

TRAVERTINOS Y JASPEROIDES DE MANANTIAL ESPEJO, UN AMBIENTE HOT SPRING JURASICO. MACIZO DEL DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

Horacio ECHEVESTE

Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata,
64 N° 3. La Plata, Argentina. E-mail: hecheves@inremi.unlp.edu.ar

Resumen: En este trabajo se analiza el origen y las relaciones entre travertinos y jasperoides intercalados en rocas volcánicas jurásicas en el distrito argento-aurífero Manantial Espejo, ubicado en el borde sur-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Los cuerpos de travertino constituyen estratos delgados de hasta 60 cm de espesor de calcita micrítica finamente laminada, en ocasiones con estratificación rítmica de calcita y ópalo, asociados a depósitos de tobas de caída y tufitas de ambiente lacustre. En algunos afloramientos los morfotipos reconocidos revelan que la precipitación del carbonato correspondía a sectores proximales relacionados a geysers y conductos de vapor, los cuales se orientaban a lo largo de las fracturas que constituyeron los canales de circulación de fluidos. La posterior silicificación de los niveles carbonáticos produjeron jasperoides que se presentan como cuerpos tabulares subverticales y subhorizontales, estos últimos con características texturales similares a aquellas de sinters. La silicificación se originó tardíamente, posiblemente durante la etapa principal del régimen hidrotermal que generó las vetas portadoras de plata y oro. Los travertinos se formaron en un ambiente de *hot spring*, relacionado con fracturas de un sistema de cizalla conjugado orientadas entre N 20° a 45° E y N 20° a 40° O y constituyen las evidencias más tempranas de la presencia de un régimen epitermal asociado al proceso volcánico jurásico, en un régimen tectónico distensivo, en Manantial Espejo.

EXTENDED ABSTRACT

Travertines and jasperoids of the Manantial Espejo, a Jurassic hot spring environment. Macizo del Deseado, Santa Cruz Province, Argentina

In the last few years, an intense mining prospecting activity for gold and silver epithermal deposits has been carried out in the Deseado Massif, Argentina. As a result, many hot spring related deposits, of possible Jurassic age, have been detected. This paper describes the mineralogical and textural characteristics as well as the facies of a group of travertine and jasperoid outcrops occurring near the silver-gold carrying lodes in the Manantial Espejo prospect (Schalamuk et al., 1998). A genetic interpretation of the deposits is done on the basis of their structural, textural, and emplacement characteristics. Their possible relationship

with the epithermal mineralization is also considered.

The Manantial Espejo district is located on the southwestern area of the Deseado Massif, in the middle of the province of Santa Cruz (Fig.1). The area is almost entirely covered by andesitic and rhyolitic rocks of the Bajo Pobre and Chon Aike Formations, the product of a strong, bimodal volcanic activity of Jurassic age. This volcanic event developed in a back-arc tectonic environment linked to the opening of the Atlantic Ocean (Uliana et al., 1985; Riley et al., 2001). Acidic rocks prevail in the area, consisting on high-grade ignimbrites with ash fall tuffs, tuffites, and hydroclastic breccias (Fig. 2). Among them, the chemical and biogenic carbonate and silica deposits, are present (Fig.3).

The travertine mantles can be up to 0.5 m thick and, in most of cases, they overlie tuffite layers. Typically, the rock is laminated in millimetrical to submillimetrical laminae of dense, hard, non porous

micritic carbonate, displaying three types of lamination: parallel sub-horizontal; stromatolithic; and, «en echelon» (possibly, a terrace facies, Fig. 4).

Sometimes, the laminated structure consists of a rhythmic deposit of calcium carbonate and opal (Figs. 5 a and b), unusual association in hot spring deposits, both recent and fossil (Jones *et al.*, 2000a; Campbell *et al.*, 2002; Canet *et al.*, 2005). A variety of porous travertine, dominated by small, sub-spherical and columnar growths, of the microstromatolithic or the oncoid types.

The travertine layers grade laterally to siliceous laminated jasperoids (*sensu* Spur, 1898 and Lovering, 1972), which make sub-horizontal mantles, 0.5 to 2.0 m thick, with identical sedimentary structures as those of travertines, although they are entirely formed of chalcedony, which is interpreted as the product of replacement of calcite into silica (Fig. 6a, b). Silicification occurred at a later stage, during the intense hydrothermal alteration accompanying the formation of the quartz veins carrying gold and silver. Some jasperoid outcrops show grossly stratified, rounded surfaces with domical structures, forming banks 0.2 to 0.4 m thick, and showing a more or less concentric lay-out which could correspond to the silicification of bio-built algal structures (Fig. 6b). The occurrence of small vents (Fig. 6e) show the water and steam outlets.

Vertical, tabular, laminated bodies, filling fractures of NE-SW strike and slip up to 1,000 m, and 3 m thick (Fig. 6f, h). They are formed of chalcedony, displaying a vertical, banded and, at times, diffuse (Fig. 6 g) or breccia like structure.

The morphology of the travertines and associated jasperoids in the Manantial Espejo district are compared with travertines or hot spring deposits in general, of Quaternary or Recent (Guo and Riding, 1999; Chafetz and Guidry, 2003; Hancock *et al.*, 1999). The analogies founded allowed to reconstruct, at least in part, the depositional environment of the studied rocks (Fig.8). The sub-vertical, tabular bodies of banded silica, would correspond to subsurface levels of fissure ridges, where erosion has generally eliminated the surface deposits with sub-horizontal stratification overlying the faults. The northernmost end of the Ayelen Oeste «vein» (Fig. 6h) would correspond to the proximal zone of the discharge channel, very close to the fissure, since part of the sub-horizontal stratification next to the fracture (zone B in Fig. 8). This area represents the most active depositional environment, where the carbonate precipitation rate is higher. Figure

6e, shows a fluid outlet vent in a spring zone (zone C, in Fig. 8).

The «*en echelon*» stratification shows very similar characteristics to those of terraces and micro-terraces occurring in modern hot springs. Micro-terraces shown in Figure 5e, found near one of the fissure crests, could correspond to those formed laterally to the outlet channels (D, in Fig. 8). As to that shown in Figure 5f, associated to travertine with sub-horizontal, parallel lamination, could correspond to that formed in the edges of pools.

With regard to the parallel lamination of micritic carbonate, occurring in most of the outcrops, it may correspond to the lacustrine rims (*sensu* Pentecost, 1995). This type of thin lamination, forming laterally extended banks, several tens of decimeters thick, would have formed on depressed surfaces, with a distal position relative to the spring zones. The rhythmic intercalation of thin opal laminae between the calcite layers occurring in some outcrops, reveals temporary changes in the physical-chemical conditions of the mineral precipitation, possibly seasonal temperature fluctuations.

Finally, the observed stromatolites and microstromatolites (Fig. 5c, g, h) indicate the presence of microorganisms in the geothermal environment. Although there is no agreement among researchers about the organic or inorganic origin of these morphotypes in geothermal environments, it is admitted that algae and bacteria induce the precipitation of calcium carbonate.

The stratigraphic position of the calcareous levels identified in Manantial Espejo show that the hot spring environment began to develop early in the district, associated to an extensional tectonic regime coincident with the La Frisia or Zanjón del Pescado System (Reimer *et al.*, 1996) which caused fracturing (direct faults) N 20° to 45° E, and N 20° to 40° W, as a consequence of a σ_1 located around 0°. The produced faults, made the main hydrothermal fluid circulation channels (barren) which, after reaching the surface and losing the dissolved CO₂, precipitated the calcium carbonate.

The migration of the maximum stress (anti clockwise, at 315°) produced a new stress field, the Bajo Grande System (Panza, 1982, 1984) generating direct faulting combined with dextral movement, at a 110° azimuth, cutting and displacing the sub-vertical travertine bodies. These new fluid circulation channels end up lodging the quartz veins carrying silver and gold.

Keywords: travertine, jasperoid, sinter, Manantial Espejo, Santa Cruz, Argentina.

Palabras clave: travertino, jasperoide, sinter, Manantial Espejo, Santa Cruz, Argentina.

INTRODUCCION

La intensa prospección minera de depósitos de oro y plata que se ha desarrollado en los últimos años en el Macizo del Deseado, ha puesto de manifiesto la presencia de numerosos depósitos de travertino y sílice producto de precipitación química o biogénica superficial relacionados a fuentes termales de posible edad jurásica. No obstante que los depósitos de *hot spring*, especialmente los calcáreos, raramente se preservan en el registro geológico por lo reducido de expresión volumétrica (Hancock *et al.*, 1999) siendo poco frecuentes aquellos anteriores al Cuaternario (Evans, 1999), en el Macizo del Deseado se han detectado numerosos sitios con depósitos de carbonatos o sílice que reconocerían este origen. Algunos de ellos están constituidos por delgadas secuencias con fina laminación paralela de calcita micrítica con sectores donde se pueden reconocer abultamientos con estructuras estromatolíticas como es el caso de los ubicados en proximidades de la estancia La Marcelina (Marchionni *et al.*, 1999), en algunas zonas del distrito La Josefina (Moreira *et al.*, 2002), en el área Marianas-Eureka (Guido *et al.*, 2002), en el área El Macanudo-El Mirasol (Schalamuk *et al.*, 1999) y en Las Margaritas (Lopez *et al.*, 2003). En otros casos, el agua surgente habría depositado sílice de baja cristalinidad (calcedonia especialmente), constituyendo depósitos de sinter como es el caso del distrito La Josefina (Echeveste *et al.*, 1995) y el de la estancia La Marciana (Guido *et al.*, 1999).

