

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

TEXTURAL - MINERALOGIC CHARACTERIZATION OF PASO DEL DRAGÓN COMPLEX TOURMALINITES

Peel, E.¹; Silva Lara, H.¹; De Armas, I.¹

¹Facultad de Ciencias - Universidad de la República
Iguá 4225 CP11400 Montevideo – Uruguay
elena@fcien.edu.uy

RESUMEN

El presente trabajo aborda el estudio mineralógico-textural de la mineralización de turmalina asociada al Complejo Paso del Dragón, localizado en la región noreste del país. La finalidad de este estudio es determinar si las turmalinitas que ocurren en los litodemas del Complejo, Serpentinitas del Cerro La Tuna y Esquistos de la Micaela, poseen una evolución textural y composicional semejante. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un detallado estudio petrográfico que abarcó tanto la óptica clásica como microscopía electrónica de barrido y análisis elemental por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X. Las turmalinitas asociadas a los Esquistos de la Micaela muestran una gradación composicional entre las especies dravita y chorlo, mientras que la turmalinita asociada a las Serpentinitas del Cerro la Tuna corresponde a la especie dravita. En base a las texturas y características de las turmalinitas de ambos litodemas se propone una génesis hidrotermal en dos etapas, con características propias para cada litodema. El hecho de compartir las mismas fases minerales accesorias sugiere que ambas mineralizaciones compartieron al menos una etapa genética en su evolución.

Palabras clave: turmalina; microscopía electrónica de barrido; Complejo Paso del Dragón; Ediacarano; Uruguay.

ABSTRACT

It is presented here a mineralogical-textural study of the tourmaline mineralization associated to Paso del Dragón Complex, located in northeastern Uruguay. The purpose of this study is to determine if the tourmalinites occurring within the Cerro La Tuna Serpentinities and La Micaela Schists lithodemes have a similar textural and compositional evolution. To achieve this goal, it was conducted a detailed petrographic study covering both, classic optical and scanning electronic microscopy together with elemental analysis by X-ray dispersive energy spectroscopy. The tourmalinites associated with La Micaela Schists displayed a compositional gradient from dravite to schorl species; while the tourmalinite associated with Cerro la Tuna Serpentinities corresponds to dravite species. Based on the textures and other tourmalines features in both lithodemes, it is proposed a hydrothermal genesis in two stages, with particular characteristics for each lithodeme. Accessory mineral phases of both tourmalinites point to at least one common genetic stage.

Keywords: tourmaline; scanning electron microscopy; Paso del Dragón Complex; Ediacaran; Uruguay

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

INTRODUCCIÓN

La turmalina ocurre generalmente como una fase accesorio en las rocas, aunque también puede ocurrir como un mineral mayoritario, generando turmalinitas. La turmalina se forma en una amplia variedad de ambientes, ocurriendo como mineral diagenético en cuencas sedimentarias soterradas, como mineral de ganga en yacimientos minerales, asociado con metamorfismo de contacto, regional y de subducción, en metasomatismo y como un importante mineral típicamente cristalizado en cuerpos ígneos fraccionados (por ejemplo, Slack & Trumbull 2011, Henry & Dutrow 1996, Slack 1996, London et al. 1996, Henry et al. 1999, Nakano & Nakamura 2001, Roda-Robles et al. 2011). Dentro de estos ambientes, la turmalina se presenta en una amplia variedad de composiciones de roca hospedera, que van desde cuerpos intrusivos ricos en sílice y sedimentos, rocas máficas pobres en sílice, pelitas, calizas impuras y evaporitas y sus equivalentes metamórficos. La ocurrencia común de turmalina en rocas sometidas a metasomatismo por fluidos contenedores de boro es una evidencia más de que la turmalina acomoda composiciones químicas muy diversas (Morgan & London 1989, Dutrow et al. 1999, Marschall et al. 2006, Marocchi et al. 2011).

En Uruguay, la turmalina ha sido descrita como mineral accesorio en litologías tanto ígneas como metamórficas y sedimentarias. Particularmente, en el Complejo Paso del Dragón (Peel 2012; Peel et al., 2018) la presencia de niveles mineralizados de turmalina es muy abundante y constituyen verdaderas turmalinitas. La primera mención a la ocurrencia de turmalina en el Complejo Paso del Dragón (CPD) fue efectuada por Bossi & Schipilov (2000) y exclusivamente a la asociada a las rocas serpentiniticas. Estos autores, si bien no realizaron estudios específicos, la definieron como chorlo y propusieron que la turmalina allí presente reemplazó a la tremolita asociada a las Serpentininitas del Cerro La Tuna debido a un aumento local del contenido de boro. Posteriormente, Peel (2012) describió la existencia de niveles mineralizados de turmalina en el CPD, no sólo asociada a las Serpentininitas del Cerro La Tuna, sino también al litodema Esquistos de la Micaela. Los únicos estudios de caracterización de las turmalinas efectuados hasta el momento han sido en la turmalinita asociada a las litologías máfico-ultramáficas del CPD (Peel 2012, 2014; Nuñez et al. 2013; Garda et al. 2016). De acuerdo con estos resultados parciales, esta turmalina corresponde a dravita, y se sugirió un ambiente de formación hidrotermal vulcanogénico.

El objetivo del presente trabajo es determinar si las turmalinitas que ocurren en ambos

litodemas del CPD poseen una evolución textural y composicional semejante, que aporte para el conocimiento de su génesis. La metodología aplicada para alcanzar el objetivo se basa en la caracterización mineralógica de las turmalinitas asociadas tanto a las Serpentininitas del Cerro La Tuna como a los Esquistos de la Micaela, a través de la petrografía óptica y por microscopía electrónica de barrido con análisis por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS).

CONTEXTO GEOLÓGICO

El Complejo Paso del Dragón, ubicado en la porción noreste del país, abarca un conjunto de litologías deformadas y metamorizadas de origen volcanosedimentario, dispuestas en forma de arco con dirección N20°E a EW (Figura 1) ocupando un área de ca. 280 Km². Se encuentra en contacto tectónico con el Batolito Dionisio-Sierra de los Ríos (Preciozzi et al. 1985) al norte y oeste, y con migmatitas y gneises del Terreno Punta del Este (Preciozzi et al. 1999) o Terreno Cuchilla Dionisio (Bossi et al. 1998; Bossi & Gaucher 2004) al sur. El primer reconocimiento de esta asociación litológica se remonta a Preciozzi et al. (1979) quienes la definieron como Formación Paso del Dragón. Posteriormente, trabajos como el de Bossi & Navarro (1988), Bossi & Schipilov (2000), Peel et al. (2010), y Gaucher et al. (2010), llevaron a Peel (2012) a redefinir a la unidad Paso del Dragón como Complejo.

