

Contribución petrográfica sobre la roca encajante del larimar (República Dominicana) y algunas anotaciones sobre su origen

G. E. Alvarado⁽¹⁾, E. Verdeja^(2,3), J. Rodríguez^(3,4) y M. Barrantes⁽¹⁾

(1) Instituto Costarricense de Electricidad
galvaradoi@ice.go.cr; mbarrantesv@ice.go.cr

(2) EVER, Ingeniería Geológica SRL, Santo Domingo, República Dominicana
ever@claro.net.do; ever@codetel.net.co

(3) Sociedad Dominicana de Geología (SODOGEO). Ave. John F. Kennedy, esq. Padre Claret, Edif. Plaza Compostela, 6^o piso, Suite 6-D-3B, Urb. Paraíso, Santo Domingo, República Dominicana.

(4) Observatorio Sismológico Politécnico Loyola, San Cristóbal, República Dominicana
ensenada@claro.net.do

RESUMEN

El larimar (pectolita azul + natrolita y muchos otros minerales), es una roca ornamental y una piedra semipreciosa, icónica de República Dominicana, siendo un medio económico al geoturismo, artesanía, comercio y cultura. El larimar se presenta en un área muy restringida (< 0,3 km², mina de los Checheses-Los Chupaderos o simplemente mina Larimar), debido a que la falla Arroyo Seco, de tipo inversa-sinistral, expuso el basamento. La roca encajante consiste principalmente en coladas de lava de basaltos olivínicos (ol 15 - 18%, px 6 - 8%; plag 5 - 10%, opacos ≤ 1%) en una matriz (64 - 72%), así como brechas asociadas. Las rocas volcánicas están fuertemente alteradas (hidrotermalismo, meteorización y tectonización), en grados variables. Presentan, además, una serpentización muy intensa de los olivinos (algunos iddingsitizados) y los piroxenos arcillificados, así como una sericitación y carbonatización extensiva de las plagioclasas; también se presentan arcillas abundantes y vetillas de cuarzo tardías. La pectolita y natrolita puede rellenar vesículas, cavidades (estructuras de crustificación y de peine) y vetas debido a una alteración hidrotermal del tipo epitermal, transición a mesotermal fílica, de temperatura intermedia (200° y 340 °C). Además, el larimar puede sustituir por epigenia a la materia orgánica (madera), un caso particular de petrificación, por lo que se propone el término xilolarimar. Su modo de formación debió de verificarse en una isla volcánica, en algún momento previo al Eoceno, posiblemente durante el Cretácico Superior. Se necesitarán más estudios para comprender al larimar, su modo de formación y su ambiente petrogenético, en particular el enigmático color de la pectolita azul, al parecer relacionado con el contenido de Mn, V y Cu.

Palabras clave: Larimar, mineralogía, petrografía, petrificación, xilolarimar, República Dominicana.

Petrographic contribution on the larimar host rock (Dominican Republic) and some notes about its origin

ABSTRACT

Larimar is an ornamental and semiprecious stone known worldwide as being iconic of the Dominican Republic. This rock is composed mainly of pectolite, usually seen associated with natrolite and calcite, as well as carbonaceous material, chalcocite and hematites. Sometimes, disseminations such as native copper, also occur amongst several other minerals. The rock crops out in a very small area (< 0.3 km², Los Checheses-Los Chupaderos mine or simply the Larimar mine) as a result of the transpressional movement of the Arroyo Seco fault which exposed the basement. The host rock is composed mainly of olivine basaltic lava flows (15 - 18% olivine, 6 - 8% pyroxene, 5 - 10% plagioclase and < 1% opaque minerals in a 64 to 72% groundmass), as well as related basaltic breccias. These volcanic rocks are strongly altered (by hydrothermal, tectonic and weathering processes) at different scales. Olivine phenocrysts were highly serpentized and altered to iddingsite; pyroxene phenocrysts have some degrees of argillization and sericite; and carbonate has formed minerals

from plagioclase crystals. Clays and quartz veinlets are also present as secondary minerals. Pectolite and natrolite minerals fill open spaces in the volcanic rock (vesicles, fractures, cavities, crustification and comb structure vugs) and substitute organic pieces (wood) by an epigenic process as a result of temperatures of 200°- 340°C, during a phyllic epithermal transition to mesothermal (quartz-sericitic) alteration. Larimar is not just a unique gemstone but it is also a very rare petrification process. Therefore we propose the term xilolarimar. The formation environment is suggested to be an oceanic island construction prior to the Eocene time, probably Late Cretaceous. Further studies are necessary to understand the blue pectolite (a colour mainly linked to Mn, V and Cu), its formation mode and its petrogenic environment.

Key words: Larimar, mineralogy, petrography, petrification, xilolarimar, Dominican Republic.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Larimar is a rock composed mainly of pectolite (hydrated sodium calcium inosilicate), usually seen associated with natrolite and calcite, as well as traces of carbonaceous material, chalcocite and hematites. Sometimes disseminations of native copper also occur. It outcrops in a very restricted area (<0.3 km², the Checheses-Los Chupaderos mine), because the Arroyo Seco fault, a reverse-sinistral type, exposed the basement. The age is certainly pre-Eocene Media, quite possibly Cretaceous.

The host rock consists of olivine basalt lava flows and associated breccias. These rocks are strongly altered with varying degrees of intense serpentinization of olivine (some iddingsite and altered clay minerals) and pyroxene, and plagioclase altered to sericite and carbonate.

The spaces (veins and vesicles) are filled with pectolite, calcite, and zeolites (natrolite). Its origin is epithermal transition to mesothermal of a phyllic (quartz-sericitic) epithermal type (alteration with a formation temperature estimated at between 200 ° and 340 ° C. The larimar occurs not only as filling vesicles and large open-space filling textures (vugs and cavities, crustification and comb structure), but also as replacing old plant stems. It occurred in a sub-aerial environment, on an active volcanic island. It is an epigenic hydrothermal process in which the plant materials are replaced by these minerals. Their mode of formation is not similar to xylopal (woody opal), where the wood preservation is perfect. Here, the fossilization (petrification) is incomplete due to a more destructive hydrothermal environment and the minerals that replace the wood are mainly pectolite and natrolite. We propose the term xilolarimar for this fossil.

Although more studies are necessary to fully understand the formation of this unique rock, the history of its formation is given briefly below:

a) On an oceanic island, volcanically active, lava flows (olivine basalts) and associated breccias (autobreccias and polymictic breccias), and paleosols occur. This process may have occurred during the Cretaceous.

b) Sudden burial of a forest by volcanic and volcano-sedimentary processes.

c) The volcanic rocks (basaltic lava flows and breccias) are altered by hydrothermal alteration, weathering and tectonism. Hydrothermal alteration occurred at an intermediate temperature (200 - 340 °C) and intermediate depth ($h > 1.2$ km) of deposition and concentration. The mineral formation order was: olivine + pyroxene + opaque minerals (petrogenetic minerals) → sericite + calcite + clay + serpentine → pectolite → quartz veinlets.

d) During the hydrothermal alteration, at various stages, the organic matter was gradually replaced by larimar, in the following order to form the larimar: natrolite + chalcocite → hematite + white pectolite ± bluish pectolite → pectolite white, pink and translucent → blue and greenish pectolite → colourless pectolite + calcite + native Cu. The hydrothermal mobilization of Mn, V and Cu, are the cause of the wide variation of colour in the larimar: blue, white blue, green, pink and brown.

e) A compressive post-Eocene phase, produced folds and a reverse fault that affected the mineralized unit.

f) The post-Miocene tectonic uplift of the region and erosion exposed the mineralized unit.

Introducción

El larimar es una roca ornamental, semipreciosa, azulada a turquesa, de origen hidrotermal, formada mayoritariamente por pectolita (un inosilicato hidratado de calcio y sodio), con proporciones menores de natrolita y calcita, entre muchos otros minerales. Fue descubierto en 1916 por Miguel Fuertes (Marcuello y

Guinea, 1990). La pectolita, normalmente de color blanco y gris, no poseía ningún atractivo económico, tan solo para los coleccionistas de minerales, particularmente en aquellos ejemplares con buen desarrollo radial de sus cristales. Sin embargo, el larimar, debido a su color azul (por ello a veces llamado pectolita azul) hasta celeste verdoso, se transformó en una piedra semipreciosa y ornamental hace cuatro décadas.

Dicha piedra no está contemplada dentro del libro de piedras preciosas y semipreciosas de Schumann (1978), debido a que el larimar fue redescubierto en 1974. Fue contemplado por primera vez dentro de un libro de las piedras semipreciosas por Arem (1977), pero particularmente a partir de 1986 se extendió su uso y difusión a nivel internacional. Aún en tiempos recientes, no aparece citado en cierta literatura especializada en gemas, como es el caso del libro de Fontana (2006), pero sí aparece catalogado como piedra ornamental y semipreciosa en el libro de Price (2007) y en muchos documentos en internet. Hoy día esta roca está introducida en el mercado internacional de las joyas y ornamentación, siendo una piedra exclusiva, hasta el momento, de República Dominicana, un ícono distintivo junto con el ámbar dominicano.