En este trabajo se describen las características mineralógicas, texturales y de facies de un conjunto de afloramientos de carbonato de calcio y jasperoides ubicados en las proximidades de las vetas portadoras de plata y oro del prospecto Manantial Espejo (Schalamuk *et al.*, 1998). Sobre la base de sus características estructurales, texturales y de yacencia se hace una interpretación genética de los depósitos, abordando su posible relación con la mineralización epitermal.

Nomenclatura

El término travertino es usado en este trabajo en el

sentido de Ford y Pedley (1996), o en el sentido de los travertinos «termógenos» de Pentecost y Viles (1994) y Pentecost (1995). Los primeros restringen el término travertino a los depósitos de carbonato de calcio hidrotermal, frecuentemente finamente laminados y con crecimientos bacterianos de forma arborescente, producidos por precipitación físico-química y microbial a partir de fuentes de agua dulce. Estos autores los distinguen de las tufas, a las que consideran como el producto de la precipitación de carbonato de calcio a partir de aguas a temperatura ambiente y que típicamente contienen restos de micro y macrofitas, invertebrados y bacterias. Pentecost y Viles (1994) y Pentecost (1995) adoptan el término travertino para todos los depósitos de carbonato de calcio de agua dulce y, sobre la base de la temperatura de formación, hacen una distinción entre travertinos «termógenos» y «meteógenos» (*thermogene* y *meteogene*). Los primeros corresponden a los depósitos donde el carbonato de calcio es precipitado a partir de aguas calientes rápidamente desgasificadas, con tasas de crecimiento relativamente altas, comunes en regiones tectónicamente activas y asociados con actividad volcánica, en tanto que los travertinos «meteógenos» son producidos por la precipitación de carbonato de calcio a partir de aguas a temperatura ambiente en equilibrio con los suelos y con bajas tasas de crecimiento.

Por otra parte el término jasperoide es usado de acuerdo a Spurr (1898) (en Labarthe-Hernández *et al.*, 1992) y Lovering (1972). El primero lo describió como «una roca constituida esencialmente por sílice criptocristalina que ha sido formada por el reemplazo de algún otro material, ordinariamente calcita o dolomita; puede ser blanco o en varios tonos de rojo, gris, café o negro, resultando los colores, de las diferentes formas de hierro en proporciones variables». En tanto Lovering (1972) restringe el uso del término para aquellas rocas producto de «un reemplazo silíceo epigenético de una roca previamente litificada» excluyendo a otras formas de sílice singenética como el pedernal primario y la novaculita.

El término *hot spring* es empleado aquí como el ambiente resultante de la expresión subaérea de un sistema hidrotermal asociado a un ambiente volcánico, en el que las aguas subterráneas interceptan la superficie. La rápida desgasificación y enfriamiento de las soluciones acuosas calientes al llegar a la superficie, permiten la precipitación de las sales disueltas con el consecuente depósito de sinters o travertinos según sea de sílice o carbonato de calcio el depósito resultante.

El término estromatolito es empleado de acuerdo a la definición de Riding (1991), como un «depósito laminado microscópico que puede ser construido por una variedad de microbios».

MARCO GEOLOGICO

El distrito Manantial Espejo se encuentra próximo al margen sudoeste del Macizo del Deseado, en el centro de la provincia de Santa Cruz (Fig. 1) a 44 km de la población de Gobernador Gregores y a 166 km de Puerto San Julián.

La particularidad geológica dominante del Macizo del Deseado es la presencia de una fuerte actividad volcánica riolítica explosiva de edad jurásica que formó, junto al Macizo Nordpatagónico y parte de la Península Antártica, una de las más grandes provincias ígneas silíceas (Pankhurst *et al.*, 1998). Este intenso volcanismo (bimodal, andesítico-riolítico) se desarrolló en un régimen de deformación de tipo extensional en un ambiente tectónico de retroarco, inducido por una subducción lenta a muy lenta en el margen suroccidental de Gondwana (Ramos, 1988) y vinculado a la apertura del atlántico (Uliana *et al.*, 1985; Riley *et al.*, 2001). Tuvo su máximo desarrollo entre 175 y 165 Ma (Ramos, 2002), aunque persistió al menos hasta los 144 Ma (Féraud *et al.*, 1999).



Figura 1. Mapa de ubicación del distrito Manantial Espejo.
Figure 1. Manantial Espejo district location map.

Asociado al evento volcánico se han identificado en todo el ámbito del Macizo del Deseado, numerosas manifestaciones epitermales de baja sulfuración portadoras de oro y plata, algunas de ellas superficiales, asociadas a sistemas de *hot spring*.

La zona del prospecto Manantial Espejo está cubierta, casi en su totalidad, por rocas volcánicas y volcanoclásticas de las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Schalamuk *et al.*, 1998; Echeveste, 2005). Las primeras son lavas andesíticas que ocupan zonas deprimidas, cubiertas por ignimbritas dacíticas y riolíticas de alto grado con intercalaciones de tobas de caída, tufitas, brechas hidroclásticas, pequeños domos riolíticos y depósitos químicos y biogénicos de carbonatos y sílice de la Formación Chon Aike (Fig. 2).

Si bien no siempre es posible reconstruir las relaciones estratigráficas entre las distintas unidades volcánicas (equivalentes a las «unidades eruptivas» de Fisher y Schmincke, 1984), en la figura 3 se representa en forma esquemática la secuencia depositacional en la zona investigada con la posición que ocupan los niveles de travertino.

TRAVERTINO

Los laminados calcáreos se disponen en 4 pequeños afloramientos aislados entre sí, distribuidos en una superficie de unos 12 km². Constituyen depósitos subhorizontales de hasta 50 cm de espesor. El conjunto de afloramientos más extendido se sitúa al sur de la Laguna de la Brecha (Fig. 2), está formado por afloramientos parcialmente cubiertos, que se disponen en una delgada faja de sentido NNO de entre 2 y 5 m de ancho a lo largo de unos 100 metros.

En la mayoría de los casos los niveles de travertino apoyan sobre tufitas, mientras que al sur de la Laguna de la Brecha son cubiertos por una brecha hidroclástica. La superficie de los afloramientos es marcadamente rugosa debido a la presencia de sílice de baja cristalinidad, y en menor medida cuarzo, inter-crecido con el carbonato de calcio.

En general la roca se presenta finamente laminada en capas milimétricas a submilimétricas de carbonato micrítico denso, duro, no poroso (similar al litotipo *crystalline crust* de Guo y Riding, 1992), con tres tipos de laminación, (a) paralela subhorizontal, (b) «escalonada» (posiblemente facies de terrazas) y (c) estromatolítica (Fig. 4). Su color varía del castaño claro, idéntico al observado por Marchionni *et al.* (1999) en calcáreos estromatolíticos en el sector occidental del

