

Estudio de fibras y colores del Larimar Dominicano

J. A. Espí

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Ingenieros de Minas y Energía. Ríos Rosas 21, 28003 Madrid
joseantonio.espi@upm.es

RESUMEN

Desde el punto de vista gemológico, además de la coloración, resulta distintivo del Larimar sus figuras y estructuras en la piedra pulida. Su significado geológico se aborda en este trabajo. Ante la imposibilidad de reconocer secuencias de cristalización y relaciones con su entorno de caja en la pectolita coloreada (Larimar) de la República Dominicana, se optó por escanear la superficie pulida sin intermediación alguna y, después, se amplió la imagen hasta realzar el efecto buscado. De esta manera se ha logrado definir rasgos importantes de la historia de su compleja formación, tales como secuencias de deposición en función de su color, visualización de los canales de aporte, relación con la estructura orgánica que a veces la soporta, rasgos de movimientos y deformaciones y, sobre todo, adecuación de las etapas de formación con el modelo de formación anteriormente deducido.

Palabras clave: coloración mineral, gemología, génesis mineral, Republica Dominicana, geología dominicana.

Study of fibers and colours in Dominican Larimar

ABSTRACT

The origin of the blue pectolite has hardly been studied. Now this BGM special issue is devoted to this unusual stone. Thus the reader is referred to the two accompanying papers. As we were unable to recognize the crystallization sequences and relationships with their environment of the coloured pectolite (Larimar) in the Dominican Republic, we decided to scan the polished surface without any intermediaries, and then expand the image to enhance the desired effect. Thus the defining traits have been achieved in the history of its complex formation, such as deposition sequences based on their colour, display input channels, the organizational structure that it sometimes supports, features of movements and deformations and, above all, fitness with the model previously deduced.

Key words: Dominican geology, Dominican Republic, mineral colouration, gemology, mineral genesis.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction and methods

With the microscopic examination of the Dominican Larimar the findings about colours, fibers and their configuration are very difficult to establish and, often, it is completely impossible to recognize crystallization sequences and relationships with its surrounding geology. Therefore, we decided to reproduce its direct image sometimes with polished sections and sometimes by simply highlighting the section through plastic lacquer. The captured image was by scanning the polished surface without any intermediaries, and then expanding the image to enhance the desired effect.

Results and interpretation

Phases of colour

Figure 1 shows the phases caused by the depletion of color. The transparent pectolite appears linked to the exterior, the green is always in the igneous rock and is the cause of the colour. The blue almost always sud-

denly changes and its fibers are slightly longer than the green, which runs out and then changes to white. This is an almost complete sequence of the colour temporal relationships.

The appearance of pectolite

Not all pectolite reaches the crystallization site in the same way. Thus, transparent pectolite has penetrated the plant stem, or the hole left by it, from the organic cylindrical walls, as shown by the input channels in Figures 10 and 11. Furthermore, in other situations, especially in small stems, the channel is wider and more diffuse (Fig.5).

The colour and fiber

The green, blue and sometimes white pectolites are the ones that show a fibrous texture, and are often long, as indicated in Figures 8 and 9. Also, blue, elongated fibers form bundles and change colour by collision with other growths in other directions, such as in the "honeycomb" texture (Figs. 10 and 11) or in a cross shape when there are four crystallization centres along the stem (Fig. 12).

Substitutions

Clearly the bluish pectolite, always posthumous, is able to replace the green, but also in the early stages of crystallization, when the first pectolite phase invades the stems and their contents, and then, organic matter is replaced by pectolite that becomes a black mineral but with a pectolitic nature. Subsequent arrivals (always in a short space of time) replace both the organic matter in the gaps on all sides, including the cracks in the organic material (Figs. 19 and 20).

Deformations

Figures 24 and 25 show crushed stalks filled with a wet phase and deformed plastic of the very obvious opening choked organic fragments. Rolling stem signals are abundant: around the stem as in Figures 28 and 29 or as in internal movements. All these movements occurred while the stem turned on its axis and the coloured pectolites were crystallizing.

Metals and sulphides

Native copper is always found between the two stages of crystallization and always connected to the latest and bluest (Fig. 39). Pyrite is relatively abundant, especially in the early mineralization stages of the organic material, indicating its possible origin (Fig.42)

The fruits and seeds

The degree of conservation of some fruits is curious and surprising and in some cases matches what are called "balls" of pectolite, prized by the miners (Figs. 43 and 44). They also have a curious abundance of calcite and pectolite cores with a pure and translucent blue.

The timing of crystallization

There are plenty of reasons to understand the brief temporal space that happened between the first substitutions of organic matter and the arrival of other pectolite features, blue-green in colour. Therefore, the rolling signals of the stems, the internal deformation (fractures and plastic phase motion) are contemporary with the final settlement signals (flat bases, segregations parallel to the base, coloured pectolite depositions in the inner core).

In the case of coloured pectolite filled fractures and upwards, this just mixed with or replaced the primitive or almost transparent pectolite. That is, between the first stage and the following transparent stage the pectolite must have had sufficient time for the primitive pectolite to have crystallized.

Coloured pectolite

The colour is a crucial aspect, since this mineral has no aesthetic value whatsoever in the the white common variety, but it is an object of jewellery when it appears with a defined color. Moreover, among the two commercial varieties, the green and the blue, it is the latter that is more valued and listed and the most sought after colour is turquoise.

Understanding the causes that have transformed the colour of the pectolite has always been of great interest, and there have been many theories. One of the very few studies that has been done on this topic corresponds to the article entitled "Colored pectolites, so-called Larimar, from Sierra de Bahoruco" of K. Sorbent, R. Thum and J. Wannemacher (1991). This paper recognizes the hydrothermal origin of pectolites, linked to the last stage of the serpentinization basaltic series, providing minerals as calcite, natrolite, chalcedony and hematite. Furthermore, there are some cases that contain native copper. The pectolite, according to the authors, appears as fibrous crystals, and has been studied in several varieties linked with colour (pure white, green, light blue and blue). These samples have been analyzed for their major and trace elements, in addition to ATD. The conclusions refer to the association of green with colour centres disappearing at 240 ° C and blue dyes are linked to the presence of relatively high amounts of vanadium (up to 134ppm).

Furthermore, the research carried out by J. A. Espí in 1997, relying primarily on trace geochemistry and petrography, reached the conclusion that in both hand samples as well as in microscopy and analytical values, the presence of manganese was always related to the bluish color, as long as there was a high copper base level (in agreement with K. Bente). However, high levels of vanadium did not appear. Dr. Heinz-Jürgen Bernhardt Bernhardt RU-University Bochum, who also studied three samples, selected profiles of crystals of pectolite made up of different colours and found no variations to explain why pectolites change from white to coloured, frequently within the same crystal fiber.

Therefore, as a final contribution, in 2010 a sample was prepared of the sequence of pectolite crystallization by choosing from among all the well classified varieties. The geochemical sampling preparation was carried out with great care, separating the igneous rock from the crystallization, trying to relate the first pectolite crystallization and relate the color envelope with the geochemical profile, but also considering the origin and the formation episode. Thus, the pure green color was extracted from the large vacuoles that appear inside the basalt and, of course, are related to the early stages of the mineralization. Then, care was taken to choose a sample with no coloration at all which corresponded to an invasive phase in other breakage levels and holes occupying the coking of the organic matter. Finally, a sample of extraordinary blue colour was chosen, without any mixture of other colours and shades.

It is clear that this corresponds to bluish pectolite, relatively high in vanadium and copper. The other colours lack these levels of both metals and almost constitute an anomaly. Furthermore, these high levels of vanadium and copper are typical of rock types in which the bluish pectolite paleosoils are located, volcanic basalts and configuring the leach-deposition pattern between the surrounding rock and the hole in the basic volcanites, the paleocauces clays. Both the minimum height for the stack of volcanic upstream reefs as well as the colour depletion in several cases supports the image of this process.

