 1997.

BIBLIOGRAFÍA

BUSTILLO, M. A., GARCÍA GUINEA, J., MARTÍNEZ FRÍAS, J., DELGADO, A. (1999). "Unusual sedimentary geodes filled by gold-bearing hematite laths". *Geol. Mag.* 136 (6), 671-9.

CALVO M. (1999). "Cristales de goethita en geodas de calcita y cuarzo en Tordelrábano (Guadalajara)". *Revista de Minerales*, 7 (2), 111-3.

IGME (1982). "Mapa Geológico de España E. 1:50.000". Hoja geológica y memoria explicativa N° 434 (BARAHONA). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