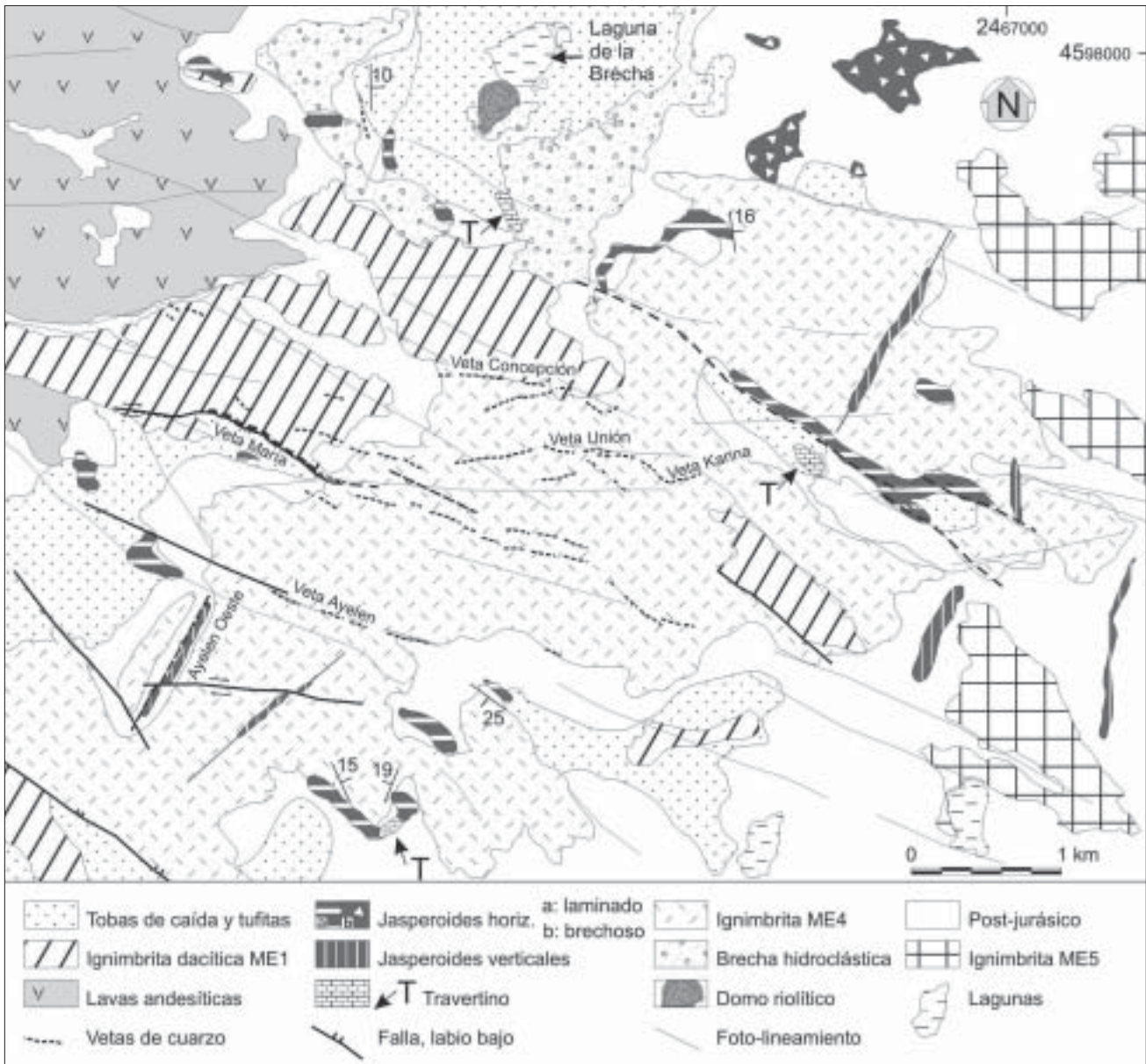


Figura 2. Mapa geológico del distrito Manantial Espejo (simplificado de Echeveste, 2005). Las coordenadas son Gauss Krüger.
Figure 2. Geological map of the Manantial Espejo district (simplified from Echeveste, 2005). Coordinates are Gauss Krüger.

Macizo del Deseado, hasta gris oscuro a negro. En uno de los afloramientos, sobre la superficie sub-horizontal del travertino laminado denso, fue reconocida una variedad porosa de unos 2 cm de espesor dominada por pequeños crecimientos subsféricos y columnares, tipo microstromatolitos u *oncoïdes* (d).

a) El travertino con laminación paralela es el más frecuente; forma los bancos más espesos, de hasta 50 cm de espesor y de mayor desarrollo lateral, compuesto por una sucesión de delgadas capas de carbonato menores a 1 mm (Fig. 5a)

En el caso del cuerpo de travertino que aflora al sur

de la Laguna de la Brecha, la observación microscópica de la estructura laminada paralela permite comprobar que se trata de un depósito rítmico de carbonato de calcio y ópalo. Las láminas de carbonato, que varían entre 100 y 200 micrones de espesor, están formadas por un agregado de cristales subhedrales a anhedrales de calcita de 25 a 100 micrones de diámetro con textura en mosaico. Las capas de calcita están separadas entre sí por otras, en general más delgadas, ahusadas, lenticulares, de entre 10 y 200 micrones de espesor, de ópalo con algunos cristales de calcita dispersos (Fig. 5b). Esta alternancia de delgadas capas de calcita y

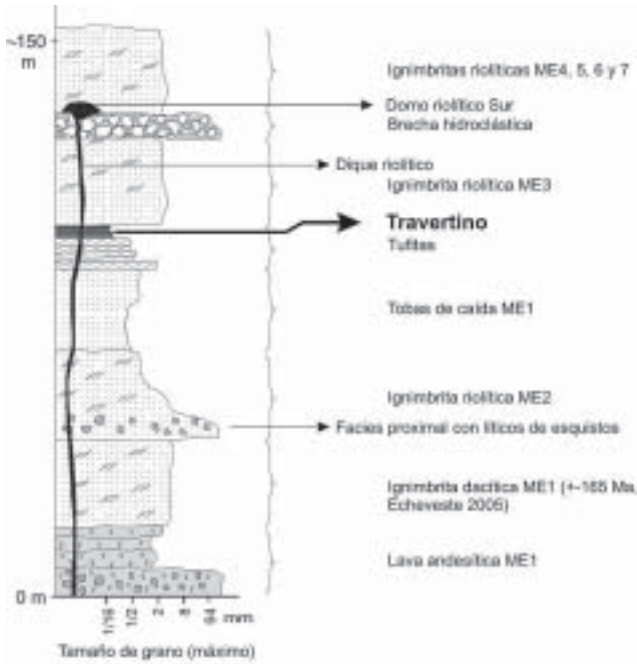


Figura 3. Columna estratigráfica simplificada del distrito Manantial Espejo.

Figure 3. Simplified stratigraphy from Manantial Espejo district.

ópalo, también se pone de manifiesto en las superficies naturales por la erosión diferencial entre ellas. Además de este ópalo singenético se reconocen nódulos de ftanita de posible origen diagenético y calcedonia producto de reemplazo (jasperoide). Cuando la silicificación es parcial, puede restringirse a una capa formada por un conjunto de láminas de 1 a 5 cm de espesor o aparecer como parches, con zonas reemplazadas pasando a otras sin reemplazar en el mismo paquete de láminas.

b) Las laminaciones escalonadas, si bien presentan escasas exposiciones, fueron reconocidas tanto en afloramientos de travertinos como en jasperoides producto de la silicificación de éstos. Consisten en una alternancia de de capas horizontales y verticales o con fuerte inclinación (Fig. 5e); las paredes verticales varían de algunos mm hasta 20 cm de altura. En ocasiones la laminación horizontal cambia para inclinar 60°-70° para luego inclinar nuevamente en sentido contrario a manera de un pliegue «en rodilla» (Fig. 5f), es decir en un momento de la depositación de carbonato existía una saliente a modo de «cornisa».

c) La laminación estromatolítica está conformada por



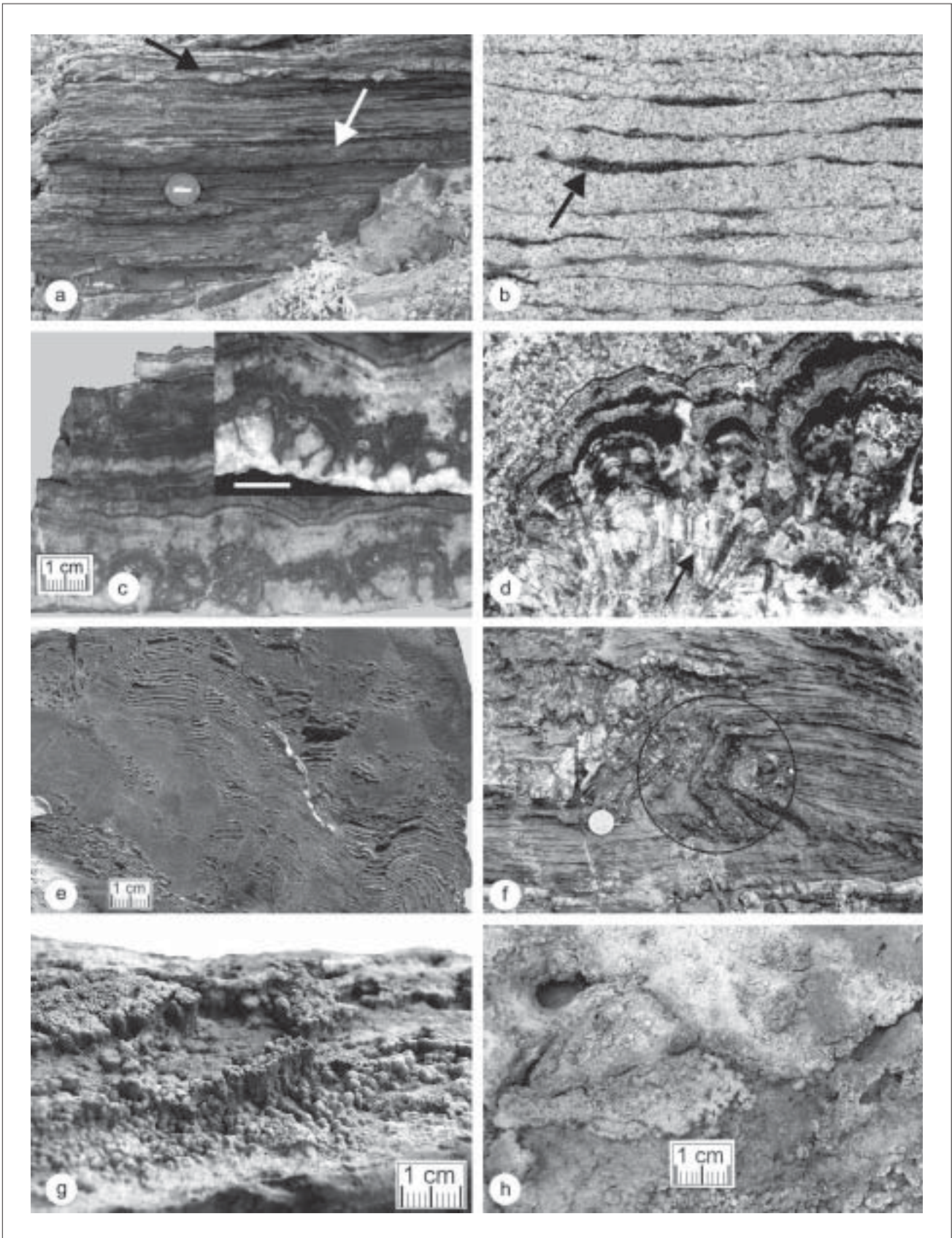
Figura 4. Tipos de laminación reconocidos en travertinos de Manantial Espejo.