El CPD está constituido por dos unidades litodémicas: (a) los esquistos de la Micaela que constituyen más del 80% del Complejo y abarcan una asociación meta-vulcano-sedimentaria con deformación múltiple, compuesta por esquistos cuarzo-feldespáticos a muscovita dominantes, con intercalaciones de cuarcitas, meta-volcánicas félsicas, esquistos biotíticos con granate, y esquistos a cuarzo y turmalina, y (b) las serpentinitas del Cerro La Tuna que constituyen menos del 20% del Complejo y abarcan rocas máficas-ultramáficas también deformadas y metamorizadas constituidas por serpentinitas, esquistos magnesianos variados y esquistos anfibólicos, alojadas en el litodema (a). Las edades U-Pb en circón obtenidas para el Complejo, sugieren que la depositación ocurrió ca. 590 Ma (Gaucher et al. 2011, 2014; Peel 2012; Peel et al. 2018). Recientemente, Will et al. (2019) obtuvieron dos edades Ar-Ar en hornblenda para las anfibolitas del Cerro la Tuna de 623 ± 3 Ma y 625 ± 3 Ma. Estas edades son interpretadas como metamorfismo retrógrado regional.

De acuerdo con Peel (2012) el ambiente geotectónico del Complejo Paso del Dragón estaría relacionado con una cuenca de back-arc,

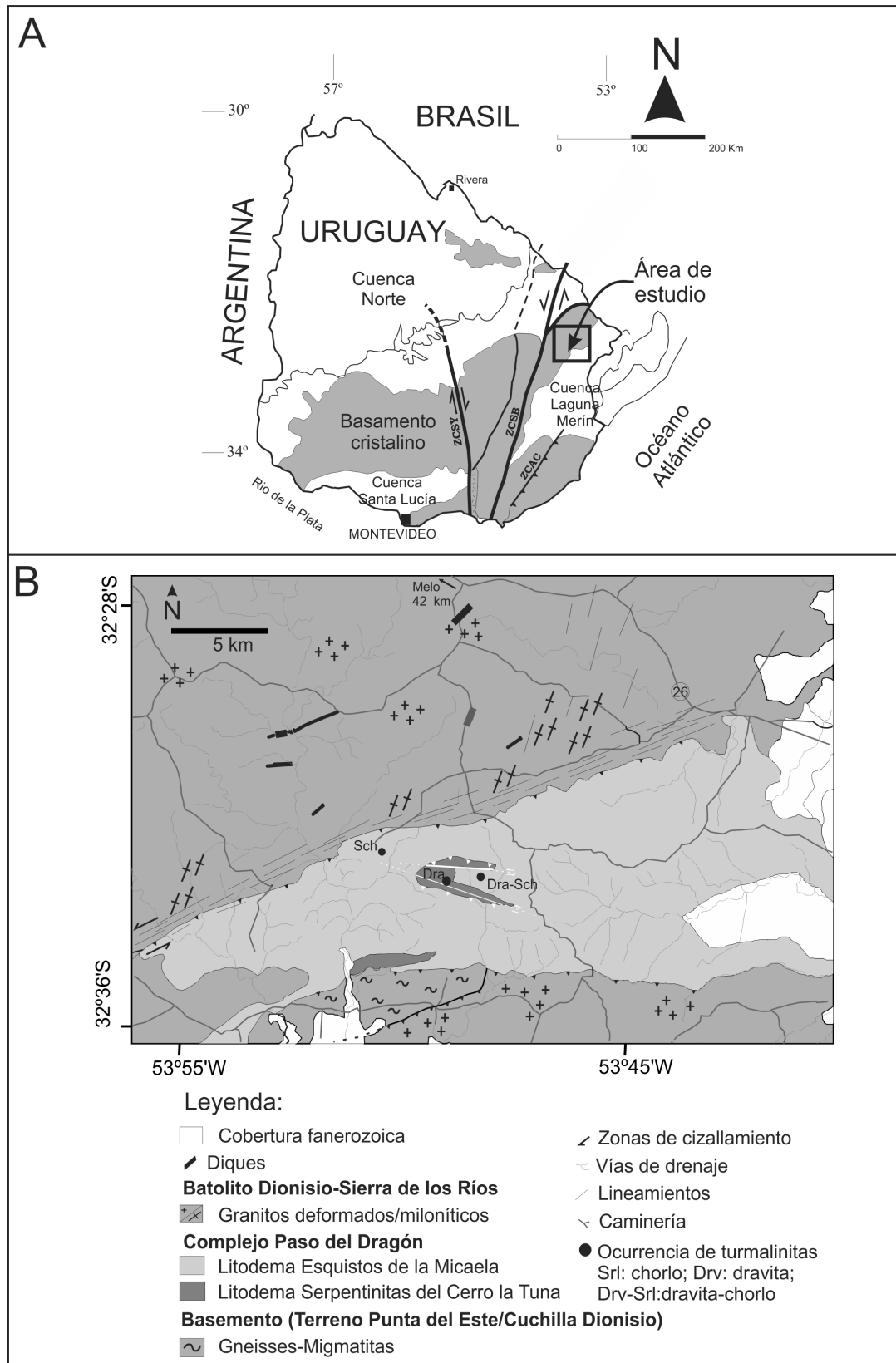


FIGURA 1. (a) Localización del área de estudio dentro del basamento cristalino uruguayo; (b) Esbozo geológico del Complejo Paso del Dragón y localización de las zonas mineralizadas estudiadas.

FIGURE 1. (a) Location of the study area within the crystalline basement of Uruguay; (b) Geological sketch of Paso del Dragón Complex and location of the mineralized areas studied.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

donde los esquistos de la Micaela representarían los depósitos meta-vulcano-sedimentarios; mientras que las rocas máfico-ultramáficas serían indicativas de materiales mantélicos generados durante el proceso extensional, común durante el desarrollo del back-arc. Además, Peel (2012) indicó que la firma geoquímica de los componentes volcánicos del Complejo Paso del Dragón sugiere que estarían vinculados a márgenes activas, lo que estaría de acuerdo con el contexto geológico de una cuenca de back-arc; y que la geoquímica de las rocas ultramáficas presenta una naturaleza mantélica empobrecida. Posteriormente Will et al. (2014) presentaron datos isotópicos y geoquímicos para anfibolitas y serpentina-fels/esquistos del litodema Cerro la Tuna, reafirmando un origen a partir de manto empobrecido sin interacción con material litosférico continental. Recientemente Peel et al. (2018) señalan que el CPD puede ser interpretado como un remanente de unidades sedimentarias y magmáticas generadas en un ambiente relacionado a arco magmático. Su generación, deformación, y metamorfismo, principalmente en el Ediacarano, está asociada a la amalgamación de Gondwana Occidental.

En ambos litodemas descritos ocurren niveles mineralizados de turmalina (Peel 2012). En los Esquistos de la Micaela, la turmalina aparece como mineral principal y como accesorio. Los esquistos a cuarzo y turmalina se encuentran cercanos al contacto entre ambos litodemas del Complejo. Se componen de cuarzo, turmalina, y subordinadamente biotita, feldespato y minerales opacos. Se observan bandas de composiciones bien diferenciadas, con texturas granoblásticas definidas por el cuarzo y la turmalina. Peel (2012) también describe la presencia de turmalina como mineral accesorio en esquistos a clorita, muscovita y biotita, en los micaesquistos a sericita, clorita, cuarzo y granate, y en los esquistos a mica blanca y biotita. En las Serpentininitas del Cerro La Tuna la turmalina aparece asociada a las serpentinitas, constituyendo verdaderas turmalinitas. Éstas se componen principalmente de turmalina magnesiana en una matriz de clorita. Como accesorios se destacan anfíbol magnesiano, monacita, xenotimo e ilmenita. Las turmalinas se presentan con hábito prismático alargado, dispuestas en forma radial, y también con secciones basales.