Un primer estudio general sobre el larimar, su mineralogía, paragénesis y sus orígenes, con resultados muy generales, a modo de nota técnica, fue presentado por el Dr. Robert E. Woodruff, entomólogo, gemólogo y comerciante de gemas, quien expresa que las muestras que él envió fueron analizadas por Pete Dunn y Steve Speck, del Smithsonian Institution, Washington D.C. (Woodruff, 1986, 1987). Mediante difracción de rayos X, determinaron que el mineral dominante corresponde con una pectolita, pero con presencia de picos inusuales, por lo que él mantenía sus reservas sobre la clasificación. Menciona la presencia de natrolita y agrega que encontró olivino y piezas de troncos carbonizados, muchos de forma cilíndrica, substituidos por larimar, dentro de los depósitos basálticos. Al parecer, también se detectó cobre nativo y otros minerales que podrían corresponder con tomsonitas y talco. Posteriormente, Woodruff y Fritsch (1989), Marcuello y Guinea (1990) y Bente *et al.* (1991), presentan estudios formales sobre la historia, algo del contexto geológico y particularmente sobre la química y usos del larimar. Correcher *et al.* (2006) presenta un estudio detallado aplicando fluorescencia inducida por láser y termoluminiscencia.

Más reciente, José A. Espí realizó varios trabajos con aportes novedosos. Se enfoca sobre los minerales de alteración de la roca caja (rocas volcánicas). Describe varias piezas de larimar con presencia de trazas de copalita (¿subámbar?) y de material carbonoso y, sobretodo, de calcosina (Cu_2S). Dichos autores apoyan que el origen del larimar es por sustitución de troncos y ramas (Espí, 1997; Espí y Pérez-Puig, 2009). Contemporáneamente, se presenta la Memoria Geológica sobre la hoja Ciénaga (1: 50 000), en donde se presenta una compilación de la geología de la zona, un cierto detalle estratigráfico de la mina de

larimar y por primera vez se presentan fotografías microscópicas de la estructura leñosa aún preservada (IGME-BRGM-INYPSA, 2010).

Sin embargo, al evaluar la literatura geológica y mineralógica sobre el larimar, aunado a las visitas al campo, surgen una serie de cuestionamientos que merecen evaluarse y contestarse adecuadamente, mediante una serie de evidencias y soporte científico: ¿Corresponden algunas de las estructuras cilíndricas mineralizadas efectivamente con madera fósil substituida u obedecen a otro tipo de estructura hidrotermal? ¿Cuál era el ambiente volcanogénico en el cual se formó el larimar? ¿Qué edad de formación posee?

Por otro lado, la literatura sobre esta piedra semipreciosa única, se presenta dispersa, en parte contradictoria, y no existe una compilación sobre su modo de origen, minerales asociados, ambiente de formación y edad posible. Adicionalmente, el presunto modo de petrificación y su grado de preservación de los troncos vegetales es particular y diferente al conocido xilópalo. Por ello, uno de los objetivos del presente trabajo es el tratar de proporcionar una síntesis mineralógica y aportes petrográficos adicionales, particularmente enfocada a la volcanogénesis y contexto geológico de formación del larimar, un ícono lapidario de la República Dominicana.

Historia

Según datos históricos recolectados por las autoridades mineras dominicanas, la roca fue descubierta en 1916 por el sacerdote Miguel Fuertes Lorén, de origen español, con formación en biología y geología, quien en ese entonces era párroco de la provincia de Barahona, en región suroccidental de la República Dominicana. Se la encontraba en las playas cerca de la desembocadura del río Bahoruco. Después se localizó en la fuente aguas arriba de este río. A finales de noviembre de ese año, el sacerdote solicitó los permisos de exploración y explotación, que fueron rechazados. Posteriormente, en 1974, Miguel Méndez, artesano local de piedras semipreciosas, junto con Norman Rilling, del Cuerpo de Paz, recolectaron algunas muestras de pectolita y probaron en un taller su potencial como piedra semipreciosa. Los lugareños de la zona pensaban que la roca tenía su origen en el mar, por lo que la llamaban roca azul. Miguel Méndez y Luis Augusto González Vega conformaron una corporación por la mina y el mercadeo del larimar. Ya para 1975, se la dejaba ver en las joyerías de Santo Domingo y para 1986 era muy conocido a nivel mundial. Desde ese entonces, se explotó en forma comercial el larimar. Actualmente, estas minas llamadas Los

Chupaderos (las concesiones mineras se llaman Los Chupaderos y los Checheses), conforman un conjunto de chimeneas y túneles o pasillos subterráneos rudimentarios o mina Larimar (Fig. 1).

Sin embargo, los métodos de explotación empleados son primitivos y las minas se volvieron cada vez más profundas y peligrosas, con ventilación no adecuada, aunado a que los derrumbes cobraron la vida de varios de estos mineros artesanales. Por ello, en 1998, dentro del proyecto de "Cartografía Geotemática en la República Dominicana" del programa SYSMIN, se elaboró un informe denominado "Análisis y Ordenación de la Minería Artesanal", donde se exponían las precarias condiciones de trabajo y de explotación del sector minero del larimar. Como parte del proyecto, se les impartió un programa de capacitación sobre cómo construir adecuadamente sus túneles y las técnicas de refuerzo, extracción y ventilación. A raíz de este diagnóstico, en el año 2006, dentro del Convenio de Financiación 9º FED ACP DO 006 SYSMIN II, la ONFED (Ordenador Nacional de Fondos Europeos de Desarrollo) adjudicó

el contrato de "Obras para la valoración y Explotación del Yacimiento de Larimar". Se realizaron los trabajos de investigación y la construcción de un gran túnel, a partir del cual se pudieran establecer ramales seguros y controlados, con una única salida de los materiales de extracción, que sería manejado bajo un único grupo organizado de explotadores artesanales. El túnel fue terminado en el año 2008 y el proyecto, aunque con muy buenas intenciones y finalidades, fracasó ante una comunidad poco organizada y con un mercado poco regulado, pero altamente competitivo en su oferta y demanda.

Desde 1975, unos 500 mineros trabajan en la explotación de la gema y unos 200 artesanos la transforman en piedra semipreciosa y ornamental. Además, una buena cantidad de material sale del país, aunque su exportación no está todavía lo suficientemente regulada.

El larimar es una piedra particular de República Dominicana, representando geoturismo, artesanía, comercio y cultura, al grado que en Santo Domingo, capital de República Dominicana, existe el Museo del

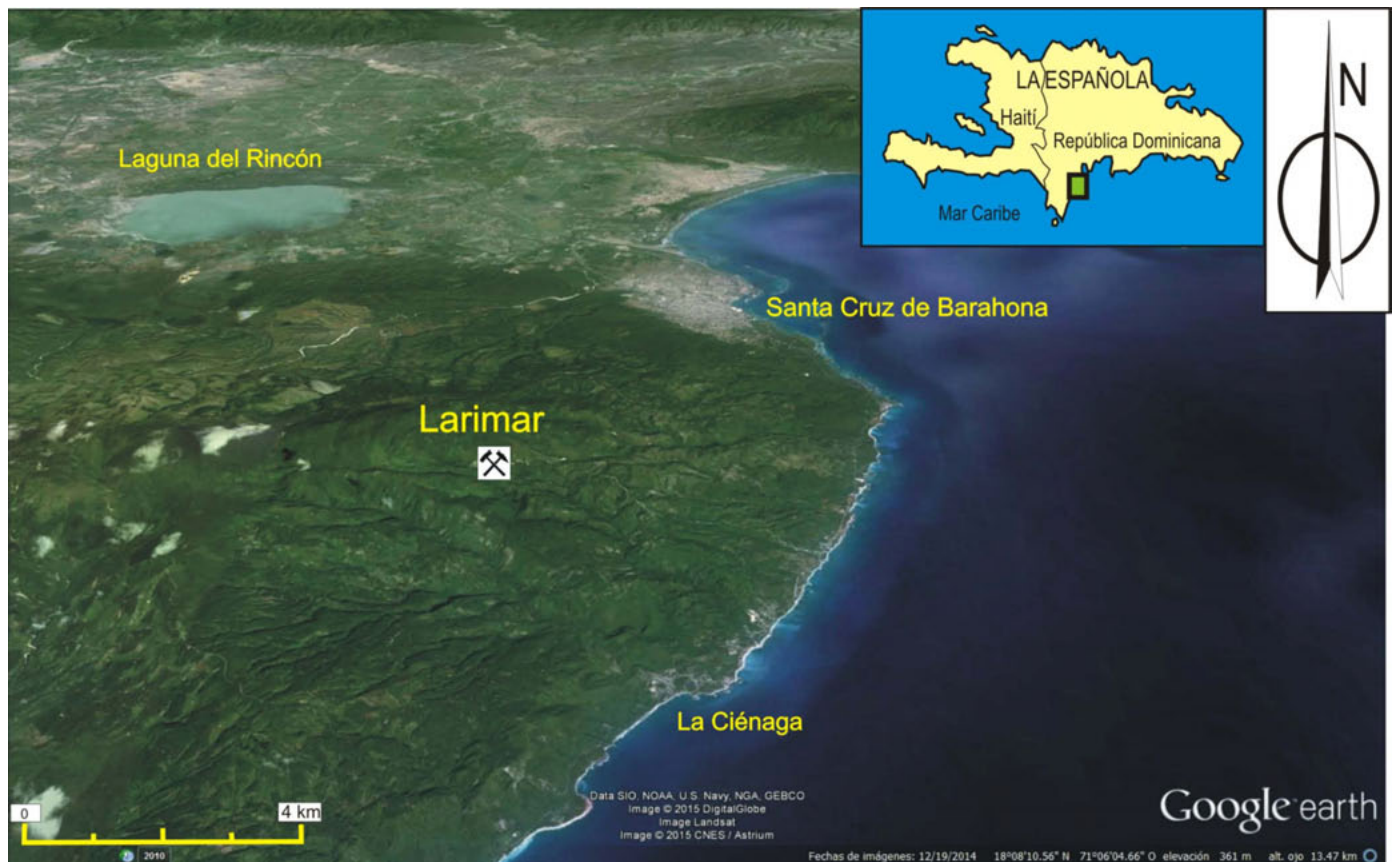


Figura 1. Mapa de ubicación de la mina de larimar dentro de la República Dominicana.
Figure 1. Location map of the Larimar Mine in the Dominican Republic.