Figure 4. Lamination types recognised in the Manantial Espejo travertines.

Figura 5. a) Afloramiento de travertino laminado subhorizontal, la flecha blanca indica un set de láminas reemplazadas por sílice. La flecha negra muestra un nódulo de pedernal; la tapa de la lente mide 60 mm. b) Fotomicrografía donde se muestra la laminación rítmica de ópalo (flecha) y calcita (con analizador, ancho de la foto 6,7 mm); c) Placa pulida del travertino bandeado mostrando crecimiento estromatolítico. La foto superpuesta en el vértice superior derecho muestra un detalle de la base del banco con crecimientos de tipo oncoide o microestromatolítico. La barra de escala mide 0,5 mm; d) Fotomicrografía de la estructura estromatolítica. Alternancia de capas de calcita de distinto tamaño de cristales y capas de minerales opacos (óxidos). La flecha indica cristales elongados de calcita de textura plumosa (con analizador, ancho de la foto 6,7 mm); e) Laminación «escalonada» en jasperoide; f) Laminación «escalonada» en travertino con zonas (círculo) donde la laminación adquiere inclinaciones que posibilitaron la formación de «cornisas» al momento de la formación de ese conjunto de capas; g) Microestromatolitos u *oncoides* de formas esféricas y columnares; h) Vista en planta de la superficie cubierta por oncoides o microestromatolitos.

Figure 5. a) Subhorizontal laminate travertine outcrop. White arrow indicates a set of sheets replaced by silica. Black arrow shows a chert nodule. Lens cap diameter is 60 mm; b) Photomicrograph showing the rhythmic lamination of opal (arrow) and calcite (crossed nichols, field width 6,7 mm); c) Polished section of banded travertine showing stromatolitic growth. The picture in the up-right corner shows a detail of the oncoide or microestromatolitic type growth from the base of the bank. Scale bar is 0,5 mm long; d) Photomicrograph of the stromatolitic structure. Alternation of different sizes grain of calcite crystals and opaque minerals layers. The arrow indicates elongated calcite crystals with feathery texture (crossed nichols, field width 6,7 mm); e) «En echelon» lamination in

jasperoid; f) «*En echelon*» lamination in travertine with areas (circle) where lamination acquires inclinations that facilitated the formation of «cornices» at the moment of the layering formation; g) Spherical and columnar microstromatolites or oncoids; h) Plant view of microestromatolites or oncoids covered surface.



una sucesión de capas paralelas concéntricas de entre 0,5 y 3 mm de espesor de colores variables, de gris oscuro a blanquecinos, rosados y rojizos por tinción con óxidos de hierro (Fig. 5c). Solo se ha reconocido un afloramiento muy reducido, de unos pocos m² de superficie, de este tipo de roca; tiene un espesor de unos 20 cm. En la base, las capas de carbonato se disponen con crecimientos columnares (microestromatolitos), las capas concéntricas de carbonato que se depositan sobre ellos aumentan su longitud de onda con el incremento de espesor.

Al microscopio se observa que las láminas de entre 40 y 120 micrones alternan con otras más gruesas de 2 a 3 mm. Las capas están formadas por un agregado de cristales fibrosos de calcita de textura plumosa o arborescente dispuestos normalmente a la laminación, aunque hay sectores con textura en mosaico (Fig. 5d). Algunas láminas suelen estar separadas de las contiguas por delgadas capas de ~ 20 micrones de un agregado de minerales opacos, posiblemente óxidos e hidróxidos de hierro. Distribuido entre los cristales de calcita hay minerales opacos y cuarzo intersticial reemplazándolos. En algunos sectores se presentan cavidades rellenas de calcita pseudo-espática producto de recristalización o cementación.

d) Los microestromatolitos u *oncoïdes*, solo fueron reconocidos en un sitio, creciendo sobre un banco de travertino laminado paralelo. Son de formas lobuladas, tienen entre 1 y 7 mm de altura y de 0,5 a 3 mm de diámetro (Fig. 5 g, h), de color castaño amarillento. Crecen en forma perpendicular al sustrato, algunos en forma aislada, otros en agregados a manera de ramilletes. Tienen sección transversal con forma redondeada a elíptica y sección vertical con forma cómica, más delgados en la base. La textura del carbonato es micrítica, aunque más porosa que en el travertino laminado, con escasos cristales alargados dispuestos con sus ejes

mayores en forma normal a las capas.

JASPEROIDES SUBHORIZONTALES

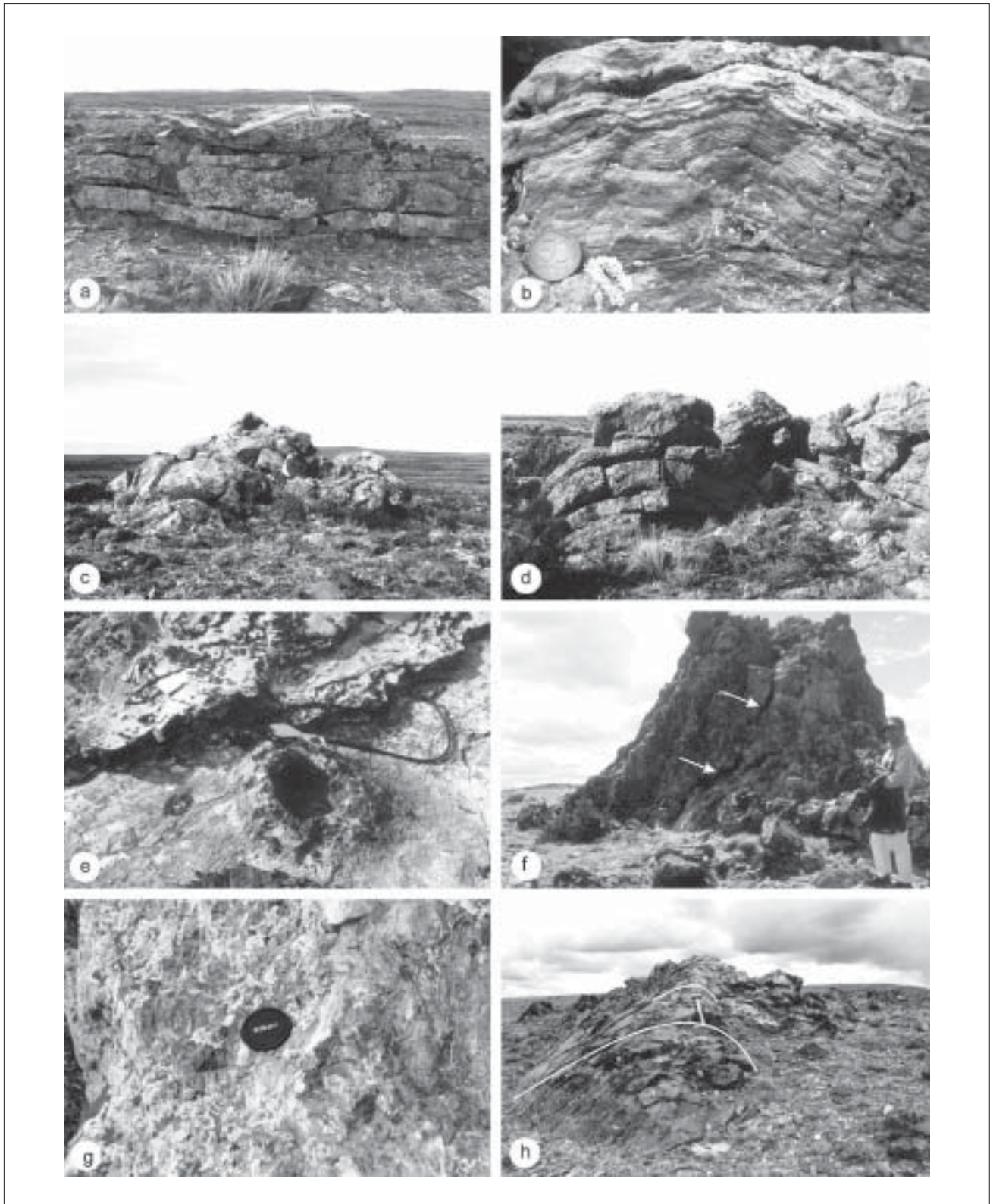
Las capas de travertinos pasan lateralmente a laminados silíceos, que forman bancos subhorizontales de entre 0,5 y 2 m de espesor, con idénticas estructuras sedimentarias pero formados íntegramente por calcedonia. Afloran en forma dispersa en un área de ~ 50 km². En general son de color gris oscuro, suelen resaltar como crestones debido a su mayor resistencia a la erosión (Fig. 6a). Poseen suaves ondulaciones, con longitud de onda de 1 a 2 m. En general presentan fina laminación subhorizontal, en ocasiones de suave a fuertemente ondulada (Fig. 6b). Las láminas individuales pueden ser blanquecinas, castañas, rojizas, hasta negras. Dentro de este grupo de jasperioides subhorizontales se han identificado algunos afloramientos de superficies redondeadas con estructuras cómicas groseramente estratificadas en bancos de 20 a 40 cm de espesor y disposición más o menos concéntrica (Fig. 6c) formando abultamientos subsféricos de hasta 3 m de altura (Fig. 6d). También se han reconocido pequeños *vents* o cráteres de salida de fluidos con características morfológicas muy similares a los de campos geotermales activos (Fig. 6e).