Los únicos estudios de carácter químico efectuados hasta el momento, han sido en las turmalinas asociadas a las litologías máfico-ultramáficas. De acuerdo con estos resultados, las turmalinas son dravíticas y el ambiente sugerido para su formación es hidrotermal vulcanogénico (Peel 2012, 2014; Nuñez et al. 2013; Garda et al. 2016).

MÉTODOS DE ESTUDIO

Para efectuar la caracterización mineralógica de las turmalinitas se emplearon un total de cuatro láminas delgadas y seis secciones pulidas que fueron confeccionadas en el Laboratorio de Corte y Molienda del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República). Asimismo, se emplearon dos montajes de granos y cinco láminas delgadas y pulidas, confeccionadas en el Laboratório de Laminação del Instituto de Geociências de la Universidad de São Paulo (Brasil).

La descripción petrográfica clásica se realizó utilizando un microscopio óptico Nikon-Eclipse 5iPoL con cámara fotográfica acoplada Nikon Ds-Fi-1. El software de visualización utilizado fue el NIS-Elements F3.0. El análisis morfológico y composicional se realizó en la sección Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias - Universidad de la República, empleando un microscopio electrónico de barrido modelo Jeol 5900-Low Vacuum con espectrómetro de energía dispersiva acoplado (EDS) y en el Laboratório de Microsonda Eletrônica del Instituto de Geociências (IGc) de la Universidad de São Paulo (USP) modelo JEOL JXA-FE-8530, con espectrómetro EDS acoplado.

Las secciones pulidas fueron recubiertas con oro y se analizaron en Facultad de Ciencias con un voltaje de aceleración en el haz incidente de 20 kV. Los montajes y las láminas delgadas y pulidas fueron recubiertas con carbono y analizados en IGc-USP (Brasil) con un voltaje de aceleración en el haz incidente de 15 kV.

RESULTADOS

Aspectos de campo y petrografía

Las mineralizaciones de turmalina estudiadas presentan distintas características en función del litodema a las que están asociadas. Por un lado, las turmalinitas asociadas al litodema Serpentininitas del Cerro la Tuna afloran como planchones rasos de escasas dimensiones en la ladera media del Cerro La Tuna (Figura 2a). En muestra de mano se reconoce turmalina oscura inmersa en una matriz de clorita verde claro. Las turmalinas presentan una disposición radial, con cristales individuales de hasta 2 cm, de hábito prismático bien desarrollado (Figura 2b).

Por otro lado, las turmalinitas asociadas al litodema Esquistos de La Micaela se presentan como niveles concordantes con la Sb del esquistito conformado por turmalina y cuarzo, plegados pasivamente por una foliación de

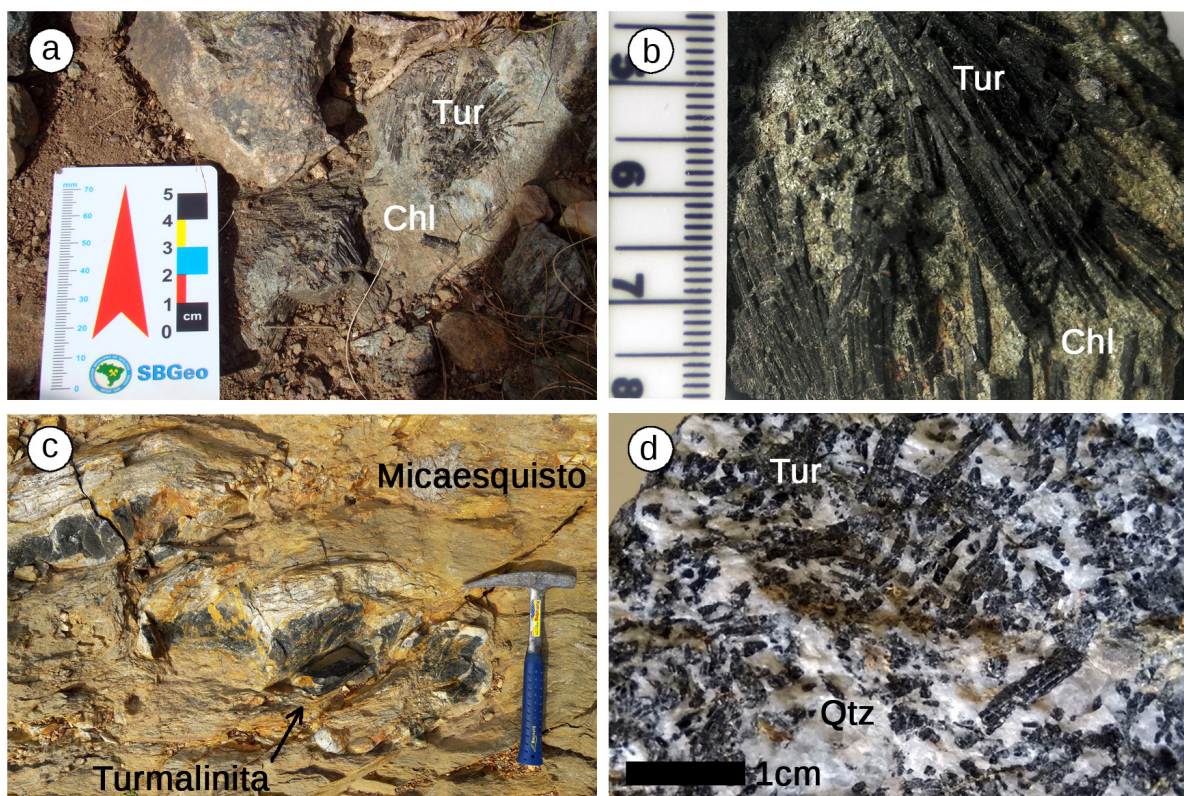


FIGURA 2. (a) Vista en planta de afloramiento de clorita-turmalinitas; (b) Detalle de la textura de las clorita-turmalinitas; (c) Vista en planta de afloramiento de cuarzo-turmalinitas; (d) Detalle de la textura de las cuarzo-turmalinitas.

FIGURE 2. (a) Chlorite-tourmalinite outcrop in plan view; (b) Chlorite-Tourmalinite texture detail; (c) Quartz-tourmalinite outcrop in plan view; (d) Quartz-Tourmalinite texture detail.

tendencia E-W (Figura 2c). Los diferentes niveles relevados presentan proporciones variables de cuarzo y turmalina. En muestra de mano se reconocen cristales de turmalina prismáticos con orientación aleatoria, de hasta 1 cm de longitud, inmersos en matriz de cuarzo (Figura 2d).

CLORITA-TURMALINITAS (Litodema Serpentinitas del Cerro la Tuna)

En lámina delgada se constata que la clorita-turmalinita (Chl-Turmalinita) está compuesta esencialmente por clorita y turmalina. La turmalina representa más del 60% de la composición, presentándose en dos poblaciones de distinto tamaño, una de dimensiones centimétricas dispuestas como agregados radiales y otra población de menor tamaño representada por cristales individuales con dimensiones entre 50 y 100 micras (Figura 3a). La turmalina se presenta en cristales euhedrales a subhedrales. Las secciones basales son pseudo hexagonales, presentando predominantemente zonación en parches y ocasionalmente concéntrica (Figura 3a y c). Las secciones longitudinales presentan sobrecrecimientos fibrosos a partir de núcleos homogéneos. Estos sobrecrecimientos son

concordantes con el largo del mineral (Figura 3b). En los cristales de menor tamaño tienden a desarrollarse menos zonas o a ser cristales homogéneos. Las turmalinas exhiben pleocroísmo desde incoloro a diferentes tonalidades de verde o verde amarillento, y en luz polarizada muestran colores de interferencia dentro del segundo orden. Es común observar fracturas perpendiculares al largo del cristal en las secciones longitudinales. Las principales inclusiones reconocidas fueron rutilo, monacita, circón y clorita (Figura 3a y c).