Larimar. Este museo, inaugurado en el 2000, explica la industria minera y de joyería. Las exhibiciones muestran la extracción y proceso de fabricación de joyas de larimar. Se ubica en la Calle Isabel La Católica #54, esquina Padre Billini, Zona Colonial, Santo Domingo.

Contexto geológico regional

El basamento ígneo local, donde se ubica el larimar, se correlaciona y denomina Formación Dumisseau (Maurasse, 1979; Sen *et al.*, 1988). Gran parte de la geología local, que se presenta a continuación, está basado en el informe geológico de la hoja topográfica Ciénaga, 1: 50 000 (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), por ser uno de los más recientes, en el cual se compiló gran parte de los trabajos anteriores.

La Formación Dumisseau está formada por coladas de lava de composición básica (masivos, vesiculares hasta amigdaloides, basaltos en almohadilla, doleritas, autobrechas) y cuerpos hipoabisales (microgabros, ferrodoleritas), asociados con depósitos piroclásticos y epivolcanoclásticos (tobas vítreas y cristalinas, depósitos de hialoclastitas, depósitos de flujos de escombros volcánicos). Posee lentes de calizas pelágicas, lutitas silíceas y areniscas basálticas. Los basaltos, por lo general, presentan fenocristales de plagioclasa y de piroxenos, mayormente clinopiroxeno, algunos con estructura en reloj de arena, y escaso ortopiroxeno; minerales opacos y raramente olivino, con la excepción de las picritas. Las rocas ígneas básicas son por lo general ricas en Ti, algunas alcalinas, y basaltos toleíticos (Maurasse, 1979; Sen *et al.*, 1988; Sinton *et al.*, 1998; IGME-BRGM-INYPSA, 2010).

Su edad con base en algunos fósiles en los sedimentos incluidos son del Cretácico Inferior al Campaniano Superior (~ 75 Ma). Tres dataciones radiométricas K-Ar proporcionan una edad antigua de 105 ± 20 Ma (Aptiano a Coniaciano), pero otras de $75,0 \pm 3,7$ y $74,2 \pm 3,7$ Ma (Campaniano). De las cuatro dataciones Ar-Ar (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), tres de ellas aportan edades cretácicas de $103,6 \pm 3,17$ Ma (Albiano), $92,0 \pm 4,8$ Ma (Cenomaniano a Turoniano) y $88,7 \pm 1,5$ Ma (Turoniano a Coniaciano). Sin embargo, un dique de ferrodolerita, que intruye a los basaltos, da una edad significativamente más joven de $52,8 \pm 1,7$ Ma (Ypresiano). Dataciones radiométricas de la Fm. Dumisseau en Haití, proporcionan edades entre 88 y 92 Ma (Cenomaniano a Turoniano), relacionado con el gran evento ígneo del Caribe (Sinton *et al.*, 1998).

Sobreyaciendo por medio de una discordancia

angular y del tipo paraconformidad, se presenta la Unidad de Polo, de calizas blancas (biomicritas), masivas con algas rojas (*Rhodophyceae coralicacea*) conformando rodolitos y macroforaminíferos bentónicos (*Neodiscocyliina barkeri*, *N. grimsdalei*) y pocos microforaminíferos planctónicos (*Subbotina* cf. *velascoensis*). Representa una plataforma arrecifal interna. Su edad es generalmente referida como Eocena Inferior a Media (IGME-BRGM-INYPSA, 2010).

La Formación Neyba (o Neiba), por su parte, está constituida por calizas micriticas, nódulos calcáreos y pedernales. Su miembro inferior es una sucesión monótona de calizas masivas y estratificadas, con nódulos ovoidales y lentes de pedernal marrón a rojizo. Posee gran cantidad de foraminíferos planctónicos y radiolarios. Representa un depósito marino batial con posibilidad de retrabajo en la plataforma externa hasta litoral. Su edad en la zona de estudio es Eocena Superior a Oligocena Inferior basal, aunque quizás se podría extender al Eoceno Medio. En forma continua se presenta la secuencia sedimentaria del Miembro Superior, constituido por margas y calizas margosas estratificadas (niveles decimétricos a métricos) con nódulos y lentes de pedernal. Posee trozos de algas y abundantes foraminíferos planctónicos y bentónicos retrabajados. Su ambiente es hemipelágico de turbidita epibatial. Su edad en el área es Miocena Media, pero podría haberse iniciado en el Oligoceno Inferior terminal. El miembro superior se distingue del Inferior por la progresiva abundancia de margas y de estratos métricos (IGME-BRGM-INYPSA, 2010).

Sobre esta secuencia se depositó la Unidad Barahona, representada por calizas *beiges*, masivas, con bancos de margas, a veces con fauna somera, de plataforma marina media a externa. Su edad en el área es Miocena Media a Superior. Las calizas arrecifales, rocas de playa y abanicos de flujos de escombros rocosos, de origen aluvial y coluvial, conforman los depósitos recientes del Cuaternario en forma de terrazas y abanicos.

El amplio y extendido tectonismo da origen a sobrecoimientos de calizas eocénicas sobre calizas oligocénicas. El resultado morfológico son profundos valles de falla y dolinas por karstificación.

Geología local

El yacimiento de larimar se encuentra en el paraje conocido como Los Chupaderos de la Sección Los Checheses, distante unos 7 km al noroeste de La Ciénaga y unos 10 km al suroeste de Barahona. Se localiza a unos 170 km de Santo Domingo (Fig. 1). En

el mapa geológico de la hoja La Ciénaga (1: 50 000), donde se presenta el larimar, aparece como un afloramiento aislado de rocas ígneas básicas de 1,3 km de largo por 0,25 km o menos de ancho (< 0,3 km²), a 750 - 850 m de altitud. Las rocas básicas están asociadas con la Formación Dumisseau. La roca encajante del larimar, según la literatura, son rocas básicas (basaltos vesiculares, basaltos picríticos, diques basálticos) y brechas de basalto, todas de tonos verdosos, en ocasiones algunas brechas monomícticas y polimícticas son rojizas, así como paleosuelos arcillosos rojizos y gris verdosos. La presencia de troncos y ramas fósiles, así como paleosuelos pirometamorfizados ha sido documentada como indicio de una emersión del edificio basáltico (Hutchinson, 1979; Espí, 2007; Espí y Pérez-Puig, 2009; IGME-BRGM-INYPSA, 2010).

El larimar está limitado al sur por una falla y en sus costados por calizas y coluviones. La falla llamada falla de Arroyo Seco, posee al menos unos 15 km de

longitud, y es dibujada como una falla de rumbo sinistral con bloque levantado fuertemente al norte (IGME-BRGM-INYPSA, 2010); los autores interpretan acá más bien como un sobrecorrimiento de rumbo E-O hasta OSO-ENE, con pliegues anticlinales y sinclinales asociados de rumbo ENE-OSO. La falla posee una vergencia al norte y una componente sinistral, que expuso el basamento y sobrecorre a las calizas del Eoceno al Oligoceno Inferior (Unidad de Polo y Fm. Neiba). La traza de la falla se visualiza en el campo por valles lineares de falla (ríos Arroyo Brazo Seco y Arroyo Seco), facetas triangulares y sillas de falla. Las rocas se presentan profundamente tectonizadas (cizalladas), al grado que se observan zonas de falla (fallas inversas?) con profundo cizallamiento con estructuras tipo boudinage. Sobre las rocas verdosas y las brechas monomícticas rojizas, se presentan unas brechas polimícticas rojizas, pero estériles en el contenido de larimar (Figs. 2 y 3).

Las calizas están relacionadas con la Unidad de



Figura 2. Roca profundamente cizallada, hidrotermalizada y meteorizada, atravesada por vetas de sílice.
Figure 2. A highly weathered and sheared sample with hydrothermal alteration and quartz veinlets.



Figura 3. Diferentes tipos de brechas basálticas hidrotermalizadas, cortadas por vetas de pectolita.
Figure 3. Different kinds of hydrothermal altered basalt breccias with pectolite veins.

Polo, representada por calizas masivas con rodolitos y macroforaminíferos del Eoceno Medio-Superior (IGME-BRGM-INYPSA, 2010). Las calizas también se presentan muy tectonizadas, sobreyacen discordantemente a las rocas ígneas y forman parte de los coluviones que igualmente las cubren.

Mineralogía del larimar

El larimar es el nombre comercial de una piedra semipreciosa, constituida predominantemente por pectolita y natrolita. Aunque algunos consideran que el larimar es equivalente de pectolita (particularmente pectolita azul), queda demostrado que es mejor considerarlo como una piedra ornamental y semipreciosa, dado que aparte de la pectolita, la roca posee muchos otros minerales.

La pectolita, el principal constituyente del larimar, es un silicato del subgrupo inosilicato, para algunos del grupo de los ciclosilicatos o de los piroxenoides.