La observación microscópica del laminado silíceo revela un agregado de cuarzo fino con cristales de 10 a 50 micrones de diámetro dispuestos con textura en mosaico «manchado» por limonitas en distintas concentraciones según las láminas. Estas varían entre 1 y 2 mm de espesor y presentan límites difusos. En algunos sectores el depósito se encuentra brechado con estructuras en rompecabezas, hasta fuerte deformación que le hace perder su textura laminada original. Es frecuente la presencia de boudinage con fragmentos angulosos rodeados por un material sin estructura visible.

Figura 6. a) Bancos silíceos con laminación paralela a suavemente ondulada subhorizontal que resaltan en el paisaje por su mayor dureza; b) Laminación «escalonada» en jasperiode, similar al observado en los depósitos de travertino; c) Afloramiento de jasperiode con superficies redondeadas similar a los abultamientos calcáreos descritos por Marchionni *et al.* (1999); d) Jasperiode con gruesa estratificación cómica, podría corresponder a la silicificación de estructuras bioconstruidas algales; e) Pequeño cono o conducto de emisión de fluidos reconocido en un afloramiento de jasperiode subhorizontal en la zona NE del distrito Manantial Espejo; f) Jasperiode con laminación vertical, forma parte de un cuerpo tabular vertical mayor que aflora con una corrida de unos 1000 m con rumbo NNE-ESE al NE del distrito. Las flechas indican una fisura que corta subverticalmente al cuerpo; g) Detalle de la laminación vertical, en parte difusa, del afloramiento de la foto anterior; h) Extremo norte del filón denominado Ayelen Oeste, donde la estructura bandeada vertical, en la parte central del cuerpo, pasa lateralmente a un bandeo subhorizontal o con suave inclinación al este.

Figure 6. a) Silica layers with parallel to smoothly wavy subhorizontal lamination that outcrop for their higher hardness; b) Lamination «en echelon» in jasperoid, similar to the observed in travertine deposits; c) Jasperoid outcrop with rounded surfaces similar to the

calcareous mounds described by Marchionni *et al.*, 1999; d) Jasperoid with domic stratification, it could correspond to the bioconstructed algal silicification; e) Small cone or emission conduit of fluids recognized in a subhorizontal jasperoid outcrop in the NE area of the Manantial Espejo district; f) Jasperoid with vertical lamination, it belong to a bigger tabular and vertical body that appears for about 1000 m in a NNE-SSW direction, NE of the district. Arrows indicate a fissure that cuts the body vertically; g) Detail of the partly diffuse vertical lamination, of the previous picture; h) North end of the Ayelen Oeste structure, where the vertical banded structure, in the central part of the body, passes laterally to a horizontal or low east dipping.



JASPEROIDES VERTICALES

La sílice laminada vertical, forma cuerpos tabulares (de los que se han identificado cinco) que ocupan fracturas orientadas NE-SO, en ocasiones con longitudes superiores a los 1.000 m y de hasta 3 m de espesor. La resistencia a la erosión hace que algunos afloramientos formen riscos de hasta 3 m de altura (Fig. 6f). Están formados por sílice de baja cristalinidad, especialmente calcedonia de colores variados, blanco, gris (claro a oscuro), amarillento y rojizo, dispuesta con estructura bandeada en parte planar pero mas frecuentemente convoluta a brechosa y en ocasiones difusa (Fig. 6g). Las láminas varían de 1 mm a 2-3 cm.

Aunque estos «filones» comparten la estructura bandeada con la mayoría de las vetas portadoras de oro y plata del distrito, se distinguen claramente de éstas por poseer características mineralógicas, de yacencia y geoquímicas propias. En las vetas, la variedad de sílice más frecuente es el cuarzo, como mineral primario, como recristalización (enveje-cimiento) de calcedonia u ópalo o como reemplazo de calcita hojosa (*platy-calcite*), generalmente de color blanco o gris, mientras que los jasperoides laminados verticales, están formados por calcedonia de tonos en general oscuros y con bandeado que en ocasiones puede ser más difuso. La mayoría de las vetas están emplazadas en la dirección principal del Sistema Estructural Bajo Grande (Panza, 1982; 1984), de rumbo general ONO-ESE, en tanto que los jasperoides ocupan fracturas de rumbo NE-SO pertenecientes a una de las direcciones de cizalla principal del Sistema La Frisia o Zanjón del Pescado de Reimer *et al.*, 1996 (Echeveste, 2005). Por último los jasperoides poseen una señal geoquímica distinta a la de las vetas, son estériles respecto a la mineralización de plata-oro.

Otra característica particular de uno de los jasperoides con laminación vertical, el denominado Ayelen Oeste (Fig. 2), lomada de 800 m de corrida, es que en su extremo norte el bandeado predominantemente subvertical en la parte central del cuerpo, pasa lateralmente en continuidad, a una estratificación subhorizontal o con suave inclinación al este (Fig. 6h).

AMBIENTE DEPOSITACIONAL. MORFOTIPOS

Cuando se comparan las morfologías de los travertinos (y jasperoides asociados) de Manantial Espejo, con travertinos o depósitos de *hot spring* en general, cuaternarios o actuales, se advierten analogías

que permiten reconstruir, al menos en parte, el ambiente sedimentario de las rocas estudiadas.

Está ampliamente documentado en la bibliografía geológica, que los *hot spring* actuales suelen estar alineados a lo largo de trazas de fallas activas (Barnes *et al.*, 1978; Hancock *et al.*, 1999; Evans, 1999) que asimismo, son los canales de circulación de fluidos. En las zonas superficiales de descarga, donde las fracturas interceptan la superficie, el enfriamiento y descompresión rápida de las soluciones emergentes, con consecuente pérdida de CO₂, producen la precipitación de carbonato, en ocasiones favorecida por la presencia de micro-organismos, bacterias y algas (Guo & Riding, 1999). La depositación de carbonato en la zona proximal produce dos tipos de morfologías o morfotipos, conos o montículos termales (*spring mounds*) y cresta de fisura (*fissure ridge*). Los primeros consisten en domos de travertino situados en torno a los *vents* u orificios termales (Pentecost, 1995), formados por precipitación instantánea a partir de salidas de aguas calientes que emergen con presión hidrostática suficiente para construir domos de más de 10 m de altura (*i.e.* Chaferz y Guidry, 2003). Las crestas de fisuras (Fig. 7a) son lomadas que se desarrollan a lo largo de fracturas extensionales; generalmente presentan una sección transversal con la parte central, tabular subvertical, rellena con travertino de laminación subvertical, flanqueada por acumulaciones más o menos simétricas de travertino estratificado subhorizontal (Fig. 7b). La depositación rápida dada por la también rápida desgasificación del agua termal en la zona proximal, crea la lomada con una hendidura lineal central. A ambos lados de ésta se produce la depositación más lenta de carbonato estratificado, en forma de terrazas o, donde la pendiente es menor, formando depósitos laminares paralelos no aterrazados.