La matriz de la roca pese a ser fundamentalmente clorítica también incluye en menor proporción tremolitas. La clorita presenta un carácter incoloro en luz natural y colores de birrefringencia de primer orden. Las tremolitas son igualmente incoloras. Esta matriz contiene como minerales accesorios los mismos que están presentes como inclusiones en las turmalinas. La roca se encuentra recortada por finas venillas discontinuas de opacos, así como de serpentinas (Figura 3a).

CUARZO-TURMALINITAS (Litodema Esquistos de La Micaela)

En lámina delgada se constata que las cuarzo-turmalinitas (Qtz-Turmalinitas) están compuestas

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

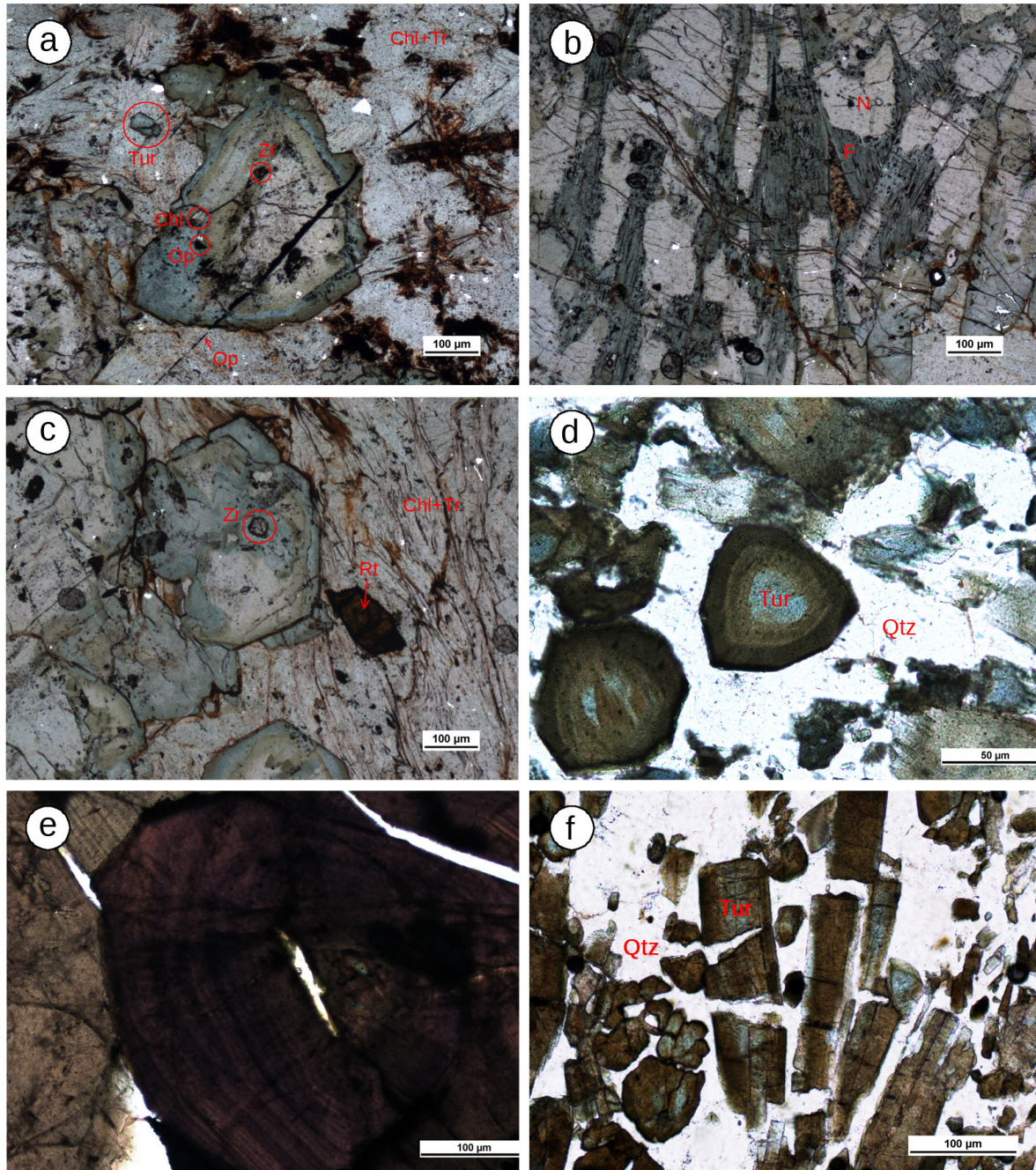


FIGURA 3. Fotomicrografías en luz natural: a) En el centro de la imagen: sección basal pseudo hexagonal de turmalina con zonación concéntrica inmersa en una matriz de clorita y tremolita. Obsérvese las inclusiones de circón, clorita y opacos, la generación de turmalina homogénea de menor tamaño, y la venilla discontinua de opacos. b) Sobrecrecimientos fibrosos a partir de núcleos homogéneos en turmalina c) Cristal de turmalina con zonación en parches, rutilo y circón accesorios; d) En el centro de la imagen: sección basal de turmalina con zonación concéntrica inmersa en una matriz de cuarzo; e) Detalle de cristal de turmalina con zonación concéntrica oscilatoria; f) Secciones longitudinales de cristales fracturados.

FIGURE 3. Photomicrographs in plane polarized light: a) Center of the image: pseudohexagonal basal section of tourmaline showing concentric zoning immerse in a chlorite-tremolite matrix. Note the zircon, chlorite and opaque minerals inclusions; b) Fibrous overgrowths from homogeneous tourmaline cores; c) Patchy zoned tourmaline crystal, accessory rutile and zircon; d) Center of the image: concentrically zoned tourmaline basal section immerse in a quartz matrix; e) Detail of a concentrically-oscillatory zoned tourmaline crystal; f) Fractured longitudinal sections of tourmaline crystals.

principalmente por cuarzo y turmalina, la abundancia relativa de estos minerales determina un bandeo grosero. En estas rocas la turmalina representa más del 60-70% de la composición. La misma se presenta en cristales euhedrales a subhedrales con tamaños entre (0,5 y 2 mm) sin orientación preferencial (Figura 3d). Las secciones basales son pseudo hexagonales con zonación oscilatoria y/o concéntrica, tanto muy fina como en bandas gruesas (Figura 3d y e), ocasionalmente se observa zonación en parches. En estas secciones las tonalidades verdes tienden a presentarse en el centro del cristal y las marrones en las zonas más externas. Las secciones longitudinales son prismas alargados que presentan zonación en bandas paralelas al largo del cristal así como un carácter uniaxial negativo. También es notorio que los cristales de menor tamaño tienden a ser homogéneos (sin zonación). El pleocroísmo oscila entre amarillo pálido a castaño intenso verdoso. Los colores de interferencia se ubican dentro del segundo orden, aunque están comúnmente enmascarados. Los cristales presentan inclusiones de pequeño tamaño de cuarzo, opacos, monacita y circón. Las turmalinas se pueden observar en contacto entre sí o separados por cuarzo. En general los cristales se observan fracturados, estando las fracturas rellenas por cuarzo y/o abundantes opacos. Es frecuente observar fracturas perpendiculares al largo del cristal en secciones longitudinales, las cuales incluso llegan a segmentar al individuo (Figura 3f).