Su nombre fue dado por el geólogo alemán Kobell en 1828 al juntar las palabras griegas *pektos* o formado por diferentes partes o compacto, y *lithos*, roca. Antiguamente se le llamada gonsogolita y ratolita. Se presenta como mineral primario en las sienitas nefelínicas, pero dado que puede ser de origen secundario, se le suele asociar con las zeolitas, que poseen similar cristalización y ambiente de formación. También se puede hallar en rocas metamórficas como serpentinas y skarns. Se puede considerar un hidrato silicatado de calcio y sodio, también descrito como un hidróxido de silicato de calcio y sodio o un silicato ácido de calcio y sodio: $\text{Ca}_2\text{NaH}(\text{SiO}_3)_3$, $\text{Ca}_2\text{NaH}[\text{SiO}_9]$, $\text{Ca}_2\text{NaH}[\text{Si}_3\text{O}_9]$ o $\text{Ca}_2\text{Na}[\text{Si}_3\text{O}_8\text{OH}]$, con pequeñas cantidades de Mg y Ca. En algunas pectolitas, el Mn^{2+} sustituye al Ca. Cristalográficamente, es triclinico pinacoidal con cristales generalmente alargados según el eje b, formando prismas tabulares, en agregados aciculares, radiales, fibroso-radiales o en masas compactas; maclas según (100). Su exfoliación perfecta, brillo vítreo a sedoso o nacarado. Incolora,

blanco o grisáceo (gris blanquecino), más rara amarillo pardo o rosa. Raya blanca y fractura concoidea, desigual (Díaz, 1976; Dud'a y Rejl, 1987; Guastoni y Appiani, 2003).

Como ya se dijo, el larimar es un nombre local y comercial, para la variedad de pectolita dominicana azulada, resultado de una mezcla de Lari-Mar, por Larissa, nombre de la hija de Miguel Méndez, re-descubridor dominicano de la gema, con la palabra mar, por los colores del agua del mar Caribe. Méndez originalmente la llamó "travelina". Otros nombres en desuso son "turquesa dominicana", en alusión a su color y restricción al territorio insular, "piedra delfín", por su color y cercanía al mar, o el de "piedra azul", bautizada así por los lugareños dada su rareza y al sobresalir de entre las arenas de las playas de Barahona (Hurlbut, 1976; Woodruff y Fritsch, 1989; Marcuello y Guinea, 1990).

El larimar se encuentra asociado con natrolita ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), calcita, calcosina y disseminaciones de hilos de cobre nativo, entre muchos otros minerales. El larimar es azul profundo a pálido (azul claro a celeste) o verde azulada (turquesa) a blancuzco con venas blancas; algunas coloraciones son rosadas, rojizas o marrones, posiblemente por la presencia de dendritas de óxidos de hierro. Posee como elementos menores algo de Fe, Mn, Mg, K, Ti, P y trazas de Cu, V, Ni, Cr, F y Cl. Se presenta como esferulitas, agregados radiales compactos constituidos de masas aciculares. Mientras que la pectolita posee una dureza de 4,5 - 5,0; el larimar posee un rango de dureza amplio, por lo general de 4,5 - 6. Los valores ≥ 5 pueden provenir de la contaminación de la pectolita con la natrolita (dureza 5 - 5,5) y aquellos de 7, al ser confundido o estar contaminado con vetillas de cuarzo. La pectolita posee una densidad de 2,74 - 2,90, mientras que el larimar posee un rango usualmente de 2,62 - 2,87; aquellos valores reportados sobre 2,90 resultan porque las muestras poseen calcosina (5,7 - 5,8; a veces 5,5) y valores de 2,62 son debido a la presencia de natrolita (2,2 - 2,5). Su índice de refracción es 1,59 - 1,63. El larimar es fotosensible a la luz solar, por lo que su coloración azul se pierde con el tiempo (Hurlbut, 1976; Woodruff y Fritsch, 1989; Marcuello y Guinea, 1990; Bente *et al.*, 1991; Correcher *et al.*, 2000; Espí y Pérez-Puig, 2009).

El color azulado del larimar aún está bajo discusión (Fig. 4). Puesto que el larimar presenta cobre (Cu: 9 - 1575 ppm; Bente *et al.*, 1991), para algunos su color es producto de su contenido cuprífero, justificado además por la presencia de calcosina (microscópica hasta macroscópica) y de cobre nativo (Woodruff y Fritsch, 1989). Sin embargo, Bente *et al.* (1991), asocian el color azul al vanadio, dado que este y no el

cobre, muestran un incremento significativo desde la pectolita blanca (4 ppm), verdosa (2 ppm) y celeste (67 ppm) hasta la azul (134 ppm). Correcher *et al.* (2006), mediante el espectro de la fluorescencia, evidencian que los picos del color azul intenso están relacionados con el Mn^{2+} , principalmente, y el celeste al Mn^{2+} y Cr^{3+} . Al observar los análisis químicos de microsonda electrónica incluidos en el trabajo de Correcher *et al.* (2006), se desprende que en efecto el Mn es el componente responsable del color azul, dado que el Cu y V está ausente en muchas muestras. Pese a ello, Espí (2007), vuelve a sugerir que su color se debe al cobre y manganeso, ayudado por la presencia de materia orgánica.

Al analizar todos estos estudios, parece ser que los elementos más probable que sean responsables del azul y verde de la pectolita sean el Mn, el Cu y el V, que le puedan suministrar tonos además variados (rosados, marrones y rojizos), pero la discusión permanece abierta.

La calidad del larimar como gema se evalúa según su tamaño, textura y color. Cuanto más azul sea la piedra, el ejemplar tendrá mayor valor. La mayoría de las gemas (collares, anillos, pendientes) son producidas en monturas de plata, aunque algunas se fabrican en oro. Como elemento decorativo, se usa sobre estantes de libros, contenedores de libros, pisapapeles y adornos (Fig. 4 B and Fig. 5 A, B).

Minerales de alteración y forma de ocurrencia del larimar

Las rocas volcánicas se han descrito que poseen una cloritización y serpentización muy intensa de los olivinos y piroxenos, formando interestratificación con vermiculita, además de la presencia de esmectita. Poseen diversos minerales de alteración, entre ellos serpentina, clorita, talco, hematita y limonita, seguidos en menor proporción por anfíboles y pectolita, y en mucha menor cantidad de calcita, zeolitas (tomsonita y natrolita), así como cuarzo. Los fluidos hidrotermales debieron de haber remobilizado Mn, Cr, Fe, V, Cu y Mg, entre otros elementos (Woodruff y Fritsch, 1989; Correcher *et al.*, 2006; Espí y Pérez-Puig, 2009).

Macroscópicamente, las muestras de mano son de grano medio, compuesta posiblemente por piroxenos alterados, substituidos por minerales secundarios (zeolitas, hematita, serpentina), fantasmas de plagioclasas; algunas muestras con gran cantidad de minerales idiomórficos a hipidiomórficos (olivinos alterados a hematita, clorita, serpentina), le confieren una alteración verdosa. Algunas muestras poseen vetillas, vesículas (amígdalas) rellenas de larimar, zeolitas y