	V (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)
Blue pectolite 1 ^a	143	58	24	282
Pectolite completely white and transparent	7	19	8	857
Green and pink Pectolite	6	10	8	864
Pectolite and calcite, white and green. Vacuole	4	14	17	412
Contact clay-blue pectolite 11/067	103	83	573	1167
Rock contacted the green pectolite 11/069	129	60	134	911
Basalt with vacuoles	252	111	718	1435
Red clays in core. 44m	144	913	100	558

Introducción

El origen de la pectolita azulada de la R. D. apenas ha sido estudiado y ahora, en este número monográfico del BGM se le dedica especial atención. Por ello se

remite al lector a los dos artículos que acompañan a este número monográfico del BGM "Origen y modelo de formación de la piedra semi-preciosa Larimar en la Sierra de Bahoruco, R. Dominicana" de J. A. Espí y Cosme Pérez-Puig Obieta y "El larimar (pectolita

azul), República Dominicana: síntesis sobre el estado de su conocimiento” de Guillermo E. Alvarado, Eduardo Verdeja, Javier Rodríguez y Manuel Barrantes. En ellos se trata del origen y la disposición actual de esta piedra preciosa.

Desde el punto de vista gemológico, además de la coloración, resulta distintivo del Larimar sus figuras en la piedra pulida. Su significado geológico se aborda en este trabajo que, además, contribuye a fijar las condiciones de formación, ligando el color con la estructura interna.

Estudio de las formas cristalinas del Larimar

Método

En el Larimar Dominicano y en su estudio microscópico, las apreciaciones sobre colores, fibras y su disposición son muy difíciles de establecer y, muchas veces, resulta totalmente imposible reconocer secuencias de cristalización y relaciones con su entorno de caja. Por ello se planteó reproducir su imagen directa en secciones pulidas unas veces y, otras, simplemente resaltando la sección por medio de laca plástica. La captura de su imagen se realizó escaneando la superficie pulida sin intermediación alguna y, después, ampliando la imagen hasta realzar el efecto buscado.

Resultados y su interpretación

A continuación se irán repasando consecuencias obtenidas sobre más de 150 imágenes, clasificadas según objetivos presumidos con anterioridad.

Fases del color

En la Figura 1 se aprecia que las fases se suceden por agotamiento de las causas del color unas veces y en otras por llegada de nuevas aportaciones de pectolita de diverso origen. La pectolita transparente aparece ligada al exterior, la verde reposa siempre en la roca de caja y toma de ella la causa del color. La azul cambia de manera casi súbita y su fibra es ligeramente más larga que la verde hasta agotarse y pasar al blanco. Esta es una secuencia casi completa de las relaciones temporales del color.

Así, la pectolita casi transparente aparece siempre tapizando el interior de los huecos de cristalización y, generalizando aún más, rellena los basaltos en donde cristalizan las variedades con color. En la Figura 2 una

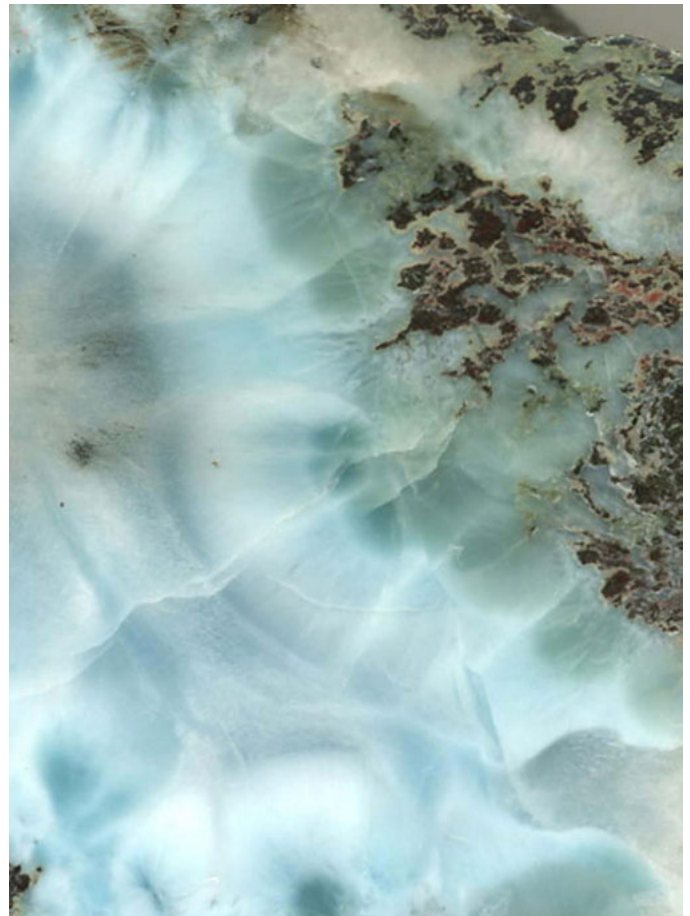


Figura 1. Secuencia siempre presente de la serie: pectolita transparente - pectolita azulada, faltando la verde intermedia.
Figure 1. Sequence: pectolite transparent – blue pectolite, green intermediate missing.

vena de pectolita azulada atraviesa un nivel volcánico totalmente invadido por pectolita transparente.

No siempre la secuencia pectolita transparente-verde-azul-blanca se encuentra totalmente completa y, sobre todo, el verde a veces desaparece total o parcialmente, creciendo entonces la azulada directamente sobre la transparente (Figura 3 y 4). Esto no es ni más ni menos, que un exponente de la variedad de transformaciones que ocurren en el hueco de cristalización en donde a una velocidad no determinada, pero rápida, se suceden acontecimientos, parte de los cuales dejan huella como veremos a continuación.

La aportación de pectolita

No toda la pectolita ha llegado de la misma manera al lugar de cristalización. Así, la pectolita transparente ha penetrado en el tallo o el hueco dejado por él,

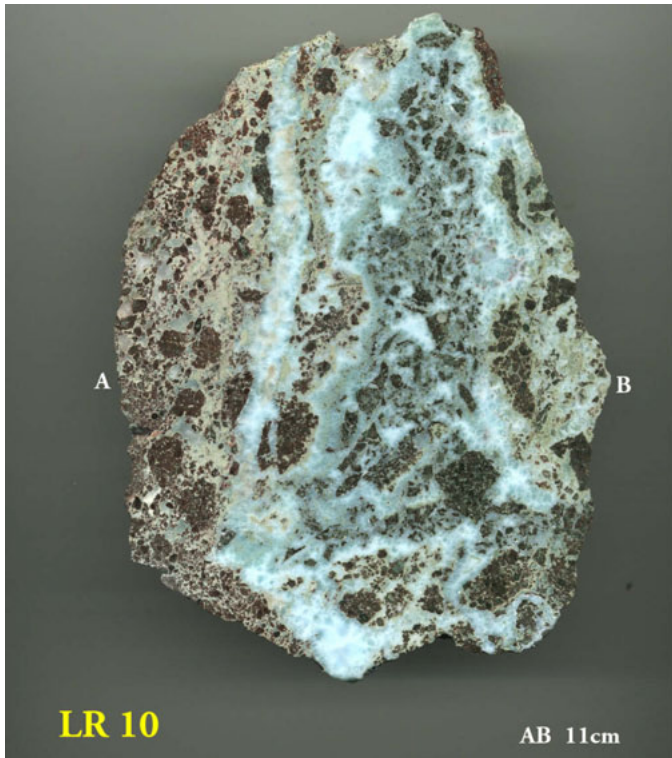


Figura 2. La misma secuencia de pectolita transparente-pectolita azulada, esta vez en una veta atravesando una roca brechificada. En esta situación nunca aparecería la pectolita verdosa.
Figure 2. The same sequence of pectolite/pectolite transparent-blue, into a vein through brecciated rock. In this situation the pectolite never appears greenish.