Otros morfotipos frecuentes en sistemas geotermales activos son terrazas o microterrazas, formadas en zonas proximales, en los taludes de las crestas de fisura (Fig. 7a) o en torno a charcas (*pools*), donde el escurrimiento del agua tiene flujo turbulento (Guo y Riding, 1998). La altura de las terrazas es muy variable, de unos pocos cm a varios metros. En sectores con topografía suave, donde el flujo es laminar, el agua corre horizontalmente, resultando en la formación de capas horizontales o cortezas de travertino cristalino con laminación paralela (morfotipo corteza lacustre de Pentecost, 1995). Otros morfotipos comunes en travertinos de zonas proximales son los oncoides o microestromatolitos y pisolitas (formas agrupadas como *pisoids* por Guo y Riding,

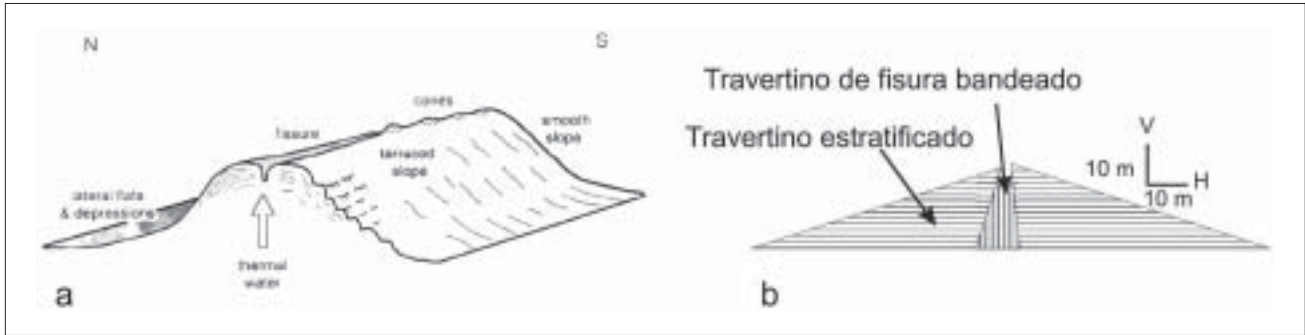


Figura 7. a) Sección esquemática de una cresta de fisura en termas de Rapolano Terme, Italia según el modelo de Guo y Riding, 1999. b) Sección transversal de una típica cresta de fisura, Cukurbag Fissure Ridge, del depósito de travertino Pamukkale, Turquía, según Hancock *et al.* 1999.

Figure 7. a) Schematic section of a fissure ridge in Rapolano Terme travertines, Italy (after Guo y Riding, 1999). b) Traverse section of a typical fissure crest, Cukurbag fissure ridge, Pamukkale travertine deposit, Turkey (after Hancock *et al.* 1999).

1998), tienen formas esféricas (pisolitas), irregularmente redondeadas o mamelonares (microestro-matolitos); en general son de pequeño tamaño, de algunos mm a cm, formados por láminas concéntricas de carbonato de calcio con crecimiento paralelo o ra-diado de cristales precipitados a partir de micro-organismos como algas o bacterias. La formación de estos morfotipos puede ser subaérea o subácuea, en el primer caso se forman en torno a géiseres en las zonas de salpicaduras o en abanicos de descarga por inundaciones someras (Jones y Renaut, 1997).

Respecto a las formas y estructuras identificadas en el travertino y jasperoides de Manantial Espejo, la figura 8 representa un modelo genético interpretativo con la ubicación relativa de los distintos morfotipos.

(1) Las características morfológicas de los cuerpos tabulares subverticales de sílice bandeada (dos de los cuales fueron ilustrados en la figura 6 f, g, h) son de una marcada similitud con algunos sectores de secuencias de travertinos actuales o recientes como son los de Rapolano Terme, Italia (Guo y Riding, 1999), Mammoth Hot Spring, del Parque Nacional Yellowstone, U.S.A., (Chalet y Guidry, 2003) o Bridgeport Travertine (Hancock *et al.*, 1999). Han sido interpretados como la silicificación de travertinos que rellenaban las fracturas utilizadas por las soluciones ascendentes (A y B de la figura 8), es decir, corresponderían a niveles sub-superficiales de crestas de fisura (*fissure ridge*).

En general la erosión ha eliminado los depósitos superficiales con estratificación subhorizontal suprayacentes a las fallas. En el caso del afloramiento representado en la figura 6f, la roca presenta una fractura abierta en su zona central, paralela al rumbo

del cuerpo tabular y a la laminación, que podría representar un relictos del canal de circulación de fluidos sin relleno. El extremo norte de la «veta» Ayelen Oeste (Fig. 6h) correspondería a la zona proximal del canal de descarga, muy próxima a la fisura, ya que se conserva parte de la estratificación sub-horizontal adyacente a la fractura y correspondería a la zona B de la figura 8. Este sector representa la intersección del canal de circulación con la superficie, donde la laminación, que más abajo es subvertical, se hace subhorizontal o ligeramente inclinada. Correspondería al ambiente deposicional más activo, donde la tasa de precipitación de carbonato es más alta.

La figura 6e, ilustra un *vent* de salida de fluidos y representa un pequeño cono o montículo termal en una zona de surgencia (zona C de la figura 8).

(2) Las estratificaciones escalonadas, presentan características muy similares a aquellas de terrazas y microterrazas presentes en *hot spring* actuales o recientes (*i.e.* Guo y Riding, 1998; Chafetz y Guidry, 2003). Las microterrazas ilustradas en la figura 5e, fueron identificadas en proximidades de una de las crestas de fisura, podría corresponder a aquellas formadas lateralmente a los canales de salida (D en la figura 8), en tanto que la representada en la figura 5f, asociada a travertino con laminación paralela subhorizontal, podría corresponderse a aquellas formadas en bordes de charcas (*pools*) (F en la figura 8).

(3) En cuanto a la laminación paralela de carbonato micrítico, presente en la mayoría de los afloramientos, se corresponde con las cortezas lacustres (*sensu* Pentecost, 1995) de *hot spring* actuales. Este tipo de laminación fina, en general forma bancos lateralmente extensos, de varias decenas de centímetros de espesor

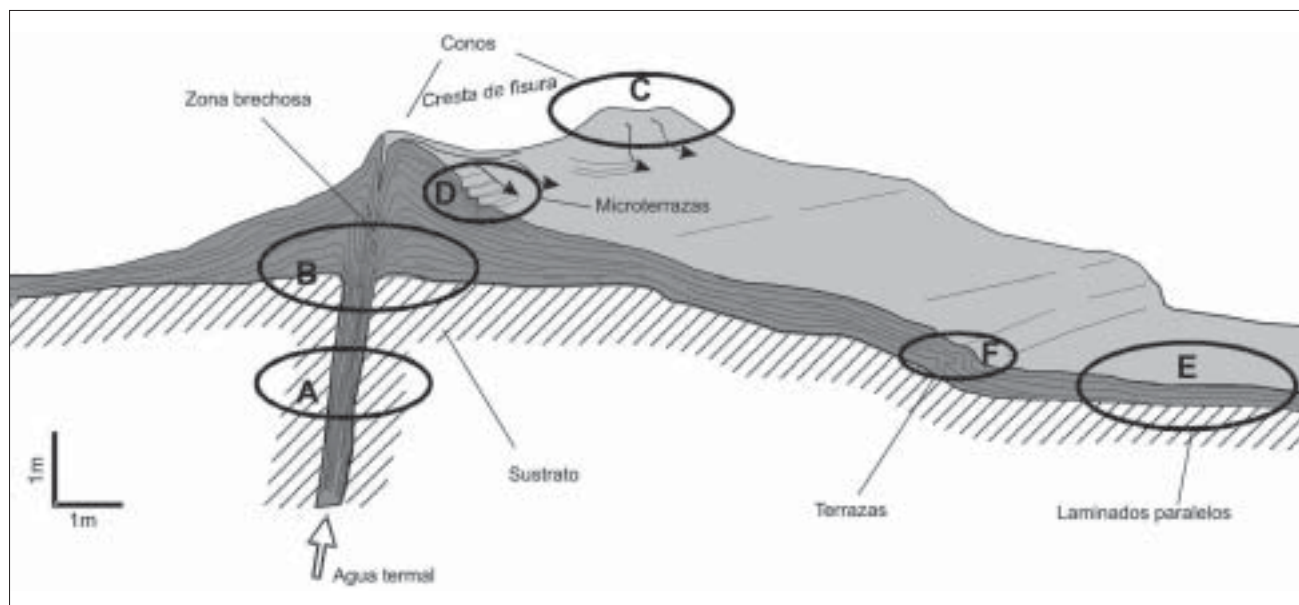


Figura 8. Modelo sedimentario de travertino para Manantial Espejo, en parte posteriormente reemplazados por sílice, basado en travertinos actuales (Hancock *et al.* 1999; Guo y Riding, 1998, 1999, Chafetz y Guidry, 2003). Explicación en el texto.

Figure 8. Travertine sedimentary model for Manantial Espejo, in parts replaced lately by silica, based on recent travertines (Hancock *et al.* 1999; Guo y Riding, 1998, 1999, Chafetz y Guidry, 2003). Explanation in the text.