El cuarzo representa el principal mineral en abundancia después de la turmalina. Los cristales presentan contactos interlobados, presentando los de mayor tamaño formación de subgranos. También se encuentran contactos poligonales a 120°, indicando procesos de recristalización estática/recuperación. Los principales minerales accesorios observados fueron circón, monacita, rutilo y opacos.

Microscopía electrónica de barrido y análisis EDS

En las imágenes BSE es posible observar en las turmalinitas aspectos de la geometría y relación entre los minerales, que son coincidentes con lo descrito en microscopía óptica. Particularmente en la turmalina es posible observar, con gran detalle, las zonaciones y estructuras de los cristales que responden a variaciones químicas (Figura 4a-f). Se constata que la Chl-Turmalinita posee un dominio de las zonaciones por parches y una gran abundancia

de fases minerales accesorias compartidas entre las turmalinas y la matriz (Figura 4a y b). En las Qtz-Turmalinitas se confirma una predominancia de zonaciones discontinuas y/u oscilatorias, y menor cantidad de fases minerales accesorias con respecto a la Chl-Turmalinita (Figura 4c y d).

Los espectros EDS puntuales realizados en los cristales de turmalina se presentan en la Figura 5. Estos análisis fueron llevados a cabo para establecer la especie mineral, determinando si existían diferencias entre las turmalinas de las distintas mineralizaciones presentes en el CPD. Como se observa en la Figura 5a, los espectros obtenidos comparados con los espectros patrón presentados por Reed (2005) indican que las turmalinas de las Chl-Turmalinitas son clasificables como dravitas, mientras que las especies de turmalinas asociadas a las Qtz-Turmalinitas varían composicionalmente entre dravita y chorlo (Figura 5b). Cabe destacar que parece existir un gradiente composicional de las turmalinas en función de la distancia a las Serpentinitas del Cerro la Tuna. Cuanto más alejadas de las litologías ultramáficas las turmalinas se acercan a la composición de chorlo.

En relación a las fases minerales accesorias, los espectros obtenidos (Figura 6) comparados con los espectros patrón (Reed 2005) señalan que ambos tipos de turmalinitas contienen los mismos minerales: monacita, rutilo y circón. La principal diferencia entre ambos tipos de turmalinita radica en la abundancia relativa de estas fases minerales accesorias, siendo mucho más abundantes en las Chl-turmalinitas.

DISCUSIÓN

A partir del análisis petrográfico y fundamentalmente basado en la observación de las texturas descritas, asociadas a la interacción de cristales con fluidos hidrotermales (e.g. Dutrow & Henry 2000; Henry et al. 2002; Pesquera et al. 2005), se sugiere aquí una génesis asociada a hidrotermalismo. Este proceso determinó una evolución textural en al menos dos etapas que es registrada con diferentes características en cada asociación mineral. En el caso de las Chl-Turmalinitas las evidencias que permiten inferir cada etapa son:

Etapla 1 – Fundamentalmente la textura general sin orientación preferencial que poseen las rocas a distintas escalas, así como la concordancia entre los minerales accesorios de la matriz de la roca con las inclusiones de los cristales de turmalina. No obstante, este evento hidrotermal pudo haber presentado distintos pulsos, o haber tenido una evolución en el tiempo. Esto último es apoyado por las zonaciones en parche que