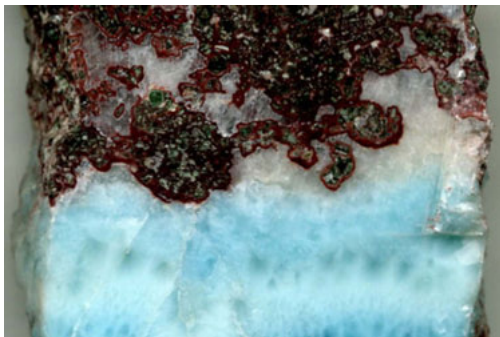


Figura 3. La composición de la roca de caja, en este caso ferruginosa, está relacionada con la coloración azul turquesa, la más apreciada. La secuencia es de pectolita transparente-pectolita azulada.
Figure 3. The igneous rock composition, in this case ferruginous, is related to turquoise colour, the most appreciated. The sequence is clear, pectolite - bluish pectolite.

desde las paredes del cilindro orgánico, tal como señalan los canales de aportación de las Figuras 10 y 11. Además, en otras situaciones, sobre todo en tallos de pequeño tamaño, el canal resulta más ancho y difuso (Figura 5)

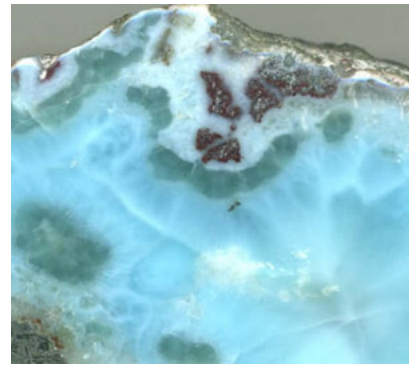


Figura 4. En esta muestra se presenta la secuencia completa: pectolita transparente- pectolita verdosa- pectolita azulada. Obsérvese como la variedad verde aparece en forma de relictos, sustituida por la azulada.
Figure 4. This sample shows the complete sequence: transparent pectolite - greenish pectolite -bluish pectolite. Notice how the green variety appears as a relic, replaced by blue.

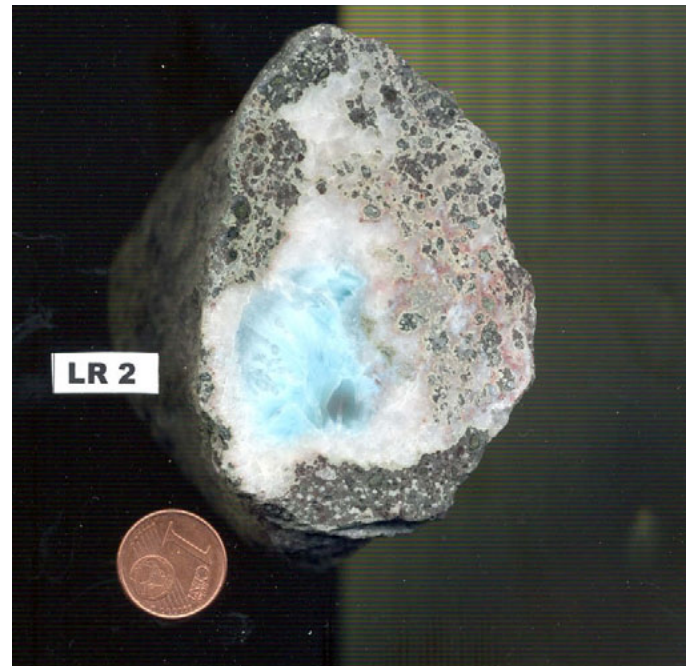


Figura 5. El hueco o molde del tallo vegetal se encuentra invadido por la pectolita transparente, dejando en un sitio lateral para la cristalización de una fase azulada posterior.
Figure 5. Stem plant mold invaded by transparent pectolite, leaving a lateral site for a posterior crystallization stage in bluish colour.

En otros casos, el medio de acceso de pectolita al tallo ha sido una fase viscosa o "barro" cargado de este mineral (Figuras 6 y 7) en un trayecto longitudinal. En las figuras se aprecian las deformaciones que, por la naturaleza plástica de la matriz, señalan los últimos movimientos acaecidos en el interior.



Figura 6. Ejemplo de una fase fluida con elevada presencia de arcilla y que señala un régimen de movimiento y acomodación.
Figure 6. Example of a fluid phase with abundant clay presence showing a regime of movement and accommodation.

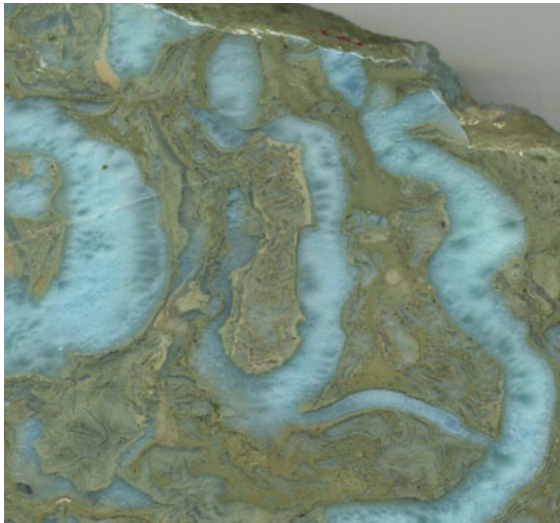


Figura 7. Otro ejemplo parecido al de la figura anterior. La cristalización de pectolita es semejante a la general, siempre sin el término de pectolita verde.
Figure 7. Another example similar to the previous figure. Pectolite crystallization is similar to the common way, always without producing a green pectolite.

El color y la fibra

Las pectolitas verdes, azules y, algunas veces, blancas, son las que señalan una textura fibrosa, frecuentemente con cristales de gran tamaño relativo, tan cómo se señalan en las Figuras 8 y 9.

También, las fibras azules y alargadas forman haces y cambian de color por choque con otras, con crecimiento en otras direcciones tal como ocurre en las texturas de cristalización en “nido de abeja” (Figuras 10 y 11) o en cruz cuando existen cuatro centros de cristalización a lo largo del tallo (Figura 12).

Los haces de fibras a veces se distinguen unos de otros formando superficies combadas cuando son



Figura 8. En la imagen se aprecian los haces de fibras de pectolita azulada que se tornan blanco al doblarse.
Figure 8. In the image bluish pectolite fibers that turn white when bent can be seen.



Figura 9. Núcleos de cristalización de fibras largas y azuladas a partir de retazos de pectolita verde. La secuencia de pectolita transparente-verde-azulada se aprecia con detalle.
Figure 9. Bluish long fibers of crystallization nuclei from fragments of green pectolite. The sequence of pectolite transparent-green-blue is shown in detail.



Figura 10. Ejemplo notable de un tallo de apreciables dimensiones sustituido en parte por pectolita. Se puede observar los conducto de aporte de pectolita transparente y la textura en “nido de abeja” de la pectolita azulada, claramente posterior.
Figure 10. A notable example of a stem with appreciable dimensions replaced in part by pectolite. The transparent pectolite input conduit and clear bluish pectolite with a “honeycomb” texture can be seen.

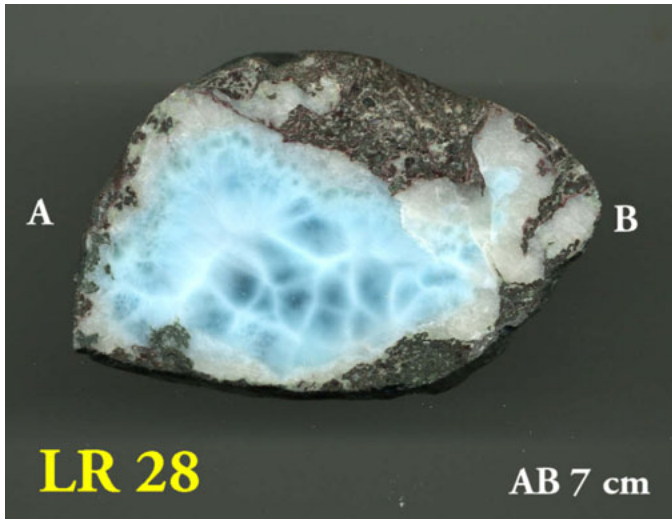


Figura 11. Otro ejemplo de la secuencia pectolita transparente-azulada con cristalización en "nido de abeja" en dónde se aprecian los canales de aporte deformados por una fase tectónica posterior.
Figure 11. Another example of the blue-transparent pectolite sequence with "honeycomb" crystallization where input channels deformed by a subsequent tectonic phase can be seen.