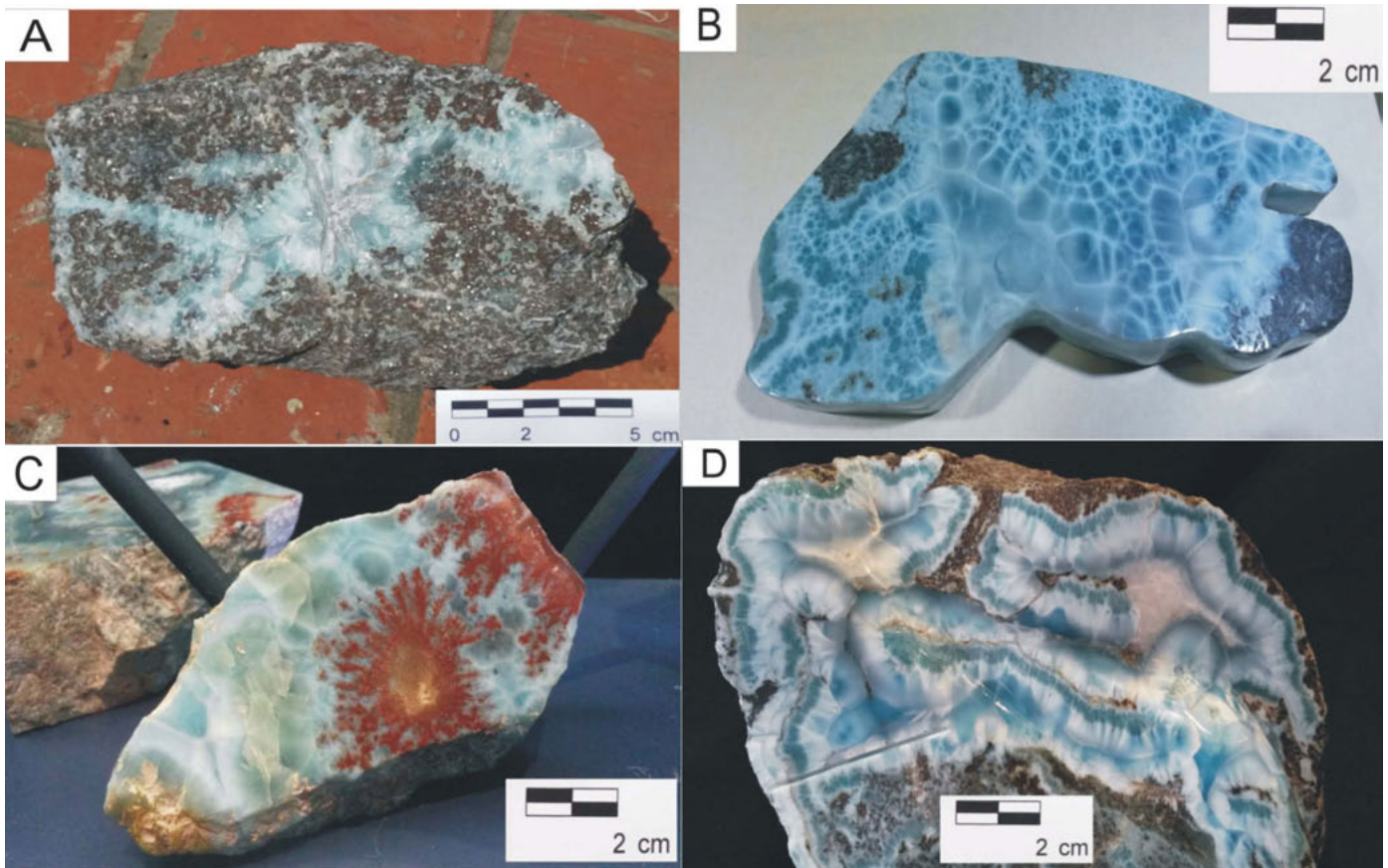


Figura 4. Diferentes formas de presentación del larimar. A) Estrellas de cristalización en un basalto amigdalóideo en bruto, con relleno de larimar. B) Larimar pulido para la venta como pisapapeles o para coleccionistas, dada su rareza. Su estructura en mosaico emula el reflejo del agua de mar en un fondo arenoso poco profundo y cristalino, típico de las aguas caribeñas. C) Se observa como la natrolita (gris claro hacia los bordes o paredes de la muestra) es seguida por plumas o dendritas de intercrecimiento de hematita y varias generaciones de pectolita (blanca y azul). D) Estrella de cristalización compleja (crustificación y estructura en peine), de pectolita incolora, blanca y azul, entre cruces de grietas, cuyos extremos marcan el progreso en la ocupación mineral en las fracturas radiales.

Figure 4. Larimar showing: A) Crystallization stars in a vesicular basalt (hand sample), with larimar filling. B) Artisan processed larimar ready for sale, as paper weights due to its originality or for gem collectors. Its mosaic structure emulates the reflection of light on the shallow sandy floor of the crystal clear Caribbean Sea. C) Natrolite and blue/white pectolite crystals (light grey towards the edge of sample) are intergrown with hematite dendrites. D) Complex crystallization star in section (crustification and comb structure), of uncoloured pectolite, white and blue, whose ends mark the initial radial crack fillings.

calcita. Las brechas, por lo general monomíticas, poseen fragmentos angulosos, algunos a modo de esquirlas.

Bajo el microscopio petrográfico, las coladas de lava (Cuadro 1, Fig. 6), presentan una serie de minerales primarios muy poco o nada preservados como fantasmas, inclusive a nivel de matriz, prevaleciendo en abundancia los minerales de origen secundario (meteorización y alteración hidrotermal). Entre los minerales primarios identificados, ya sea en las coladas o en las brechas, sea por ser fantasmas o bien porque aún se pueden reconocer parte del mineral original, están: plagioclasas (2 - 10%), mayormente arcillificadas, calcificadas y sericitizadas; olivinos (10 - 20%) serpentinizados, iddingsitizados y arcillificados;

piroxenos (2 - 8%), arcillificados, a veces sanos en la matriz, opacos (< 1%) parcialmente sanos hasta oxidados, todos en una matriz (70 - 80%) de las mismas fases mineralógicas de los fenocristales. Las brechas poseen porcentajes similares. Esta asociación de minerales, junto con una textura claramente porfirítica (15 - 36% fenocristales), muestra que se trata de una roca ígnea básica (abundante olivino) extrusiva (afanítica porfirítica), en correspondencia con un basalto olivínico. No corresponde con un basalto picrítico debido a que el contenido de olivino no está en el rango entre 20 y 50% y no es una picrita dado que no supera el 50% de olivino.

La roca presenta una alteración hidrotermal fuerte, donde se distinguen, entre otros minerales (Cuadro 1,

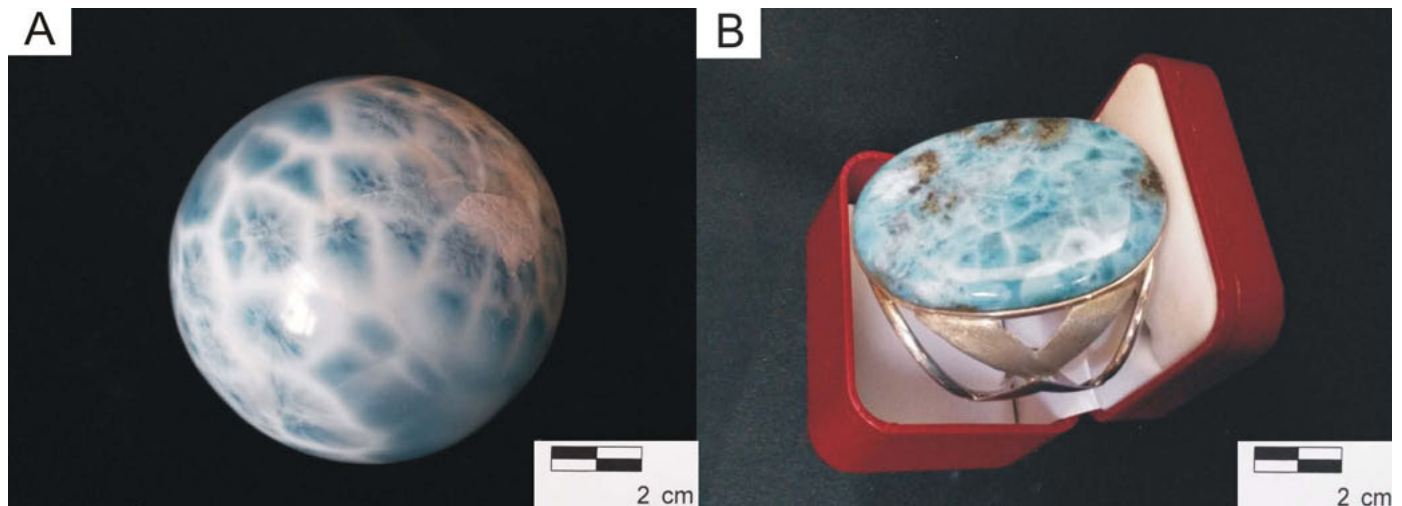


Figura 5. A) Esfera de adorno de larimar y B) Larimar en una montura de anillo.
Figure 5. A) Decorative Larimar sphere, and B) Larimar as a ring mount.

Fig. 6), la sericita abundante y a veces incluso invasiva, con buena cristalización y hábito radial, rellena cavidades o bien reemplazando la matriz y los minerales primarios, principalmente las plagioclasas, que presentan una hidrólisis fuerte. La calcita es abundante, junto a poca clorita; en algunas muestras se identifica pectolita, en clara asociación con la sericita o bien con las arcillas, la sericita y la calcita, que le precedieron en su cristalización. También se reconocieron otros minerales secundarios: cloritas, arcillas, serpentina, óxidos e hidróxidos de hierro.

En los trabajos se han descrito “vacuolas de tamaño considerable” y “estrellas de cristalización” o rellenos de cavidades “miarolíticas” de los basaltos (Marcuello y Guinea, 1990). Otras estructuras son rellenos de cavidades de fracturas por tensión, a modo cascarones concéntricos o apertura tipo media luna (Espí y Pérez-Puig, 2009). En efecto, el larimar (pectolita con natrolita y algo de calcita, hematita y calcosina) aparece generalmente en forma de pequeñas concreciones que rellenan cavidades originales (vacuolas) o cavidades inducidas (fracturas, huecos) en las rocas ígneas, como vetillas o masas irregulares (Figs. 4, 6D). Pueden presentar figuras de crecimiento fibroso-radial o de un larimar almizclado, debido a las inclusiones de hematita y calcosina (Fig. 4C). Sin embargo, lo más común son sus formas de estrellas de cristalización de la pectolita, con estructuras de crustificación y de peine (peineta, pectiniforme o cresta de gallo), presentes entre cruces de grietas, cuyos extremos o puntas marcan el progreso de la ocupación de las fracturas radiales y, en varios casos (no siempre), la sustitución de la materia orgánica. Las mineralizaciones tienden a ser ovaladas y con-

céntricas, varicoloreadas (incolores, blanco, verde, celeste, azul), a veces con sectores o núcleos más blancos. También puede presentar forma de enrejado, moteado y de rompecabezas (Fig. 4).

Algunas formas pétreas cilíndricas asociadas con madera fósil, poseen tamaños decimétricos, con inclusiones de clastos o fragmentos tabulares, de sección alargada, con una forma radial a curvilinear (en cáscaras) en sección transversal, al parecer siguiendo los anillos de crecimiento (Fig. 7). Su color varía desde negro hasta tonos verdosos, blancos y azulados. Las formas carbonosas de color negro mate, poseen estructura fibrosa, donde el material tizna las manos de negro, da una raya negra y su dureza es de 3,5. El análisis químico realizado en el presente trabajo en la planta de Cemento Domicem (República Dominicana), aportó un “poder calorífico superior” (PCS) de 700 Cal/gr (equivalente a 2926 kJ/kg), con un residuo de cenizas de un 69,66% (producto de incrustaciones de minerales arcillosos verdosos, pectolita y natrolita) y un contenido de humedad del 3,21%, sin observación de material volátil. El PSC, aunque significativamente inferior al de una turba (22 500 kJ/kg), es un claro indicador de la presencia de carbón mineral.