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

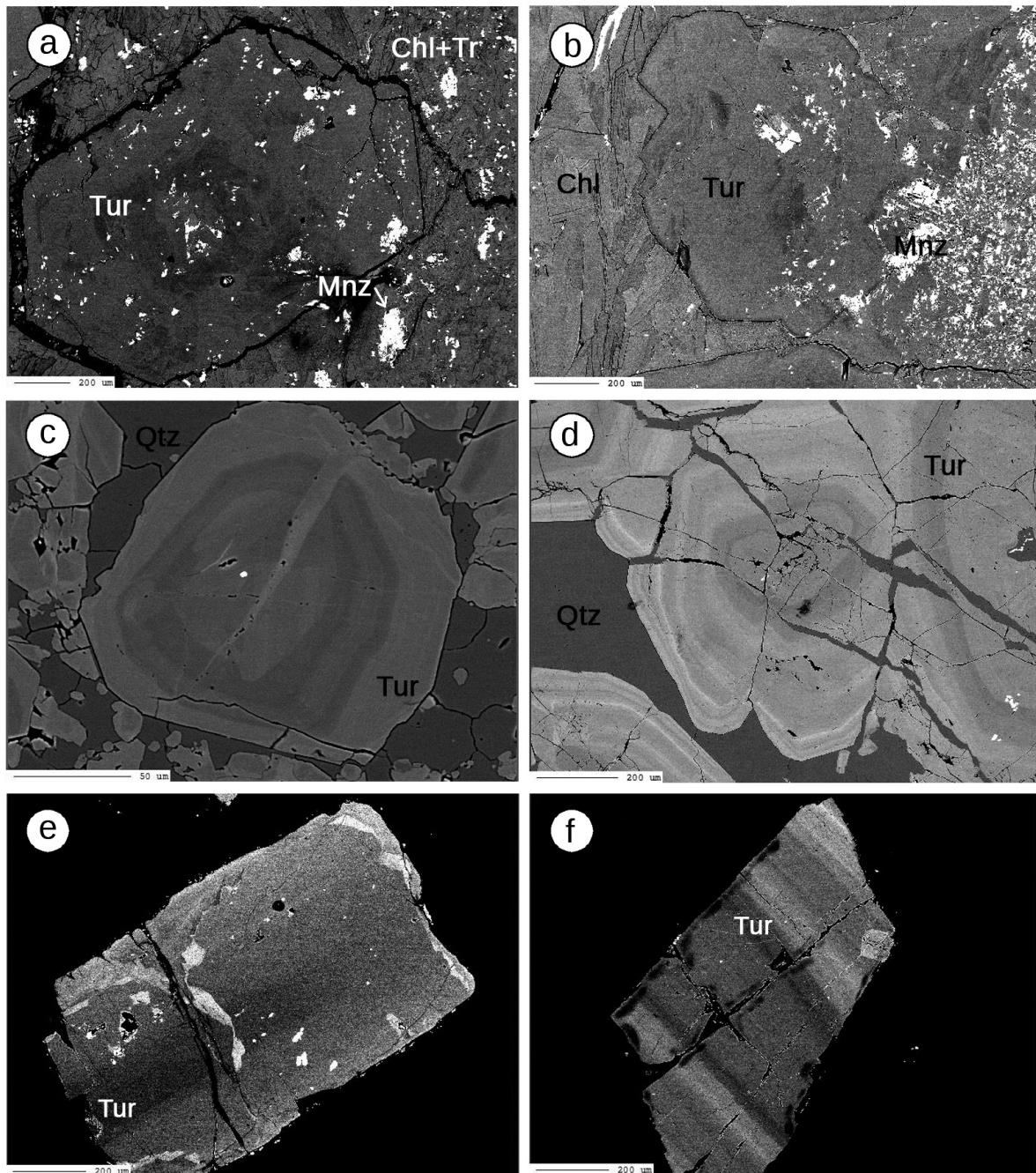


FIGURA 4. Imágenes BSE de las turmalinitas: a) Sección basal de turmalina con zonación discreta inmersa en una matriz de clorita. Obsérvese la gran cantidad de monacita presente; b) Sección basal de turmalina con zonación en parches inmersa en una matriz de clorita. Obsérvese la gran cantidad de monacita presente; c) Sección basal de turmalina con zonación concéntrica oscilatoria inmersa en una matriz de cuarzo. Obsérvese la escasez de fases minerales accesorias; d) Secciones basales de turmalina con zonación concéntrica oscilatoria en una matriz de cuarzo. Obsérvese el importante fracturamiento de los cristales e) Sección longitudinal de turmalina con zonación discreta (Chl-Turmalinita) f) Sección longitudinal de turmalina con zonación oscilatoria (Qtz-Turmalinita).

FIGURE 4. BSE images of tourmalinites: a) Tourmaline basal section with discrete zoning immerse in a chlorite matrix. Note the great amount of monazite present; b) Tourmaline basal section with patchy zoning immerse in a chlorite matrix. Note the great amount of monazite present; c) Tourmaline basal section with concentric-oscillatory zoning immerse in a quartz matrix. Note the scarce amount of accessory minerals present; d) Tourmaline basal sections with concentric-oscillatory zoning immerse in a quartz matrix. Note the important crystal fracturing; e) Tourmaline longitudinal section with discrete zoning (Chl-Tourmalinite); f) Tourmaline longitudinal section with oscillatory zoning (Qtz-Tourmalinite).

son referidas en la bibliografía (e.g. Pesquera et al. 2005) como un efecto de la interacción de los cristales de turmalina previamente formados con fluidos reactivos. Asimismo, la ocurrencia de dos generaciones de distinto tamaño, siendo la más pequeña de tendencia homogénea y en cristales aislados, contribuye a esta idea.

Etapas 2 – La presencia de sobrecrecimientos fibrosos en los cristales de turmalina y el fracturamiento de los mismos. Fenómenos similares han sido descritos en turmalinas en otras localidades asociados a eventos hidrotermales tardíos (e.g. Dutrow & Henry 2000; Henry et al. 2002). Además, la presencia de recortes frágiles en la roca, rellenos por minerales opacos y serpentina, también dan cuenta de una etapa de hidrotermalismo bajo condiciones frágiles.

En el caso de las Qtz-Turmalinitas las evidencias que permiten inferir cada etapa son:

Etapas 1 – Al igual que en las Chl-Turmalinitas, la predominancia de texturas sin orientación preferencial, así como las distintas generaciones de tamaño de grano en las turmalinas. Sin embargo, existen algunas diferencias notorias, siendo la más llamativa la dominancia de las zonaciones concéntricas y oscilatorias en las turmalinas de las Qtz-Turmalinitas. De acuerdo con Taylor & Slack (1984), London et al. (1996), y Slack (1996) estas zonaciones se producen por la evolución del quimismo del sistema hidrotermal en el tiempo.

Etapas 2 – La importante fracturación de las turmalinas y el relleno de dichas fracturas

por parte de cuarzo y/u opacos da cuenta de un estadio hidrotermal que afecta a la roca ya formada. Este comportamiento frágil pudo deberse a la inyección abrupta de los fluidos. También es interesante destacar las texturas del cuarzo, indicativas de condiciones de la facies esquistos verdes inferior, sugiriendo que esta etapa fue sucedida por un evento de deformación de la roca a baja temperatura. Esta última afirmación es coherente con las observaciones de campo, donde los niveles de Qtz-turmalinitas se encuentran plegados y boudinados.

Garda et al. (2016) propusieron para las Chl-Turmalinitas del CPD la participación de tres fluidos hidrotermales en base a estudios de química mineral. Esa propuesta muestra cierta concordancia con los resultados de este estudio mineralógico-textural en lo que respecta a la génesis hidrotermal de la mineralización. No obstante esto, las observaciones texturales presentadas aquí no permiten una correlación directa con la cronología propuesta por dichos autores.

CONCLUSIONES

Los estudios efectuados han permitido determinar que las turmalinitas del Complejo Paso del Dragón presentan variaciones composicionales entre ambos litodemas. La Chl-Turmalinita, asociada a las Serpentininitas del Cerro la Tuna, corresponde a la especie dravita. Sin embargo, las turmalinas de las Qtz-

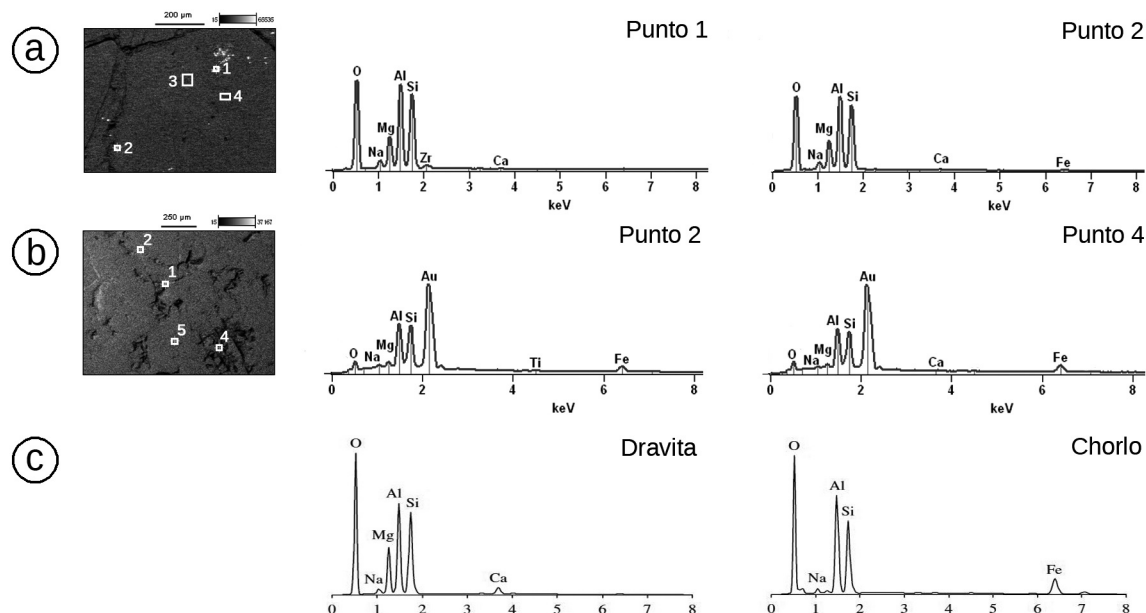


FIGURA 5. a) Espectros EDS obtenidos en turmalinas de Chl-Tourmalinites; b) Espectros EDS obtenidos en turmalinas de Qtz-Tourmalinites; c) Espectros EDS patrón de las especies dravita y chorlo (tomados de Reed 2005).