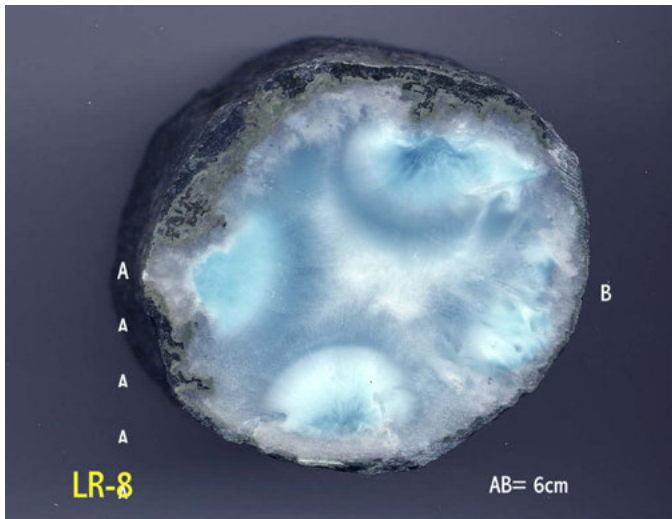


Figura 12. En este caso el relleno de pectolita azulada parte de cuatro puntos de cristalización dentro del hueco del tallo vegetal, formando al final, una cruz de fibras coloreadas en azul.
Figure 12. In this case the bluish pectolite filler begins from four points within the hollow crystallization plant stem, forming at the end, a blue cross of colored fibers.

muy largas, y cambian del color azul al blanco cuando chocan con otras (Figuras 13 y 14)

Los puntos de cristalización de las fibras suelen ser puntiagudos y parecen determinar la longitud de las mismas, tal como se puede apreciar en la Figura



Figura 13. Se aprecian los haces deformados de fibras de pectolita.
Figure 13. Deformed pectolite fibers are shown.

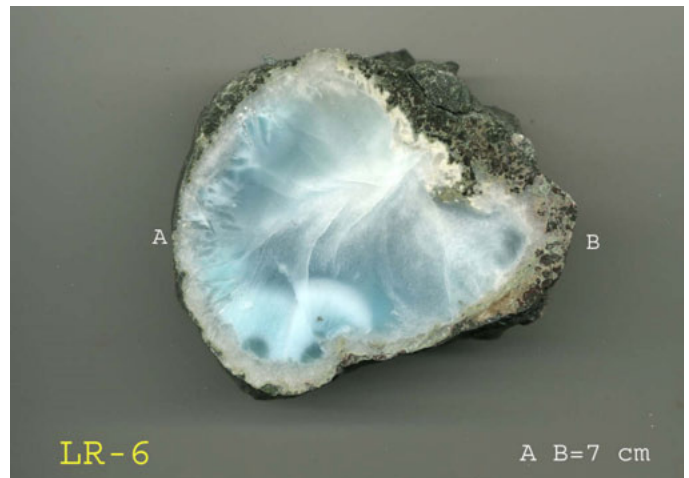


Figura 14. Vista general de los haces arborescentes de fibras de pectolita.
Figure 14. Overview of arborescent pectolite fiber bundles.



Figura 15. La pectolita verdosa crece directamente sobre las paredes de una gran vacuola en las lavas basálticas.
Figure 15. The greenish pectolite grows directly on the walls of a large vacuoles in basaltic lavas.

15 en pectolita verde. El crecimiento de las fibras de pectolita azul procede de núcleos internos y se extiende hacia las paredes (Figura 16). En la muestra parece apreciarse en algún núcleo celdas vegetales, tales como aparecieron en alguna lámina delgada.

La pectolita incluida en una matriz pastosa y con señales de movimiento, carece de fibras largas y los núcleos de cristalización también se desplazan, amontonándose unos con otros. Las Figuras 17 y 18 resultan muy explicativas de este efecto.

Las sustituciones

Resulta claro que la pectolita azulada, siempre póstuma, es capaz de sustituir a la verdosa, pero, además, en las primeras fases de la cristalización, cuando la primera avenida de pectolita invade la roca de caja de



Figura 16. Pectolita de notable color azul turquesa cristalizando sobre la transparente que atraviesa las lavas basálticas.
Figure 16. Remarkable turquoise blue pectolite on transparent crystallizing basaltic lavas.

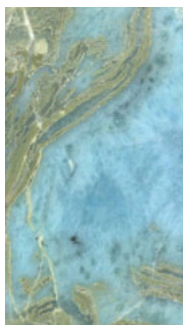


Figura 17. Ejemplo de cómo las fibras coloreadas de pectolita son relativamente cortas cuando la masa cristalizada presenta señales de movimiento fluido.
Figure 17. Short pectolite colored fibers when crystallized mass shows signs of fluid motion.



Figura 18. Otro ejemplo que muestra la escasa dimensión de las fibras cuando la pectolita se estaba deformando.
Figure 18. Another example showing small fibers when the pectolite was deforming.

los tallos orgánicos, la materia orgánica resulta sustituida por una pectolita que la transforma en un mineral de color negro pero de naturaleza pectolítica. Posteriores llegadas (siempre en un corto espacio de tiempo) sustituyen tanto a la materia orgánica como a los huecos existentes, incluidos los de las grietas en la materia orgánica (Figuras 19 y 20)

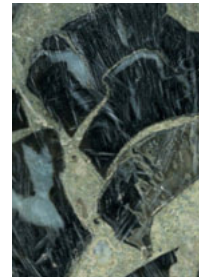


Figura 19. Pectolita azulada ocupando las grietas del tallo carbonizado y sustituido por pectolita primigenia.
Figure 19. Bluish pectolite occupying stem cracks and replaced by primary pectolite.

En la Figura 21 el barro verdoso se introdujo a través de las fracturas, ensanchando el espacio. El barro estaba saturado de pectolita (esférulas) aunque sin color. Esta fase saturada sustituyó a los fragmentos orgánicos carbonizados sin dejar señal alguna de la materia primitiva. En el fragmento superior muestra la sustitución azul sobre blanco, pero el agotamiento del color es claro, existiendo facetas sin color alguno, a pesar que nadan en el barro verdoso.

En la Figura 22 se aprecia como el tallo se rellenó de pectolita temprana transparente, mezclada con la pasta beig. Después sustituyó a los fragmentos de carbón pero sin fibras largas. Todo ello en estado viscoso.

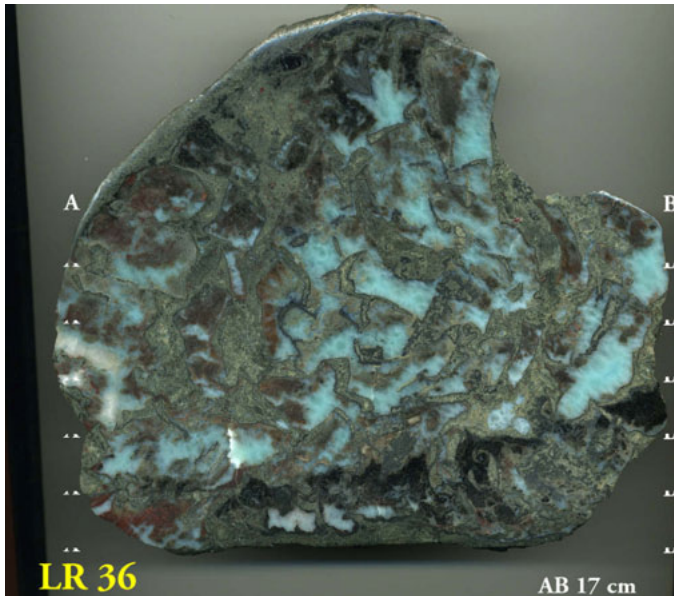


Figura 20. Señales de movimiento y de sustituciones secuenciadas en un gran tallo orgánico. Además de rotar el tallo señala la posición de reposo por presentar una base perfectamente plana. También se aprecian aglomeraciones de cristales de pirita con señales de rodadura.

Figure 20. Motion and substitutions signals in a large organic stem. Besides the rotating effect, the stem indicates a rest position showing a perfectly flat base. Pyrite groups with rolling signs can also be seen.



Figura 21. Sustitución de la pectolita azul sobre la blanca y transparente.

Figure 21. Replacing the blue pectolite on white and transparent pectolite.

La Figura 23 muestra en el fragmento superior la sustitución azul sobre blanco, pero el agotamiento del color es claro, existen facetas sin color alguno, a pesar que nadan en el barro verdoso.