Los estudios del orden de cristalización de las oquedades donde se aloja el larimar, concluyen, en términos generales, lo siguiente:

- a) la natrolita y la calcosina, que conforman las paredes, se dio por el relleno de vacuolas o bien la sustitución de la materia orgánica (color negro o carbonosa),
- b) formación de agujas y dendritas de hematitas, para ser rellena por pectolita blanca,
- c) la pectolita blanca, localmente rosada, es segui-

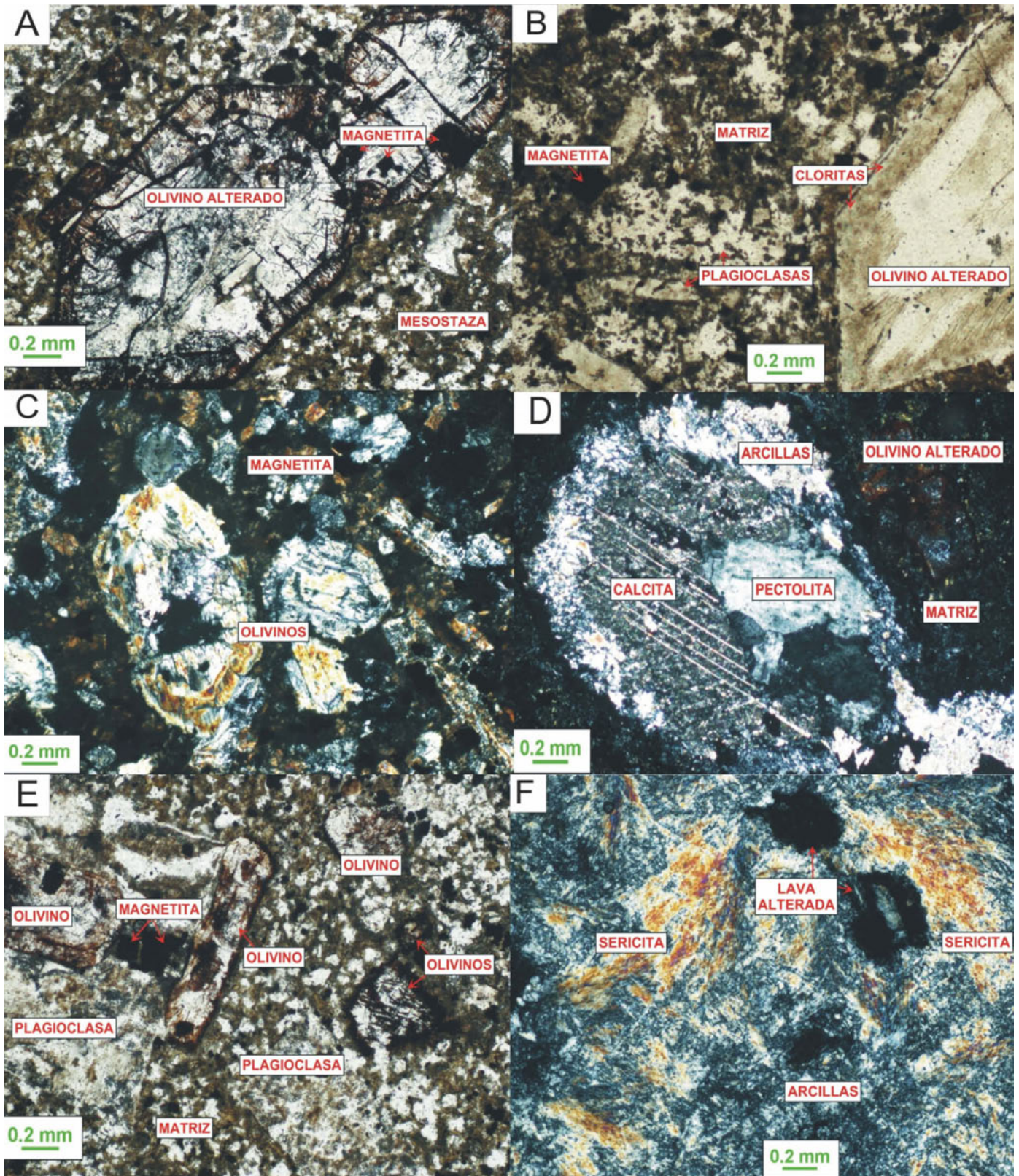


Figura 6. Microfotografías representativas del grado de alteración hidrotermal y meteórica de las muestras de roca (basaltos y brechas), todas con luz transmitida. A, B y E con nicols paralelos y 10X; C, D y F con nicols cruzados y 10X.

Figure 6. Microphotographs showing hydrothermal alteration and weathering of representative rocks (breccias and basalts), all in transmitt light. A, B and E in parallel polars and 10x; C, D and F in crossed polars and 10x.

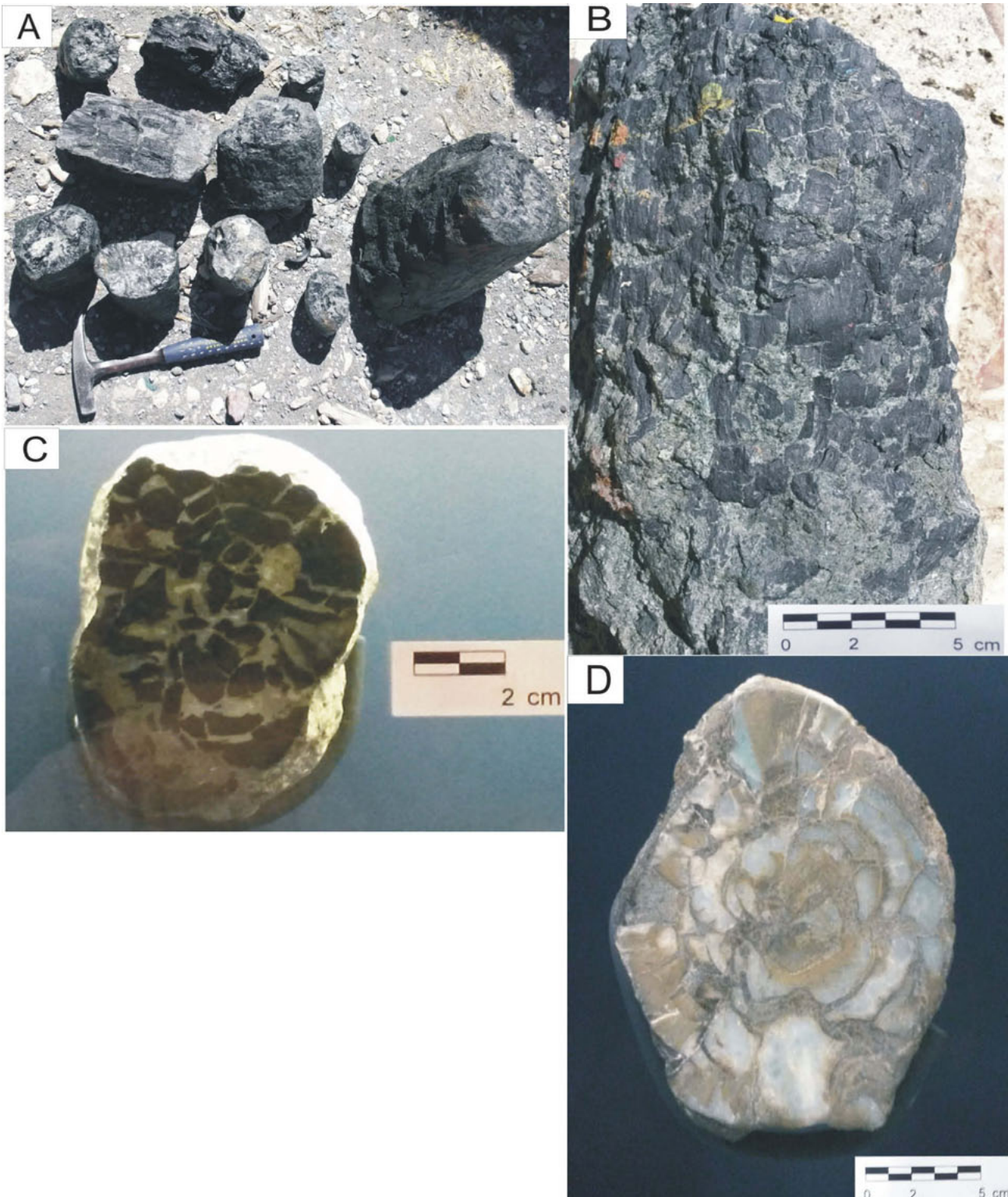


Figura 7. A y B) Diferentes formas cilíndricas carbonosas, asociadas a la sustitución de la madera original (troncos y ramas de árboles) por pectolita y natrolita (xilolarimar). C y D) Se observan la estructura interna del árbol fosilizado con esquirlas curvoplanares de pectolita, a modo de una estructura en mosaico o rompecabezas, que sustituye al material orgánico y carbonoso, presumiblemente en correspondencia con los anillos de crecimiento.