FIGURE 5. a) Tourmaline EDS spectra obtained in Chl-Tourmalinites; b) Tourmaline EDS spectra obtained in Qtz-Tourmalinites; c) Standard EDS spectra of dravite and schorl species (from Reed 2005).

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

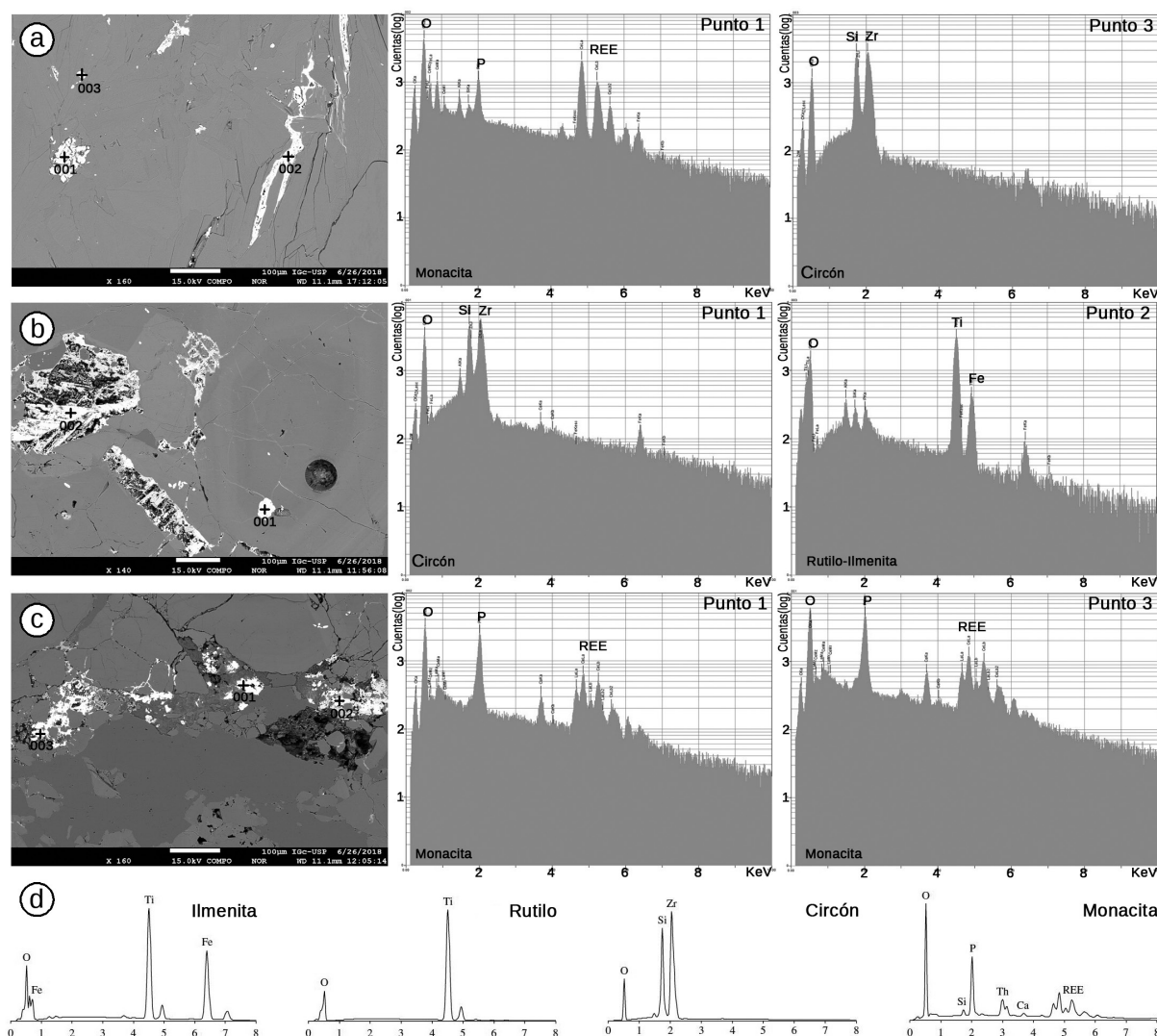


FIGURA 6. Imágenes BSE y espectros EDS de las fases minerales accesorias: a) Monacita y circón en Chl-Tourmalinitas; b) Circón y rutilo-ilmenita en Qtz-Tourmalinitas; c) Monacitas en Qtz-tourmalinitas; d) Espectros EDS patrón de los minerales ilmenita, rutilo, circón y monacita (tomados de Reed 2005).

FIGURE 6. BSE Images and EDS spectra of accessory minerals: a) Monazite and zircon in Chl-Tourmalinites; b) Zircon and rutile-ilmenite in Qtz-Tourmalinites; c) Monazite in Qtz-tourmalinites; d) Standard EDS spectra of ilmenite, rutile, zircon, and monazite (from Reed 2005).

Tourmalinitas asociadas a los Esquistos de la Micaela, muestran una gradación composicional entre las especies dravita y chorlo. Estas variaciones composicionales parecen estar relacionadas a su ubicación en función de la distancia a las serpentinitas. Esto sugiere una correspondencia entre la caja de la mineralización con la composición química de las turmalinas.

En base a las texturas y características de las turmalinitas de ambos litodemas se propone una génesis hidrotermal en dos etapas. La primera etapa de hidrotermalismo sería la responsable de la formación de la mineralización; mientras que la segunda etapa es responsable del retrabajo textural frágil de la mineralización. No obstante esto, se destaca que en base a los tipos de zonación desarrolladas por las turmalinas en

cada uno de los tipos de turmalinita estudiados, se sugiere una evolución diferencial del sistema hidrotermal mineralizador en función del litodema.

Finalmente, se determinó que las fases minerales accesorias predominantes en ambos tipos de turmalinita son circón, monacita, y rutilo, aunque en la Qtz-Tourmalinita ocurren en menor proporción que en la Chl-Tourmalinita. El hecho de compartir las mismas fases minerales accesorias sugiere que ambas mineralizaciones compartieron al menos una etapa genética en su evolución.