Deformaciones

El aplastamiento de los tallos cuando estaban rellenos de una fase húmeda y plástica los deformó de manera muy evidente, abriendo los fragmentos de

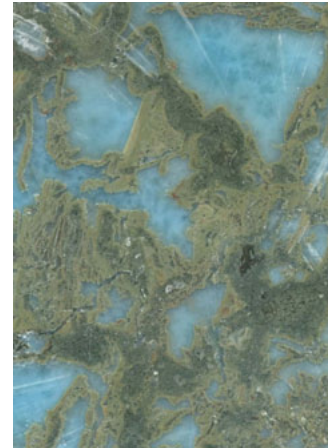


Figura 22. En un tallo relleno de material arcilloso, la pectolita azulada reemplaza a la transparente.

Figure 22. In a stem filled with clay material the bluish pectolite replaces the transparent one.



Figura 23. Sustitución parcial de la pectolita blanca por la azulada. Antes de culminarse sufrió una fragmentación.

Figure 23. Partial replacement of white pectolite by bluish pectolite. Before culmination it suffered fragmentation.



Figura 24. Ejemplo de como un tallo orgánico ha sido aplastado por el peso de la pila de materiales volcánicos en dónde encajaba.

Figure 24. Example of how an organic stem has been crushed by the weight of volcanic materials where it fitted.



Figura 25. Imagen completa de un tallo coquizado, sustituido por pectolita azulada y finalmente deformado por aplastamiento.
Figure 25. Full image of a coked stem, replaced by blue pectolite and finally deformed by crushing.

materia orgánica coquizada tal como muestran las Figuras 24 y 25.

Además, en esa posición se produjeron segregaciones que percolaron hacia la base (Figuras 26 y 27).



Figura 26. Señal de segregación de pectolita azulada en la parte de reposo del tallo sustituido.
Figure 26. Segregation signal of bluish pectolite on resting part of the substituted stem.



Figura 27. Otra segregación de pectolita en la base de reposo de un tallo relleno de pectolita blanca.
Figure 27. Another pectolite segregation on the base of a stem filled with white pectolite.

Las señales de rodadura del tallo son muy abundantes: bien en todo el tallo tal como se observa en las Figuras 28 y 29 o como en el movimiento interno. Todos estos movimientos se realizaron mientras el tallo giraba sobre su eje (sin duda por deslizamiento de ladera de materiales no consolidados) y las pectolitas coloreadas estaban cristalizando.



Figura 28. Deformación de rodadura de un tallo sustituido por pectolita y calcita.
Figure 28. Rolling deformation of a stem replaced by pectolite and calcite.

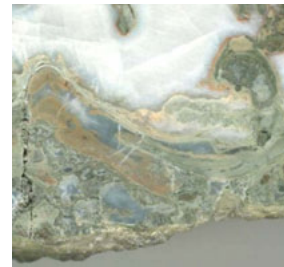


Figura 29. Señales de rodadura en el interior de un tallo totalmente sustituido por pectolita de diferentes colores.
Figure 29. Rolling signals inside a stem completely replaced by different coloured pectolites.

Además, existen situaciones de microfisuras (Figura 30) y roturas mientras cristalizaban minerales como la pirita (Figura 31).

Prácticamente todos los tallos han sido encontrados en posición tumbada y con una superficie plana como base de apoyo (sin duda enterrados en sedi-



Figura 30. Señal de rotura y soldadura mientras cristalizaban las fibras de pectolita azulada.

Figure 30. Breakage and welding signals while pectolite bluish fibers crystallized.

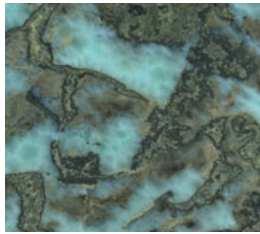


Figura 31. Diversas roturas en los fragmentos de pectolita azulada en el interior de un gran tallo orgánico.

Figure 31. Numerous breaks in bluish pectolite fragments inside a large organic stalk.

mentos de ladera deslizados). Es decir, en esta posición se produjeron las últimas etapas de cristalización, además de recoger en su base pectolita segregada, a veces coloreada (Figura 32).

Sin embargo no hay que confundir los aplastamientos originales, fruto de la presión del enterramiento, con las laminaciones tectónicas que afectan a las concentraciones de pectolita y que les proporcionan formas almendradas (Figuras 33 y 34)



Figura 33. El fragmento que contiene pectolita deformada, ha sufrido un estiramiento tectónico en forma de almendra.

Figure 33. Fragment containing pectolite, tectonically deformed into an elongated almond shape.

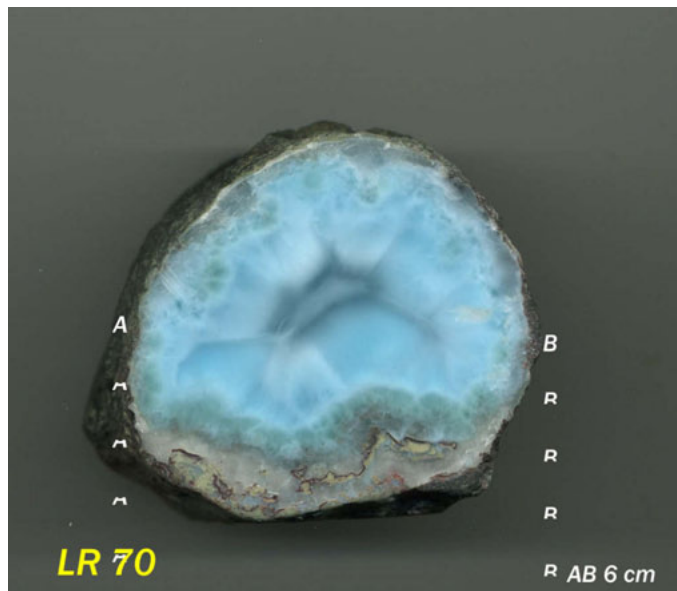


Figura 32. Deformación por aplastamiento de un tallo relleno de una excelente pectolita azul turquesa.

Figure 32. Deformation by crushing of a filled stem with an excellent turquoise pectolite.



Figura 34. Otro caso muy semejante al anterior. La consistencia del núcleo de la pectolita ha condicionado la forma final de la deformación tectónica.

Figure 34. A sample similar to the previous case. The consistency of the pectolite core has determined the final shape of the tectonic deformation.

Relaciones con el entorno

La roca de caja juega, sin duda, un papel muy importante en la coloración y en la cristalización de la pectolita. La coloración azul turquesa es propia de las la materia arcillosa y volcánica de color rojizo, tal como se muestra en una variedad de gran aceptación y precio de la Figura 2.

En otros casos como en la muestra de la Figura 35, las fibras de pectolita azul nuclean directamente sobre la pectolita transparente y cristalina y no existe la coloración verde.

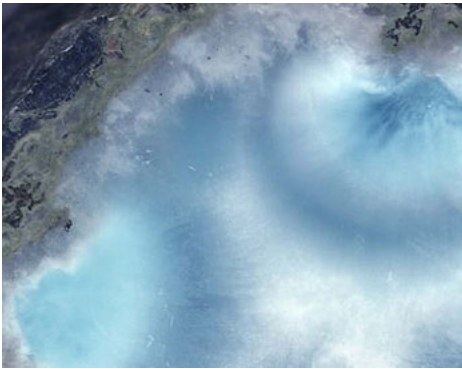


Figura 35. Puntos de cristalización de fibras azules y turquesas directamente emplazados sobre una caja de material volcánico.
Figure 35. Crystallization points and turquoise blue fibers directly deployed on a volcanic rock.

Además, la fibra azul agota suavemente su color y casi pasa al azul difuminado antes de agotarse al blanco. Los colores desaparecen, tanto por la lejanía del germen de cristalización como por el choque con otras fibras (Figura 36).

El agotamiento del color ocurre inevitablemente en la pectolita azul (Figura 37). En otro caso, como el de la Figura 38 se aprecia con contundencia como a partir de la roca verde crece el color azul, mientras que el relleno pastoso de las grietas inferior, más claro, apenas dan tinción azulada. Además, en la pasta interior y exterior aparecen fragmentos de la pectolita azulada. El relleno transparente es de calcita.

Los metales y sulfuros

El cobre nativo aparece siempre entre dos fases de cristalización y siempre ligado a la última y azulada (Figura 39). En una vena que atraviesa el conjunto



Figura 36. Ejemplo de agotamiento de color con la lejanía al centro de cristalización.
Figure 36. Colour depletion example related to the remoteness of the crystallization centre.