Figure 7. (A and B) Different cylindrical charcoal forms associated with original wood replacement (tree trunks and branches) with pectolite and natrolite (xylolarimar). C and D) Notice the internal structure of the fossilized tree with a pectolite curve like splinters as a puzzle mosaic structure replacing organic matter, probably growth rings.

da o hasta substituida por diferentes generaciones de pectolita azulada con largas fibras,

d) pudiendo culminar de nuevo con pectolita blanca, calcita y cobre nativo en la fase final de mineralización (Woodruff y Fritsch, 1989; Espí y Pérez-Puig, 2009) y, finalmente,

e) la alteración a calcita y sericita de los minerales primarios en los basaltos, parece que fue previa al

relleno de la pectolita, seguida por microvetillas de cuarzo tardías (presente trabajo).

Basado en Smirnov (1982), Thompson y Thompson (1996), la paragénesis de sericita + calcita + serpentina + arcillas ± cuarzo ± pirita ± zeolitas ± hematita ± albita ± clorita ± cobre, se puede asociar con una alteración epitermal, transición a mesotermal, del tipo filítica (cuarzo-sericítica), algo sódica. Muy posible-

Material	Mineral	Wy F	NyG	Bet	EyP	IBI	PT
Larimar	Pectolita	+++	+++	+++	+++	N.a.	N.a.
	Calcita	++		+++	++		
	Natrolita	++	++	++			
	Datalita		+				
	Damburita		+				
	Adularia?		+				
	Prehnita		+				
	Apatito		+				
	Esfena		+				
	Hematita	+	+	++			
	Calcosina	++		++			
	Calcopirita		+				
	Cobre nativo	+		+	+		
	Calcedonia			+			
	Grafito			+			
	Roca encajante	Serpentina			+++	+++	
Sericita						+++	+++
Clorita					++	+++	+
Talco					++		
Anfíbol					+		
Pectolita		+		+	+	+	+
Hematita		++				+	+
Limolita					+	+	+
Natrolita					+		
Cuarzo					+	+++	+
Arcillas (Vermiculita + esmectita)					+	++	++
Calcita					+	+++	++
Pirita							+
Zeolitas						+++	
Pumpellita						++	
Epidota						+++	
Albita					++		
Prehnita					++		

Tabla 1. Cuadro comparativo de los minerales asociados con el larimar y con la alteración hidrotermal de la roca encajante. Se pone a modo de comparación la de otras rocas ígneas básicas de la región de la hoja La Ciénaga (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), excluyendo las rocas de la mina del Larimar. WyF (Woodruff y Fritsch, 1989), NyG (Marcuello y Guinea, 1990), Bet (Bente *et al.*, 1990), EyP (Espí y Pérez-Puig, 2009), IBI (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), PT (presente trabajo).

Tabla 1. Comparative Table showing Larimar associated Minerals with hydrothermal alteration of enclosing rock. Also included are minerals composing basic rocks of same formation from Sierra de Bahoruco (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), excluding the mineral from Larimar's mine samples are not included. WyF (Woodruff and Fritsch, 1989), NyG (Marcuello and Guinea, 1990), Bet (Bente *et al.*, 1990), EyP (Espí and Pérez-Puig, 2009), IBI (IGME-BRGM-INYPSA, 2010), PT (present work).

N.a.: No aplica para el presente trabajo, dado que no se realizaron estudios mineralógicos detallados para el larimar, sino de la roca caja.
 +: Presente en algunas muestras, ++ abundante, +++ muy abundante.

mente, dicho yacimiento volcanogénico se dio a partir de la exsolución de la fase volátil o fluida desde un magma saturado en agua (segunda ebullición) en proceso de enfriamiento, con una profundidad de formación de dichos minerales > 1,4 km. Lo anterior se podría asociar con un halo periférico (apomagmático) alrededor de un intrusivo (epibatolítico?). A unos 10 - 20 km al NE del yacimiento de larimar, existe una concesión para la exploración de polimetálicos, en el área de Polo, sierra de Bahoruco.

Referente a la temperatura de formación, las inclusiones fluidas atrapadas en los planos cristalográficos de la calcita, indican temperaturas en el rango de 280° - 290 °C, quizás incluso hasta 340 °C, mientras que los restos carbonosos sugieren temperaturas de 250° a 300 °C (Espí y Pérez-Puig, 2009). Bente *et al.* (1991) estima una temperatura inferior a los 240 °C. El grado de cristalización y lo invasivo de la sericita, es un indicador de una temperatura de por lo menos 200 °C, que en asociación con otros minerales, sugeriría un rango entre 200° y 300 °C. En tal caso, estas temperaturas también indicarían un ambiente mesotermal, tal y como se ha observado en otras regiones (i.e. Lamey, 1966; Smirnov, 1982).

Ambiente de formación y edad

Las rocas volcanoclásticas y sedimentos asociados en los alrededores sugieren ambientes subacuáticos profundos hasta condiciones someras (IGME-BRGM-INYPSA, 2010). Algunas brechas hasta conglomerados con elementos redondeados (Fig. 21 y 22 de IGME-BRGM-INYPSA, 2010), por su parte, sugieren un retrabajo fluvial o costero de los basaltos, que después pudieron depositarse en aguas oceánicas más profundas. También se ha comentado sobre la presencia de paleosuelos y suelos pirometamorfizados, indicios de una emersión del edificio basáltico (Espí y Pérez-Puig, 2009). La presencia de basaltos vesiculares hasta amigdaloides indican profundidades del fondo marino inferiores a 2 km, muy posiblemente inferiores a 1 km. Todo ello son evidencias sugestivas de que una isla oceánica, volcánicamente activa, estuvo expuesta a los agentes erosivos subaéreos.

El hecho de que troncos y ramas fósiles, en paleosuelos, fueran parcialmente substituidos por la pectolita y natrolita, es ampliamente discutido en la literatura (Woodruff (1986, 1987; Woodruff y Fritsch, 1989; Bente *et al.*, 1991; Espí y Pérez-Puig, 2009; IGME-BRGM-INYPSA, 2010). Bente *et al.* (1991) hablan de fósiles vegetales, de los cuales aclaran que todavía quedan restos carbonosos en la forma de grafito. Añaden que con la ayuda del microscopio se logra

reconocer la estructura celular original. El estudio de Espí y Pérez-Puig (2009) concluye que la pectolita suele rellenar vesículas, así como los huecos dejados por la coquización (efecto de convertir la hulla en coque) de la materia orgánica. En efecto, describen que asociado con el larimar, aparecen unas formas de troncos, de algunos centímetros de radio por varios centímetros a decímetros de largo, que pueden albergar o no larimar. Estas estructuras fueron interpretadas como restos de troncos fósiles, hecho que se fundamenta no solo en su apariencia, sino debido a la presencia de restos orgánicos carbonosos y de "copalita" (Espí y Pérez-Puig, 2009). Estos autores presentan fotografías de los restos carbonosos centimétricos de color oscuro (p.ej. Fig. 6.16 de dicho informe) y comentan que la materia orgánica carbonizada se presenta como trazas a nivel submicroscópico, aunado a la presencia de copalita, o mejor dicho ámbar. Finalmente, el informe de IGME-BRGM-INYPSA (2010) muestra fotografías microscópicas en donde se evidencia, sin lugar a dudas, la estructura preservada del enrejado de los tejidos vegetales.

Este tipo de petrificación difiere de la mejor fosilización de la madera por variedades de sílice (xilópalo), por lo general relacionada su mejor preservación a la combinación del hecho que los troncos vegetales quedaran enterrados rápidamente (p.ej. caída de cenizas ácidas, sedimentos lacustres o laháricos), favoreciendo un ambiente en ausencia de oxígeno (anaeróbico). A ello se le debe de agregar una rica aportación de sílice, que se da cuando el agua se filtra por los sedimentos y deposita los minerales en las células de las plantas. De esta forma, cuando la lignita y la celulosa se descomponen, se forma la madera petrificada o xilópalo. Todo esto produce un reemplazamiento lento de las células vegetales, que aseguran la preservación excelente de la estructura original de la madera. En el caso del larimar, cuando está asociado a troncos vegetales, el reemplazamiento (epigénesis) del tejido leñoso (petrificación) por pectolita y natrolita, no fue completo, dado que la estructura leñosa de los troncos no quedó bien preservada. Tan solo guardan una apariencia, a modo de una réplica falsa o seudomorfo, que muestra en la mayoría de los casos únicamente su forma externa, al grado que casi se le podría clasificar como una xilotila, es decir, aquellos minerales con aspecto de madera fósil (Fig. 7). Esto se debió al ambiente agresor y destructivo de la hidrotermalización: fluidos ácidos (posiblemente con un pH entre 5 y 6) y calientes (200° a 340 °C), que actuaron en forma rápida, impidiendo una epigénesis lenta, donde la seudomorfosis de la pectolita y la natrolita como material petrificante, no conserva íntegra la estructura histológica. Puesto que el prefijo *xilo* (*xil*),

procedente del griego *xylon*, significa leño o madera, se propone el término xilolarimar para este tipo de petrificación.

Dado que el larimar está relacionado con actividad hidrotermal de temperatura intermedia y, puesto que no afecta a las rocas calcáreas sobreyacentes del Eoceno, su edad ha de ser contemporánea a la edad de las rocas ígneas básicas y más antiguas que la de las calizas. Sin embargo, no existen dataciones radiométricas directas en la mina de los Checheses.