Agradecimientos

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación

bajo el código FCE_3_2016_1_126365.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSSI, J., FERRANDO, L., MONTAÑA, J., MORALES, H., CAMPAL, N., GANCIO, F., PIÑEIRO, D., SCHIPILOV, A., SPRECHMANN, P. (1998) **Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000**. Geoeditores. Montevideo.
- BOSSI, J., GAUCHER, C. (2004) The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: An Allochthonous Block Accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. **Gondwana Research**, 7(3): 661-674.
- BOSSI, J., NAVARRO, R. (1988) Serpentinitas cromíferas pre-orogénicas en el Ciclo Orogrénico Moderno de Uruguay. **Actas 6 Panel Geología Litoral—1 Reunión de Geología del Uruguay**, Salto, Uruguay, pp 91–95
- BOSSI, J., SCHIPILOV, A. (2000) **Rocas ígneas básicas del Uruguay**. Volumen II. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay.
- DUTROW, B., HENRY, D.J. (2000) Complexly zoned fibrous tourmaline: A record of evolving magmatic and hydrothermal fluids. **Canadian Mineralogist**, 38, 131-143.
- DUTROW, B.L., FOSTER, C.T., JR., HENRY, D.J. (1999) Tourmaline-rich pseudomorphs in sillimanite zone metapelites: Demarcation of an infiltration front. **American Mineralogist**, 84, 794-805.
- GARDA, G.M., ANDRADE, S., PEEL, E. (2016) SEM/EDS-Assisted LAM-ICPMS Analyses of Tourmaline of Tourmalinites Hosted in Serpentinites of the Paso Del Dragón Complex, Northeastern Uruguay. **Microscopy, Microanalysis Meeting**, Columbus - Ohio, USA.
- GAUCHER, C., BOSSI, J., FREI, R., REMUS, M., PIÑEYRO, D. (2014) Terreno Cuchilla Dionisio: bloque septentrional. In: Bossi, J., Gaucher, C. (Eds.) **Geología del Uruguay. Tomo 1: Predevónico**. Polo, Montevideo, pp. 377-400.
- GAUCHER, C., BOSSI, J., FRIMMEL, H.E. (2010) Arachania, un arco magmático neoproterozoico y sus fragmentos en Sudamérica y África. **VI Congreso Uruguayo de Geología**, Minas (CD-ROM).
- GAUCHER, C., FREI, R., BOSSI, J., SCHMITT, R. (2011) Arachania, a key block in Gondwana amalgamation: new ages support Africa affinity and independent late Neoproterozoic evolution. **Gondwana 14 Abstracts #89**
- HENRY, D.J., DUTROW, B.L. (1996) Metamorphic Tourmaline. In: E.S. Grew and L.M. Anovitz (Editors), **Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry**. Reviews in Mineralogy. 33, 500-555.
- HENRY, D.J., DUTROW, B.L., SELVERSTONE, J. (2002) Compositional asymmetry in replacement tourmaline – An example from the Tauern Window, Eastern Alps. **Geological Materials Research** 4 (2) 1-18.
- HENRY, D.J., KIRKLAND, B.L., KIRKLAND, D.W. (1999) Sector-zoned tourmaline from the cap rock of a salt dome. **European Journal of Mineralogy**, 11, 263-280.
- LONDON, D., MORGAN, G.B., WOLF, M.B. (1996) Boron in granitic rocks and their contact aureoles. In: E.S. Grew and L.M. Anovitz (Editors), **Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry**. Reviews in Mineralogy. 33, 299-330.
- MAROCCHI, M., MARSCHALL, H.R., KONZETT, J., TROPPER, P., LUDWIG, T., MAIR, V., BARGOSSO, G.M. (2011) Metasomatic tourmaline in hybrid contact-bands between gneiss and peridotite in the Ulten Zone of the Eastern Italian Alps: chemistry and boron isotopic composition. **Canadian Mineralogist**, 49, 245-261.
- MARSCHALL, H.R., LUDWIG, T., ALTHERR, R., KALT, A., TONARINI, S. (2006) Syros metasomatic tourmaline: evidence for very high $\delta^{11}\text{B}$ fluids in subduction zones. **Journal of Petrology**, 47, 1915-1942.
- MORGAN, G.B., LONDON, D. (1989) Experimental reactions of amphibolite with boron-bearing aqueous fluids at 200 MPa: implications for tourmaline stability and partial melting in mafic rocks. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, 102, 281-297.
- NAKANO, T., NAKAMURA, E. (2001) Boron isotope geochemistry of metasedimentary rocks and tourmalines in a subduction zone metamorphic suite. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, 127, 233-252.
- NÚÑEZ, P., FARAONE, M., PEEL, E., GALLARDO, P. (2013) Caracterización de turmalina asociada a las serpentinitas del Cerro La Tuna mediante microscopía electrónica de barrido. **VII Congreso Uruguayo de Geología**, Montevideo, Uruguay. Actas en CD-rom.
- PEEL, E. (2012) Petrografía, Geoquímica e Geocronología do Complexo Paso del Dragón, Nordeste do Uruguai. Implicações na evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano. **Tesis de Doctorado** (inédito), USP. 198 p.
- PEEL, E. (2014) Petrografía e química mineral de turmalinito associado aos serpentinitos do Cerro La Tuna, Cinturão Dom Feliciano, NE do Uruguai. **47º Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador de Bahia, Brasil. Actas en CD-rom.
- PEEL, E., BASEI, M.A.S., SÁNCHEZ BETTUCCI, L. (2010) Cerro La Tuna Mafic to Ultramafic Complex. Geosur 2010, **International Geological Congress on the Southern Hemisphere**. Noviembre 2010, Mar del Plata
- PEEL, E.; SÁNCHEZ-BETTUCCI, L.; BASEI, M.A.S. (2018). Geology and Geochronology of Paso del Dragón Complex (Northeastern Uruguay):

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO - TEXTURAL DE LAS TURMALINITAS DEL COMPLEJO PASO DEL DRAGÓN

- Implications on the evolution of the Dom Feliciano Belt (Western Gondwana). **Journal of South American Earth Sciences** 85: 250-262.
- PESQUERA, A., TORRES-RUIZ, J., GIL-CRESPO, P.P., JIANG, S.Y. (2005) Petrographic, Chemical and B-Isotopic Insights into the Origin of Tourmaline-Rich Rocks and Boron Recycling in the Martinamor Antiform (Central Iberian Zone, Salamanca, Spain). **Journal of Petrology**, 46:1013-1044
- PRECIOZZI, F., MASQUELIN, H., BASEI, M.A.S. (1999) The Namaqua/Grenville Terrane of eastern Uruguay. En: **II South American Symposium on Isotope Geology**, pp. 338-340.
- PRECIOZZI, F., SPOTURNO, J., HEINZEN, W. (1979) **Carta geo-estructural del Uruguay, escala 1:1.000.000**. Instituto Geológico Ing. Terra Arocena, 62 pp. Montevideo.
- PRECIOZZI, F., SPOTURNO, J.J., HEINZEN, W., ROSSI, P. (1985) **Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a la escala 1:500.000**. DINAMIGE, Montevideo.
- REED, S.J.B. (2005) **Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology**. Cambridge University Press, pp232.
- RODA-ROBLES, E., PESQUERA, A., GIL-CRESPO, P.P., TORRES-RUIZ, J. (2011) Occurrence, paragenesis and compositional evolution of tourmaline from the Tormes Dome area, Central Iberian Zone, Spain. **Canadian Mineralogist** 49, 207-224.
- SLACK, J.F. (1996) Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: E.S. Grew and L.M. Anovitz (Editors), **Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry**. Reviews in Mineralogy. 33, 559-644.
- SLACK, J.F., TRUMBULL, R.B. (2011) Tourmaline as a recorder of ore-forming processes. **Elements** 7: 321-326.
- TAYLOR, B. E., SLACK, J. F. (1984) Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical, and isotopic relationships. **Economic Geology** 79, 1703-1726
- WILL, T., GAUCHER, C., LING, X.X., LI, X.H., LI, Q.L., FRIMMEL, H.E. (2019) Neoproterozoic magmatic and metamorphic events in the Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay, and possible correlations across the South Atlantic. **Precambrian Research** 320, 303-322.
- WILL, T.M., FRIMMEL, H. E., GAUCHER, C., BOSSI, J. (2014) Geochemical and isotopic composition of Pan-African metabasalts from southwestern Gondwana: Evidence of Cretaceous South Atlantic opening along a Neoproterozoic back-arc. **Lithos** 202-203 (2014) 363-381.