Figura 37. Otro ejemplo de como la coloración azul turquesa se agota al alejarse de los puntos de cristalización.
Figure 37. Another example how the turquoise colour runs out when getting away from the crystallization points.

volcánico se aprecia una escarpela de cobre nativo marcando un clasto totalmente sustituido por pectolita azulada (Figura 40)



Figura 38. Muestra de cómo la roca de caja influye en la coloración de la pectolita, tal como se describe en el texto.

Figure 38. Sample showing how the igneous rock influences pectolite coloration, as described in the text.

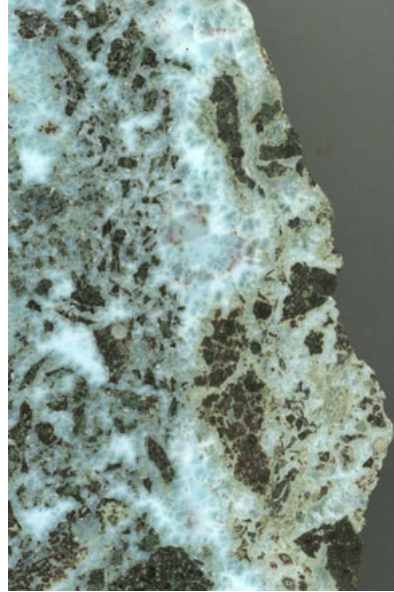


Figura 40. Cobre metálico en una fractura rellena de pectolita azulada.

Figure 40. Copper filling a bluish pectolite fracture.

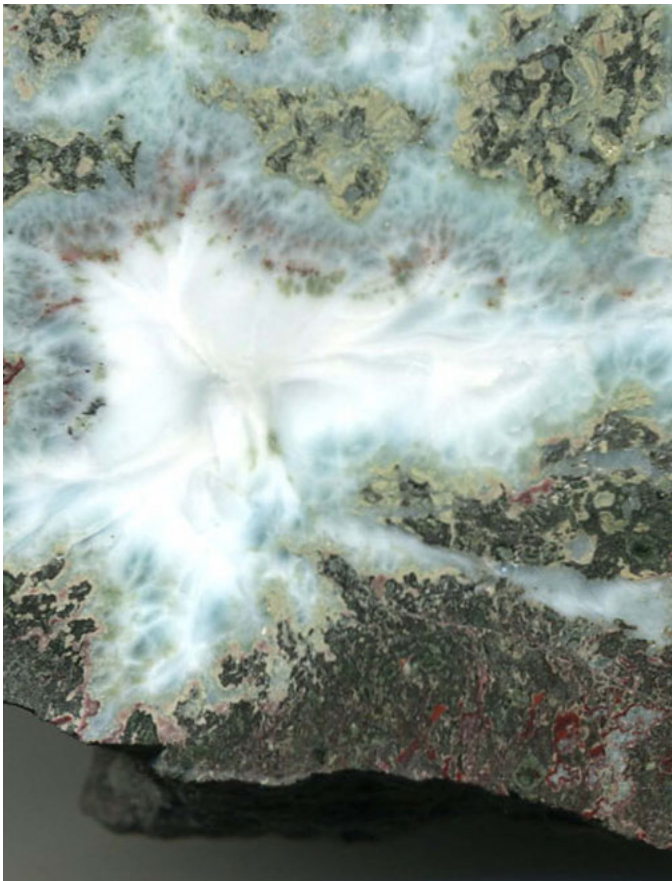


Figura 39. El festón de color rojizo pertenece al cobre nativo depositado a la misma distancia del centro de cristalización.

Figure 39. Reddish festoon belongs to native copper deposited at the same distance from the crystallization centre.

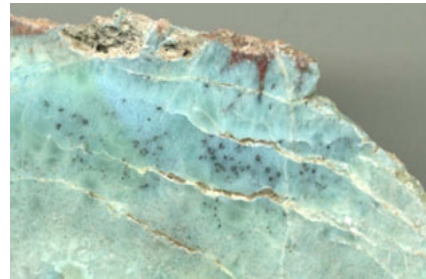


Figura 41. Esférulas de óxidos de hierro en la zona marginal de un relleno de pectolita azulada.

Figure 41. Small spheres iron oxide on the edge of a bluish pectolite filling.

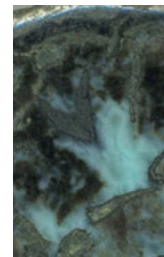


Figura 42. Relleno de agrupaciones de cristales de pirita en el núcleo de un tallo sustituido por pectolita.

Figure 42. Pyrite clusters filling the stem core substituted by pectolite.

En la Figura 41 los granos de metálicos se encuentran rodeando las fibras azules y entre éstas y las verdes.

La pirita resulta relativamente abundante, sobre todo en las primeras etapas de la mineralización de la materia orgánica, señalando así su posible origen (Figura 42)

Los frutos y semillas

Resulta curioso y sorprendente el grado de conservación de algunos frutos que, además y en ciertos casos, coinciden con las llamadas "bolas" de pectolita, muy apreciadas por los mineros (Figuras 43 y 44). Además presentan una curiosa abundancia de calcita y los núcleos de pectolita azul son puros y traslúcidos.

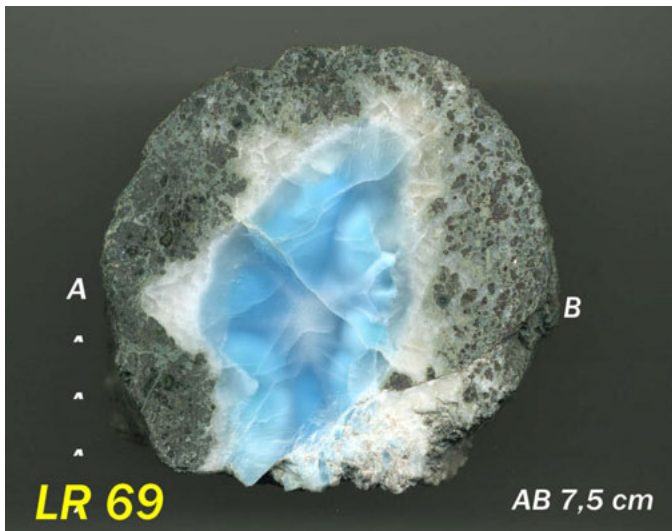


Figura 43. Núcleo de un fruto de forma esférica y relleno de pectolita transparente y azulada. Casi siempre aparece de forma notable la calcita.

Figure 43. Nucleus of a spherical fruit, filled with blue transparent pectolite. It is usually notably calcite.

En otros casos carecen de pectolita azulada (Figuras 45 y 46) e incluso en estado carbonizado (Figura 47).

La temporalidad de las cristalizaciones

Existen abundantes razones para comprender el escaso espacio temporal que sucedió entre las primeras sustituciones de la materia orgánica y la llegada de otra pectolita con características de color verde-azulado. Así, las señales de rodadura de los tallos, las



Figura 44. Otro fruto relleno de abundante calcita y pectolita azulada.

Figure 44. Another fruit filled with blue pectolite and abundant calcite.

deformaciones internas (fracturas y de movimiento en fase plástica) son coetáneas con las señales de asentamiento definitivo (bases planas, segregaciones



Figura 45. Fruto mostrando sus divisiones internas reemplazadas por pectolita azulada.

Figure 45. Fruit showing internal divisions replaced by bluish pectolite.



Figura 46. Detalle de la imagen anterior.
Figure 46. Detail of previous image.