Conclusiones

El larimar corresponde con una roca compuesta por pectolita, que suele presentarse asociada con algo de natrolita y calcita, así como trazas de material carbonoso, calcosina y, a veces, diseminaciones de hilos de cobre nativo, tomsonita y talco, entre muchos otros minerales. Se presenta en un área muy restringida (< 0,3 km², mina de Los Checheses-Los Chupaderos), debido a que la falla Arroyo Seco, de tipo inversa-sinistral, expuso el basamento. Su edad es con seguridad pre-Eocena Media, muy posiblemente Cretácica.

La roca encajante consiste de coladas de basaltos olivínicos, así como brechas asociadas. Las rocas se presentan fuertemente alteradas, con serpentización muy intensa de los olivinos (algunos iddingsitizados y arcillificados), y piroxenos arcillificados; sericitación y carbonatización de las plagioclasas. Los espacios (vetas y vesículas) están rellenas de pectolita, calcita y zeolitas (natrolita). La geología de las rocas ígneas básicas expuestas en la mina difiere, también, en ciertos aspectos con respecto al resto de afloramientos ígneos básicos en los alrededores, en particular por la abundancia de olivino.

El larimar se presenta diseminado, relleno de vesículas, fracturas, cavidades y substituyendo antiguos troncos vegetales. Su origen es epitermal transición a mesotermal del tipo sericítico con una temperatura de formación estimada en diversos trabajos previos y el presente, entre unos 200° y 340 °C. Los restos vegetales, provenientes de un ambiente subaéreo, en una isla volcánica, fueron enterrados y afectados por una epigénesis de troncos vegetales por alteración hidrotermal de temperatura intermedia. Su modo de formación no es similar al xilópalo (ópalo leñoso), donde se da una preservación histológica perfecta de la madera. Aquí la fosilización (petrificación) es más incompleta, debido a un ambiente hidrotermal más destructivo y los minerales que substituyen la madera son la pectolita y la natrolita. Se propone el término de xilolarimar para este tipo de tronco petrificado.

Aunque se requieren más estudios para comprender esta roca y gema, única hasta el momento en el mundo, la historia de su formación sería, de modo sucinto, como sigue:

a) En una isla oceánica, volcánicamente activa, se producen coladas de lava (basaltos olivínicos) y brechas asociadas (autobrechas y brecha polimícticas). Este proceso posiblemente ocurrió durante el Cretácico.

b) Enterramiento repentino de un bosque por procesos volcánicos y volcano-sedimentarios.

c) Alteración hidrotermal producto de una segunda ebullición, de temperatura intermedia (200° - 340 °C), en varias fases, donde la materia orgánica fue substituida poco a poco, quizás en el siguiente orden: natrolita + calcosina → hematita + pectolita blanca ± pectolita azulada → pectolita blanca, rosada y translúcida → pectolita azul → pectolita azul y verdosas → calcita + pectolita incolora + Cu nativo. Las rocas volcánicas presentan una intensa alteración hidrotermal sericítica, meteorización y tectonismo. Su orden de formación de minerales pudo haber sido: olivino + piroxenos + minerales opacos → calcita + sericita + serpentina + arcillas → pectolita → vetillas de cuarzo.

d) Una fase compresiva pos-Eocena, originó pliegues y una falla inversa, que afectaron a la unidad mineralizada.

e) El levantamiento tectónico pos-Mioceno de la región y la erosión, expusieron la unidad mineralizada.

Agradecimientos

Se agradecen los comentarios de Christoph Breitzkreuz y Flavia Salani. El inglés fue revisado por Thomas Vogel. Dos lectores anónimos, particularmente uno de ellos, contribuyeron de manera significativa al mejoramiento del texto, tanto en su contenido como en su forma. La Sociedad Dominicana de Geología (SODOGEO) colaboró con el apoyo parcial a la presente investigación. El Museo del Larimar puso a la disponibilidad sus muestras para ser fotografiadas. Se agradece al Ing. Jesús Miguel Lebrón, coordinador del Laboratorio de la planta de Cemento Domicem, Palenque, República Dominicana, por el análisis químico. A Eulogio Pardo y Javier Escuder por hacer posible la presente publicación

Referencias

- Arem, J.E. 1977. *Color Encyclopedia of Gemstones*. Van Nostrand Reinhold, New York, xxvii + 147 pp.
Bente, K., Thurm, R. y Wannermacher, J. 1991. Colored

- Pectolites, so-called "Larimar", from Sierra de Baoruco, Barahona Province, southern Dominican Republic. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 1, 14-22.
- Correcher, V., Garcia-Guinea, J., Castillejo, M., Oujja, M., Rebollar, E. y López-Arce, P. 2006. Laser-induced fluorescence and thermoluminescence response of a Na-Ca rich silicate. *Radiation Measurements*, 41: 971-975.
- Díaz, C. 1976. *Iniciación práctica a la Mineralogía*. Ed. Alhambra, S.A., Madrid, xii + 536 pp.
- Dud'a, R. y Rejl, L. 1987. *La grande encyclopédie des minéraux*. Gründ, Francia. Trad. al español (López, M. T., Santos, L. M., Susaeta, J. Laguna, V. y Correa, A.): *Atlas ilustrado de los Minerales*. Susaeta S.A., 2005, Madrid, 277 pp.
- Espí, J.A. 1997. *La pectolita coloreada de la Sierra de Bauruco (Rep. Dominicana): Estudio de su geología y modelo genético, cadena de valor y aspecto social y ambiental*. Informe inédito. Dirección General de Minería, Proyecto SYSMIN II.
- Espí, J.A. y Pérez-Puig, C. 2009. El proyecto sobre el estudio geológico y realización de infraestructura de apoyo a la minería del Larimar en la República Dominicana. *Publicación tecnológica y docente de la Escuela de Minas de Madrid*, 6, 102-113.
- Fontana, M. 2006. *Piedras Preciosas. Cómo reconocerlas*. Ed. De Vecchi, S.A., Barcelona, 95 pp.
- Guastoni, A. y Appiani, R. 2003. *Tutto minerali*. Mondadori Electa S.p.A., Milán. Trad. al español (Meyer, B.), 2005: *Minerales*. Ed. Random House Mondadori, S.L., Barcelona, 256 pp.
- Hurlbut, C.S. 1976. *Dana's manual of mineralogy*. John Wiley y Sons, Inc., New York, xi + 532 pp. Trad. Español (Martín, G.), 1976 (2^{da} ed.): *Manual de Mineralogía de Dana*. Ed. Reventé, Barcelona, ix + 653 pp.
- Hutchenson, R.M. 1985. *Program for Mining and Economic Development of the Deposits of a Semi-Precious Gemstone, called Larimar, the Barahona Province, Dominican Republic*. Informe inédito. Centro de Documentación, Direcc. General Minas, República Dominicana.
- IGME-BRGM-INYPSA 2010. *Mapa geológico de la República Dominicana, escala 1: 50.000. La Ciénaga (5970-II)*. Informe inédito. Proyecto SYSMIN II - 01-B, Santo Domingo, 202 pp.
- Lamey, C.A., 1966. *Metallic and Industrial Mineral Deposits*. McGraw-Hill Book Company, New York, 567 pp.
- Marcuello, F.Y Guinea, G. 1990. Caracterización mineralógica e histórica del Larimar de Barahona (República Dominicana). *Boletín del Instituto Geomológico Español*, 32: 7-12.
- Maurasse, F., Husler, G., Georges, G., Schmitt, R. y Damond, P. 1979. Upraised Caribbean Sea Floor below acoustic reflector "B" and the Southern Peninsula of Haiti. *Geologie en Mijnbuow*, 8, 71-83.
- Prince, M.T. 2007. *Decorative Stone*. Quintet Publishing Limited, Londres. Trad. al español (Robles, S., Alfonso, P., Campeny, M., Melgarejo, J.C.), 2008. *Rocas ornamentales. Identificación, usos, geología, asociaciones históricas*. Ed. Blume, Barcelona, 288 pp.
- Schumann, W. 1978. *Edelsteine und Schmucksteine*. Trad. al español: *Guía de las piedras preciosas y ornamentales*. Omega, Barcelona, 255 pp.
- Sen, G., Hickey-Vargas, R., Waggoner, D.G. y Maurrasse, F. 1988. Geochemistry of basalts from the Dumisseau Formation, southern Haiti: implications for the origin of the Caribbean Sea Crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 87, 423-437.
- Sinton, C.W., Duncan, R.D., Storey, M., Lewis, J. y Estrada, J.J. 1998. An oceanic flood basalt province within the Caribbean plate. *Earth and Planetary Science Letters*, 155, 221-235.
- Smirnov, V.I. 1982. *Geología de yacimientos minerales*. Ed. Mir, Moscú, 654 pp.
- Thompson, A.J.B y Thompson, J.F.H. (eds.), 1996. *Atlas of Alteration. A field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, vi + 119 pp.
- Woodruff, R.E. 1986. Larimar, Beautiful, Blue - and Baffling. *Lapidary Journal*, 39 (10), 26-32.
- Woodruff, R.E. 1987. The new Caribbean gem. *Aboard*, 11 (2), 6-7 y 58-59.
- Woodruff, R.E. y Fritsch, E., 1989. Blue Pectolite from the Dominican Republic. *Gems & Gemology*, 216-225.

Recibido: abril 2015

Revisado: junio 2015

Aceptado: julio 2015

Publicado: septiembre 2017