(i.e. hot spring Rapolano Terme, Italia, Guo y Riding, 1998) que se forman en superficies deprimidas, distales respecto a las zonas de surgencia (E en la figura 8). La intercalación rítmica de delgadas láminas de ópalo entre las capas de calcita reconocida en los afloramientos ubicados al sur de la Laguna de La Brecha, revela cambios temporales en las condiciones físico-químicas de precipitación mineral o en la geoquímica de las soluciones.

(4) Por último, los estromatolitos y microestromatolitos reconocidos (Fig. 5c, g, h) indican la presencia de microorganismos en el ambiente geotermal. Aunque no hay acuerdo entre los investigadores acerca del origen orgánico o inorgánico de estos morfotipos en ambientes geotermales activos, es aceptado en general que los microorganismos, algas y bacterias, inducen la precipitación de carbonato de calcio en este tipo de depósitos.

DISCUSION

Sinter vs Jasperoides

A partir de la observación detallada de la laminación en los afloramientos de travertino del sur de la laguna de La Brecha, resulta evidente que, además de carbonato de calcio, las soluciones acuosas hidrotermales que

alcanzaban la superficie depositaban, en forma subordinada, sílice amorfa singenética. Sin embargo no resulta tan claro el origen de los bancos laminados totalmente silíceos a los que pasan lateralmente los bancos de travertino. Dos posibilidades respecto a su génesis son posibles, (a) que sean producto de la precipitación primaria de sílice, por lo que constituirían restos dispersos de un depósito de sinter o, (b) que sean el producto del reemplazo de calcita por sílice de baja cristalinidad de niveles de travertino, por lo que deberían ser considerados jasperoides. La continuidad lateral entre los laminados calcáreos y silíceos, las idénticas características estructurales de ambos tipos litológicos y el reemplazo parcial de calcita por sílice claramente observable en varios afloramientos de travertino, constituyen fuertes evidencias para considerar al reemplazo como la génesis más probable de gran parte de los niveles silíceos.

Por otra parte es oportuno recordar que una de las alteraciones hidrotermales más desarrolladas en el distrito Manantial Espejo es la silicificación. Se presenta, además del relleno singenético de fracturas por cuarzo (vetas), como reemplazo penetrativo por sílice de baja cristalinidad de unidades fragmentales ricas en cenizas (toba de caída), brechas y de cuerpos de travertino.

El control de la silicificación parece responder a

dos factores principales, la proximidad de las rocas afectadas a los canales de circulación de fluidos (zona de vetas) y a las características intrínsecas de la roca afectada. En el último caso, dos condiciones favorecieron el reemplazo por sílice, la composición química y/o mineralógica (carbonato de calcio en los travertinos) y la porosidad y permeabilidad (en las tobas de caída, tufitas y brechas). Cuando las fracturas/canales de circulación de fluidos cortan a ignimbritas soldadas, densas y muy poco porosas, la silicificación se restringe a unos pocos cm a partir de las fracturas. En algunas ocasiones, cuando la silicificación es muy intensa, se pierden las características originales de la roca reemplazada, estructuras sedimentarias o volcánicas, presentándose los afloramientos como riscos irregulares que sobresalen del terreno. Esta característica es común a otros jasperoides en otros lugares del mundo (p.e., Labathe-Hernández *et al.*, 1992).

La silicificación tiene un importante desarrollo lateral en las rocas receptivas y está bastante restringida al intervalo estratigráfico integrado por tobas de caída, tufitas, travertino y brecha hidroclástica.

Precipitación Carbonato-Sílice

La alternancia rítmica de calcita y ópalo como la que se observa en algunos sectores de travertino de Manantial Espejo resulta bastante atípica para depósitos de *hot spring* actuales y fósiles, como lo señalan Jones *et al.* (2000 a); Campbell *et al.* (2002); Canet *et al.* (2005). La mineralogía en los depósitos de *hot spring* es principalmente controlada por la química del agua termal (Canet *et al.*, 2005), que puede producir depósitos de sinter, a partir de aguas generalmente cloruradas con pH neutro o ligeramente alcalino o depósitos de travertino a partir de aguas también neutras a alcalinas con altas actividades de Ca^{2+} y CO_3^{2-} (Jones *et al.*, 2000b). Por otra parte la temperatura juega un papel importante en el control de la precipitación, la solubilidad de la sílice se incrementa con el aumento de la temperatura, por lo que la sobresaturación se logra fácilmente por enfriamiento (Renaut *et al.*, 2002), en tanto que la sobresaturación del carbonato se produce por pérdida de CO_2 según la ecuación:



En muchos sistemas de hot spring con formación de travertino, la pérdida de CO_2 por desgasificación es

la causa principal de sobresaturación de calcita (Chafetz *et al.*, 1991; Guo y Riding, 1998; Renaut *et al.*, 1999).

En Manantial Espejo, la falta de información respecto a las características del fluido hidrotermal responsable de la formación mineral del depósito impide conocer los factores que la controlaron, sin embargo, si asumimos que la composición de las aguas mantuvo más o menos constante sus concentraciones salinas, temperatura y pH, el control en la sobresaturación pudo responder a cambios físicos, presión atmosférica en el caso de la desgasificación de CO_2 o temperatura ambiente en el caso de la sobresaturación de sílice. En el hot spring Pavlova, Ngatamariki, Nueva Zelanda, Campbell *et al.* (2002) describen un sinter sílice-carbonático en el que la depositación de sílice y calcita está controlada por gradientes locales de temperatura, más que por la química general del agua termal. Asimismo Guidry y Chafetz (2003) proponen al enfriamiento como el proceso predominante que gobierna la precipitación mineral en el sinter del hot spring Yellowstone, Wyoming, USA. Una posibilidad para explicar la alternancia calcita-ópalo en algunos sectores de travertino de Manantial Espejo, es relacionar la ritmicidad mineral a fluctuaciones estacionales de temperatura.

Travertino y Fracturación

El estudio de numerosas regiones en el mundo con ambientes de *hot spring* actuales o recientes, ha permitido comprobar que existe una estrecha relación entre tectónica distensiva y localización de depósitos de travertino (Hancock *et al.*, 1999). Esta relación llevó a Robert Folk a acuñar el neologismo «*travitonics*» (en Hancock *et al.*, 1999), término que abarca todos los aspectos que conciernen a ambos procesos, tectónica y formación de travertinos.

La posición estratigráfica de los niveles calcáreos identificados en Manantial Espejo indican que el ambiente de *hot spring* comenzó a desarrollarse tempranamente en el distrito, asociado a un régimen tectónico extensional coincidente con el Sistema La Frisia o Zanjón del Pescado (Reimer *et al.*, 1998) que produjo fracturas (fallas directas) N 20° a 45° E y N 20° a 40° O como consecuencia de un σ_1 ubicado en torno a 0°. Las fallas generadas, constituyeron los principales canales de circulación de fluidos hidrotermales (estériles) que, al alcanzar la superficie y perder el CO_2 disuelto, precipitaron el carbonato de

calcio formando los niveles de travertino. Parte del carbonato precipitó en las mismas fracturas constituyendo laminados subverticales.

La migración del máximo esfuerzo en sentido anti-horario a 315°, produce un nuevo campo de esfuerzos (Sistema Bajo Grande) que genera fallas directas combinadas con movimiento dextral en 110° de azimut que cortan y desplaza los cuerpos de travertino subverticales, y constituyen los nuevos canales de circulación de fluidos que terminan alojando las vetas argento-auríferas.

Reimer *et al.* (1998) le asignan al Sistema La Frisia una edad entre el Calloviano alto y el Oxfordiano, aunque en la zona de Manantial Espejo sería algo más antiguo, al menos anterior al Calloviano, edad probable de la mineralización (~ 159 Ma, *sensu* Echeveste, 2005) alojada en la dirección principal del Sistema Bajo Grande (Panza, 1982; 1984).

CONCLUSIONES

La identificación de niveles de travertino intercalados entre unidades volcánicas de la Formación Chon Aike en el distrito Manantial Espejo, indica la presencia de un sistema *hot spring* asociado al proceso volcánico jurásico en un régimen tectónico distensivo.

Los morfotipos reconocidos en travertinos y jasperoides producto de su silicificación, interpretados como crestas de fisura, *vents* de zonas de surgencia, terrazas y microterrazas, revelan que la precipitación del carbonato correspondía a sectores proximales relacionados a geysers y conductos de vapor, los cuales se orientaban a lo largo de las fracturas que constituían los canales de circulación de fluidos. En tanto que los afloramientos con estratificación paralela horizontal (cortezas lacustres) corresponderían a zonas distales. Los travertinos se formaron relacionados a fracturas de un sistema de cizalla conjugado orientadas entre N 20° a 45° E y N 20° a 40° O pertenecientes al Sistema Estructural La Frisia o Zanjón del Pescado (Reimer *et al.*, 1998), posteriormente cortado y desplazado por fallas ONO-ESE, coincidentes con la dirección principal del Sistema Bajo Grande (Panza, 1982, 1984) ocupadas luego por las vetas de cuarzo.