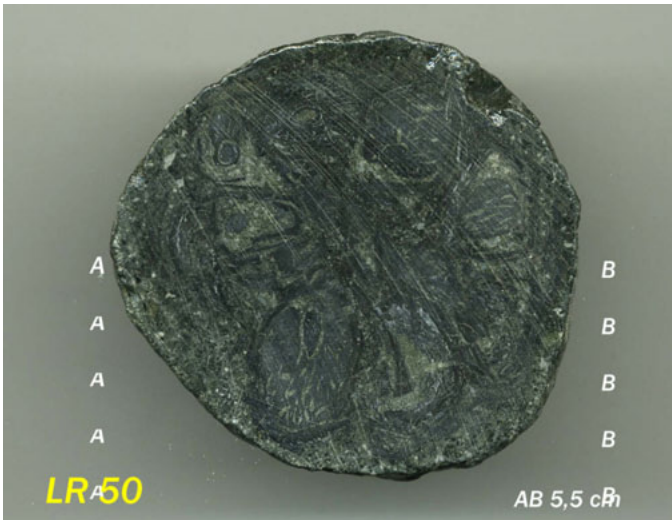


Figura 47. Otro fruto mostrando sus componentes internos pero, en este caso, la pectolita conserva la coloración negra sin sustituciones posteriores.
Figure 47. Another fruit showing its internal components, but in this case, the pectolite retains a black colouration without subsequent substitutions.



Figura 48. Aplastamiento de un tallo sustituido por fases de pectolita transparente y azulada.
Figure 48. Crushed stem replaced by transparent bluish pectolite phases.

paralelas a la base, deposiciones de pectolita coloreada en la base interna). Uno de los numerosos ejemplos se encuentra en la Figura 48.

En el caso de fracturas rellenas de pectolita coloreada y ascendente, ésta, apenas se mezcla o sustituye a la primitiva o casi transparente. Es decir, que entre la fase primera o transparente y las siguientes, al menos debieron transcurrir el tiempo suficiente para que la primigenia hubiera cristalizado.

En todos los casos, no se consideran las segregaciones vacuolares con pectolita en el interior, ni las vetas que parten de ellas y que, aparentemente, son las que aportan material pectolítico a la parte superior de las masas de basalto.

A escala temporal más pequeña, la Figura 49 muestra como la velocidad de crecimiento de las fibras ha sido similar en los cuatro núcleos internos, dando una señal de cruz. Por ello, el aporte de pecto-



Figura 49. Detalle de la cristalización de la pectolita azul.
Figure 49. Detail of blue pectolite crystallization.

lita azulada se realizó longitudinalmente al tallo, rellenándolo por completo.

Esto contrasta con otros casos, de tallo más grueso, en donde las sustituciones son más lentas y complejas, conservándose restos de la materia sustituida, como muestra la Figura 50. Además, al mismo tiempo, esta figura señala algo de su dinamismo de formación. Así, todo el conjunto de pectolita azul está enrollándose sobre sí mismo. Al mismo tiempo se va sustituyendo el carbón y las fibras no llegan a desarrollarse. Nos indica con ello que el reposo era necesario para disponer de fibras alargadas, que son las de mayor valor comercial.

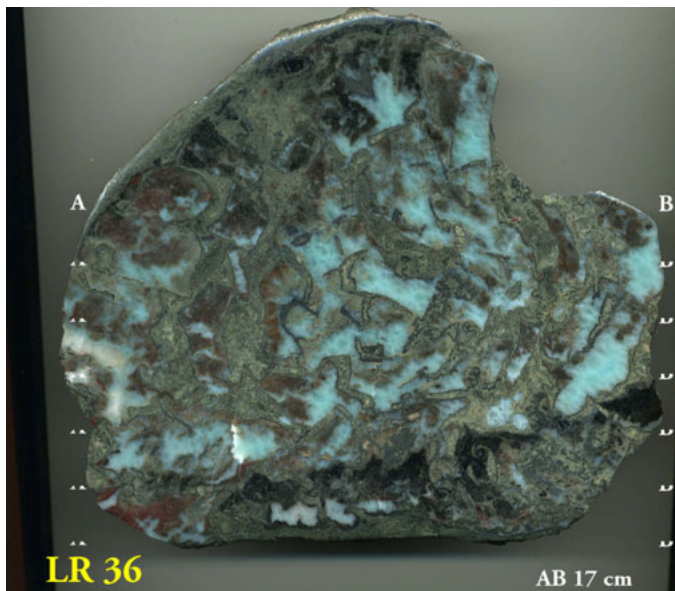


Figura 50. Mezcla de distintas fases y componentes en el interior de un tallo sustituido por pectolita de diversos colores.

Figure 50. Mixture of different phases and components within a stem replaced by different pectolite colours.

Secuencia de formación a través de los rasgos y colores

Figura 51. La pectolita (negra) que sustituye a los fragmentos de materia orgánica carbonizada constituye la primera fase de cristalización. Después, parte de ella fue sustituida por una marrón o transparente. Por último, la fase póstuma de pectolita azul que se aloja entre fracturas de la negra y llega a sustituir completamente algún fragmento marrón.

Figura 52. Una verdadera esponja de pectolita transparente entre fragmentos de roca volcánica alterada en superficie, todo atravesado por una fase filoniana, muy posterior, de pectolita azulada.



Figura 51. La sustitución de la materia carbonosa por pectolita es una de las primeras fases de la transformación de los tallos orgánicos o bien el relleno de hueco dejado por su coquización o combustión.

Figure 51. Replacement of the carbonaceous material by pectolite at an early stage of processing organic stems or filling holes caused their coking or combustion.

Figura 53. En los huecos creados por los tallos orgánicos, con o sin relleno, la pectolita transparente cristaliza sobre toda la pared libre.

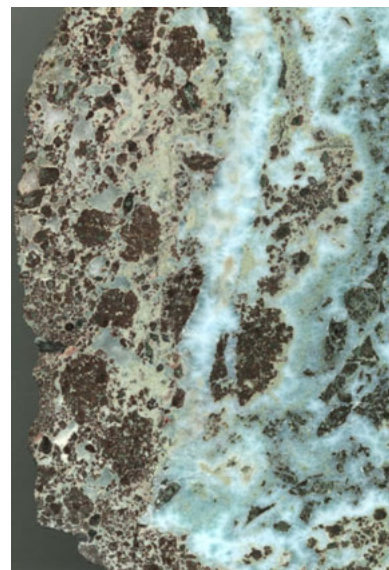


Figura 52. Los episodios piroclásticos o tobáceos de las emisiones basálticas son fácilmente sustituidos por las primeras fases de aportación de pectolita.

Figure 52. The pyroclastic basaltic episodes are easily replaced by the early stages of pectolite injection.

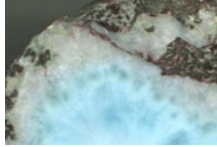


Figura 53. Relleno del hueco o huella de un tallo orgánico por la fase de pectolita azulada.

Figure 53. Filling in of the stem or organic trace with a blue pectolite phase.



Figura 54. En la imagen se aprecia como la pectolita casi transparente es sustituida por una avenida posterior, ya con coloración azulada.

Figure 54. This image shows how an almost transparent pectolite is replaced by a back emission, already a bluish colour.

Figura 54. Ejemplo de cómo el color azul es posterior a la rotura de la materia orgánica sustituida.

Figura 55. El tallo se rellenó de pectolita temprana transparente, mezclada con la pasta beig. Después

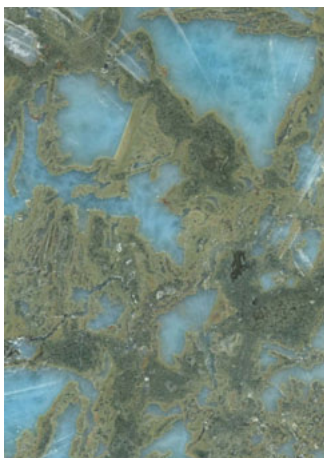


Figura 55. El relleno de algunos tallos que conservan señales de movimiento viscoso también muestra las dos primeras fases de deposición-sustitución (transparente y azulada) anterior mente señaladas.

Figure 55. The filling of some stems conserves the signals of viscous motion also shows the first two mentioned substitution-deposition stages (transparent and bluish).

sustituyó a los fragmentos de carbón pero sin fibras largas. Todo ello en estado viscoso.

Figura 56. En algunos casos, la aparición de una fase muy plástica saturada en pectolita, aporta color a una porción de esta masa, aunque el movimiento puede ser la causa de que sus fibras sean muy cortas, no cristalizan sobre ningún sitio concreto y las fibras poseen diversas direcciones. Por ello, en ellas, no existen fibras largas ni fuertes variaciones de color.

Figuras 57 y 58. Se aprecia la aparición de una fase hidrotemal póstuma que reacciona con las paredes de su conducto de aporte o, incluso, del punto de cristalización formando fibras, primero verdes y luego azules, sobre la pectolita primigenia transparente.

Figuras 59 y 60. El choque de las largas fibras a partir de haces que cristalizan al mismo tiempo, forman figuras poligonales que le dan carácter a la piedra Larimar.



Figura 56. La cristalización en una masa en movimiento como en la apreciada en esta figura, impide a la pectolita azulada cristalizar en largas fibras.

Figure 56. Crystallization from a moving mass as seen in this figure, prevents the formation of long fibers of blue pectolite.

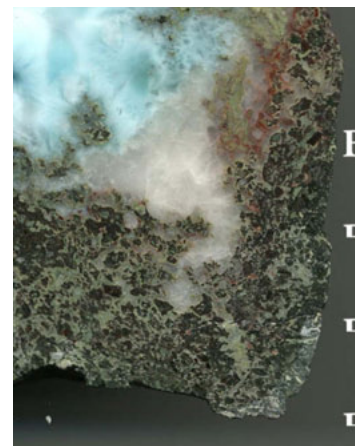


Figura 57. Detalle de como la aparición de la pectolita azulada está netamente separada de la primera aportación transparente.

Figure 57. Detail of how the appearance of bluish pectolite is clearly separated from the first transparent contribution.



Figura 58. Otro caso de separación neta entre las dos principales fases de aportación de pectolita a las estructuras orgánicas.
Figure 58. Another case of clear separation between the two main phases of pectolite invasion to organic structures.

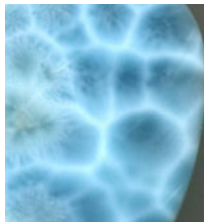


Figura 59. Las estructuras internas de la pectolita azul en forma poligonal se deben al choque de fibras en su cristalización.
Figure 59. The internal structures of the polygonal shaped blue pectolite are due to crystallization fiber shock.



Figura 60. Otro detalle de cómo se forma un punto triple en el crecimiento de las fibras.
Figure 60. Another detail of how a triple point fiber growth forms.

La coloración de la pectolita

El color constituye un aspecto crucial, puesto que hace de este mineral sin valor estético alguno en su variedad común, la blanca, un objeto de joyería cuando aparece con un color definido. Es más, entre las dos variedades más comerciales, la verde y la azulada, es esta última es la más cotizada y el color turquesa el más buscado (Fig. 61).



Figura 61. "Tubo" de pectolita que consiste en la sustitución del hueco y la materia orgánica de un tallo vegetal, aquí cortado y pulido longitudinalmente. Mina Vieja.
Figure 61. Pectolite tube consisting of the replacement of the organic matter belonging to a plant stem, here longitudinally cut and polished. Mina Vieja.

La comprensión de las causas que han transformado la coloración de la pectolita siempre ha suscitado mucho interés, habiéndose formulado bastantes teorías. Uno de los escasísimos trabajos que se han realizado sobre este tema corresponde al artículo titulado "Colored pectolites, so-called Larimar, from Sierra de Baoruco" de K. Bente, R. Thum y J. Wannemacher (1991). En este trabajo se reconoce el origen hidrotermal de la pectolita, ligada a la última fase de serpentización de la serie basáltica, aportando minerales de calcita, natrolita, calcedonia y hematites. Además, existen algunos casos que contienen cobre nativo. La pectolita, según los autores, forma cristales fibrosos, y ha sido estudiada en diversas variedades ligadas con el color (blanco puro, verde, azul claro y azul intenso). Estas muestras han sido analizadas en sus elementos mayores y de traza, además de realizar ATD, sobre las mismas. Sus conclusiones se refieren a la asociación del color verde con centros de color que desaparecen a 240°C, y los tintes azules se ligan con la presencia de cantidades relativamente altas de vanadio (hasta 134ppm).

Además, en los trabajos propios realizados por J. A. Espí, en el año 1997 y apoyándose fundamentalmente en la geoquímica de trazas y en la petrografía, se llegaba a la conclusión de que, tanto en las muestras de mano como en el microscopio y en los valores analíticos, la presencia de manganeso se relacionaba con el tono azulado, siempre que un existiese un fondo elevado de cobre (en concordancia con K. Bente). Sin embargo, no aparecían valores elevados de vanadio. También, el Dr. Heinz-Jürgen Bernhardt

	V (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)
Blue pectolite 1 ^a	143	58	24	282
Pectolite completely white and transparent	7	19	8	857
Green and pink Pectolite	6	10	8	864
Pectolite and calcite, white and green. Vacuole	4	14	17	412
Contact clay-blue pectolite 11/067	103	83	573	1167
Rock contacted the green pectolite 11/069	129	60	134	911
Basalt with vacuoles	252	111	718	1435
Red clays in core. 44m	144	913	100	558

Tabla 1. Cantidades de elementos que muestran relación con el color en muestras de pectolita cuidadosamente seleccionadas.

Table 1. Quantities of elements related to the colour of carefully selected pectolite samples.

Bernhard de la Universidad RU-Bochum, que ha estudiado tres muestras seleccionadas en los perfiles efectuados en cristalizaciones de pectolita con diferentes coloraciones, afirmaba que no encontraba variaciones explicadas al pasar de las pectolitas blancas a las coloreadas, algunas veces en la misma fibra cristalina.

Por ello, como última contribución, en el año 2010 se realizó un desmuestre escogiendo entre todas las variedades aquellas bien clasificadas respecto a la secuencia de cristalización de la pectolita.

La preparación del desmuestre geoquímica se efectuó con gran cuidado, separando la roca de caja de las cristalizaciones, tratando de relacionar, primero la cristalización de pectolita con su envolvente y relacionar el color con su perfil geoquímico, pero teniendo en cuenta su origen y el episodio de formación. Así, el color verde puro se extrajo de las grandes vacuolas que aparecen en el interior de las coladas basálticas y que, como es lógico, se relacionan con las primeras etapas de las mineralizaciones. Después, se tuvo el cuidado de elegir la muestra sin coloración alguna y que corresponde a una fase invasora de otros niveles, ocupando huecos de rotura y de coquización de la materia orgánica. Por último, se eligió una muestra de extraordinario color azul, sin mezcla alguna de otros colores y tonalidades

Resulta de todo evidente que la pectolita azulada se corresponde con valores relativamente altos de vanadio y de cobre. Las otras coloraciones carecen de estos niveles de ambos metales y casi constituyen una anomalía negativa. Por otra parte, los elevados niveles de vanadio y cobre son propios de los tipos litológicos en donde se emplazan las pectolitas azula-

das, los basaltos y paleosuelos volcánicos, configurando el modelo de lixiviación-deposición entre la roca encajante y el hueco en las volcanitas básicas y arcillas de los paleocauces. Tanto el nivel mínimo de altura en la pila volcánica para los filones ascendentes, como el agotamiento del color en diversos casos, avala la imagen de este proceso. Además, parece perder importancia la participación en el color de los materiales carbonosos, al menos en su generalización, aunque pudiera entrecerse en algún caso una relación para situaciones puntuales de elevada calidad.

Referencias

- Heinz-Jürgen, B. 2009. Universidad Ru-Bochum. Informe interno
- Bente, K., Thum, R., y Wannemacher, J., 1991. Colored pectolites, so-called Larimar, from Sierra de Baoruco, southern Dominican Republic, N. Jb. Miner. Mh, Jg, , H-1. Stuttgart, January 1991.
- Espí, J.A. y Pérez Puig, C. 2009. Estudio geológico e infraestructuras de apoyo en la minería del Larimar en la República Dominicana. *Revista de la Escuela de Minas de Madrid*, n° 6, pp. 101-113.
- Espí, J.A. y Pérez Puig, C. 2010. Conocimiento actual sobre la formación de la piedra semi-preciosa Larimar en la Sierra de Bahoruco, R. Dominicana, en: *Libro Homenaje al Prof. Jesús García Iglesias*. Editor, Jorge Loredó Pérez. Departamento de Explotación y prospección de Minas de la Universidad de Oviedo. p. 207-272.
- Woodruff, R.E. y Fritsch, E. 1981. Blue pectolite from the Dominican Republic, *Gems&Gemology*, Gemological Institute of America, Winter 1981.

Recibido: marzo 2015

Revisado: junio 2015

Aceptado: julio 2015

Publicado: septiembre 2017