La silicificación de los niveles carbonáticos produjo jasperoides que se presentan como cuerpos tabulares subverticales y subhorizontales, estos últimos con características texturales similares a las de sinters. La silicificación se originó tardíamente, asociada a la

alteración hidrotermal durante la etapa principal del régimen hidrotermal que generó las vetas portadoras de plata y oro.

Agradecimientos

El autor agradece la lectura crítica de este trabajo a la Lic. Silvia Blanco Ibáñez, al Dr. Sergio Matheos y colegas del INREMI. Asimismo se agradece a los árbitros Blas L. Valero Garces y Ana M. Alonso Zarza, por las correcciones y sugerencias realizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barnes, I., W.P. Irwin y D.E. White, 1978. *Global distribution of carbon-dioxide discharges and major zones of seismicity*. United States Geological Survey. Water Resources Investigations 78-39. Open File report.
- Campbell, K.A., K.A. Rodgers, J.M.A. Brotheridge y P.R.L. Browne, 2002. An unusual modern silica-carbonate sinter from Pavlova spring, Ngatamariki, New Zealand. *Sedimentology* 49:835-854.
- Canet, C., R.M. Prol-Ledesma, I. Torres-Alvarado, H.A. Gilg, R.E. Villanueva y R. Lozano-Santa Cruz, 2005. Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentary Geology* 174:97-113.
- Chafetz, H.S., P.F. Rush y N.M. Utech, 1991. Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO₃ precipitates: an example from an active travertine system. *Sedimentology* 38:107-126.
- Chafetz, H.S. y S.A. Guidry, 2003. Deposition and diagenesis of Mammoth Hot Spring travertine, Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. *Canadian Journal of Earth Science* 40:1515-1529.
- Echeveste, H., 2005. *Metalogénesis del distrito argento-aurífero Manantial Espejo, Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 251 pp. (Inédito).
- Echeveste, H., L. Echavarría y M. Tessone, 1995. Prospecto aurífero «La Josefina», un sistema hidrotermal tipo hot spring, Santa Cruz. Argentina. *V Congreso Nacional de Geología Económica, Actas:223-233*. San Juan.
- Evans, E.E., 1999. Recognition and implications of Eocene tufas and travertines in the Chadron Formation, White River Group, Badlands of South Dakota.

- Sedimentology* 46:771-789.
- Féraud, G., V. Alric, M. Fornari, H. Bertrand, y M. Haller, 1999. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters* 172:83-96.
- Fisher, R. y H. Schmincke, 1984. *Pyroclastic rocks*. Berlin: Springer-Verlag: 472 pp.
- Ford, T.D. y H.M. Pedley, 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41:117-175.
- Guo, L. y R. Riding, 1992. Micritic aragonite laminae in hot water travertine crust, Rapolano, Terme, Italy. *Sedimentology* 39:1067-1079.
- Guo, L. y R. Riding, 1998. Hot spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology* 45:163-180.
- Guo, L. y R. Riding, 1999. Rapid facies changes in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology* 46:1145-1158.
- Guido, D., R. de Barrio y I. Schalamuk, 1999. Sinter silíceo jurásico en estancia La Marciana, Macizo del Deseado, Santa Cruz. *XIV Congreso Geológico Argentino, Actas II:341-344*. Salta.
- Guido, D., R. De Lupi, R. Lopez, R.E. de Barrio y I. Schalamuk, 2002. Estromatolitos y mineralización epitermal en el área Marianas-Eureka, sector occidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz. *XV Congreso Geológico Argentino, Actas II:284-289*. El Calafate.
- Guidry, S.A. y H.S. Chafetz, 2003. Anatomy of siliceous hot springs: examples from Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Sedimentary Geology* 157:71-106.
- Hancock, P.L., R.M.L. Chalmers, E. Altunel y Z. Cakir, 1999. Travertines: using travertines in active faults studies. *Journal of Structural Geology* 21:903-916.
- Jones, B. y R.W. Renaut, 1997. Formation of silica oncoids around geysers and hot springs at El Tatio, northern Chile. *Sedimentology* 44:287-304.
- Jones, B., R.W. Renaut y M.R. Rosen, 2000a. Stromatolites forming in acidic hot-spring waters, North Island, New Zealand. *Palaios* 15:450-475.
- Jones, B., R.W. Renaut y M.R. Rosen, 2000b. Trigonal dendritic calcite crystals forming from hot spring waters at Waikite, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research* 70:586-603.
- Labarthe-Hernández, G., L. Jimenez-Lopez y J. Montilla-Moreno, 1992. Jasperoide – guía posible en la exploración minera, Mesa Central, México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 10, 2:137-142.
- Lopez, R.G., D.M. Guido, I.B. Schalamuk y R.E. de Barrio, 2003. Las Margaritas, un sinter jurásico vinculado a mineralización aurífera en el noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *10° Congreso Geológico Chileno*. Actas en CD. Concepción.
- Lovering, T.G., 1972. *Jasperoid in the United States-its characteristics, origin, and economic significance*. U.S. Geological Survey Professional Paper 710:164 pp.
- Marchionni, D., R. de Barrio, M. Tessone, M. Del Blanco y H. Echeveste, 1999. Hallazgo de estructuras estromatolíticas jurásicas en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54:173-176.
- Moreira, P., R. Fernández, I. Schalamuk y R. Etcheverry, 2002. Depósitos carbonáticos de hot spring relacionados a manifestaciones epitermales (Au-Ag), distrito La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *XV Congreso Geológico Argentino, Actas II:324-329*. El Calafate.
- Pankhurst, R. J., P.T. Leat, P. Sruoga, C.W. Rapela, M. Márquez, B.C. Storey y T.R. Riley, 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: A silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81:113-136.
- Panza, J.L., 1982. *Descripción geológica de las Hojas 53e, «Gobernador Moyano» y 54e, «Cerro Vanguardia», provincia de Santa Cruz*. Servicio Geológico Nacional: 197 pp. (inédito).
- Panza, J.L., 1984. *Descripción geológica de las Hojas 54f, «Bajo de La Leona» y 54g, «Bahía Laura», provincia de Santa Cruz*. Servicio Geológico Nacional, 197 p. (inédito).
- Pentecost, A., 1995. The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Reviews* 14:1005-1028.
- Pentecost, A. y H.A. Viles, 1994. A review and reassessment of travertine classification. *Geographie physique et Quaternaire* 48:305-314.
- Ramos, V., 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America. A collisional history. *Episodes* 11:168-175.
- Ramos V., 2002. Evolución Tectónica. En: M. Haller (ed.): *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, Relatorio- XV Congreso Geológico Argentino, Relatorio I-23:365-387*.
- Reimer, W., H. Miller y H. Mehl, 1996. Mesozoic and

- Cenozoic palaeo-stress field of the South Patagonian Massif deduced from structural and remote sensing data. En: B.C. Storey, E.C. King y R.A. Livermore (eds.) *Weddell Sea Tectonics and Gondwana Break-up*, Geol. Soc. Sp. Publ. 108:73-85; London.
- Renaut, R.W., B. Jones, C. Le Tardu, 1999. Calcite lily pads and ledges at Lorusio Hot Springs, Kenya Rift Valley: travertine precipitation at the air-water interface. *Canadian Journal of Earth Science* 36:649-666.
- Renaut, R.W., B. Jones, J.J. Tiercelin y C. Tarits, 2002. Sublacustrine precipitation of hydrothermal silica in rift lakes: evidence from Lake Baringo, central Kenya Rift Valley. *Sedimentary Geology* 148:235-257.
- Riding R., 1991. Calcified cyanobacteria. En: R. Riding (Ed.) *Calcareous algae and stromatolites*, 55-87, Springer Verlag, Berlin, Germany:
- Riley, T., P. Leat, R. Pankhurst y C. Harris, 2001. Origin of large volume rhyolitic volcanism in Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology* 42, 6: 1043-1065.
- Schalamuk, I.B., H. Echeveste, R. Etcheverry y S. Ametrano, 1998. Metalogénesis del yacimiento de oro-plata «Manantial Espejo», Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Buenos Aires* 50:217-236.
- Schalamuk, I.B., D. Guido, R.E. de Barrio y R.R. Fernández, 1999. Hot spring structures from El Macanudo-El Mirasol area, Deseado Massif, Argentina. En: Stanley, Schalamuk, Guido, de Barrio y Fernández (eds.). *Mineral Deposits Processes to processing*, 577-580, Balkema, Rotterdam.
- Spurr, J.E., 1898. *Geology of the Aspen mining district, Colorado*. U.S. Geological Survey Monograph 31, v. 35, 260 pp., atlas.
- Uliana M., K. Biddle, D. Phelps y D. Gust, 1985. Significado del vulcanismo y extensión mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 40:231-253.

Recibido: 29 de abril de 2005
Aceptado: 18 de junio de 2005