

Estado del arte de la turmalina en el mundo: implicaciones metalogénicas de la turmalina como posible indicador de determinado tipo de depósito mineral



CU-ID: 2144/v14e04

State of art of tourmaline in the world: metallogenic implications of tourmaline as possible indicator of certain types of mineral deposits

René Yasmany Cobas-Torres*, José Antonio Alonso, Xiomara Cazañas-Díaz

RESUMEN: En el presente estudio se presenta una revisión sistemática de los principales trabajos de investigación en el tema de la turmalina a nivel mundial y sus implicaciones metalogénicas como posible indicador de determinados depósitos minerales. Se obtuvieron los siguientes resultados: El conocimiento acerca del Supergrupo de la Turmalina ha evolucionado a lo largo de la historia, observándose un importante avance en el siglo XX, particularmente a partir del año 1997. El surgimiento de novedosas técnicas analíticas en el campo de la mineralogía y la geoquímica ha permitido profundizar en los aspectos cristalquímicos de la turmalina y su relación con la génesis de determinados depósitos minerales. En Cuba los estudios acerca de la turmalina con un enfoque metalogénico son incipientes. Los estudios realizados a turmalinas en diferentes partes del mundo permiten considerarlas como robustos indicadores de depósitos porfíricos de Cu, Au, W-Mo y Sn, VMS y muchos de los sistemas SEDEX.

Palabras clave: Estado del arte, Turmalina, Mineral indicador, Depósito mineral.

ABSTRACT: In the present study shows a systematical review of the main research works on the subject of tourmaline worldwide and its metallogenic implications as possible indicator of certain mineral deposits. The following results were obtained: The knowledge about the Tourmaline Supergroup has envolved throughout history, observing an important advance in the 20th century, particullary after 1997. The emergence of novel analytical techniques in the field of mineralogy and geochemistry has allowed to deepen in the crystallochemical aspects of tourmaline and its relationship with the genesis of certain mineral deposits. In Cuba, studies on tourmaline with a metallogenic approach are incipient. The studies on tourmalines realizated in different parts of the world allow them to be considered as robust indicators of porphyry deposits Cu, Au, W-Mo and Sn, VMS and many of the SEDEX systems.

Keywords: State of art, Tourmaline, Indicator mineral, Mineral deposit.

INTRODUCCIÓN

Los minerales del Supergrupo Turmalina constituyen el más común de los borosilicatos en la corteza terrestre, constituyendo una serie de solución sólida con estructura cristalina trigonal y se compone de un total de 33 especies minerales aprobadas por la (CMNMC - IMA) hasta diciembre de 2017 ([figura 1](#)). Su fórmula este-

quiométrica general es compleja, expresada como: $X Y_3 Z_6 Si_6 (BO_3)_3 O_{18} (V)_3 (W)$ ([figura 2](#)). Desde tiempos antiguos las turmalinas han sido utilizadas con fines gemológicos debido a sus propiedades físicas particulares. Sin embargo, la complejidad química y el amplio rango de estabilidad hacen de este mineral una valiosa herramienta para conocer la evolución de las

Recibido: 05/05/2021

Aprobado en su forma original: 18/08/2022

Instituto de Geología y Paleontología. IGP. Servicio Geológico de Cuba. Ave Vía Blanca No 1002, San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba. E-mail: josea@igp.minem.cu

*Correo Electrónico: rctorres@igp.minem.cu

rocas en que se encuentra, así como los procesos de mineralización originales, aspectos importantes a tener en cuenta en los programas de exploración para la búsqueda de depósitos minerales. El objetivo del presente trabajo consiste en presentar una compilación de los principales estudios acerca de la turmalina llevados a cabo por connotados investigadores a nivel mundial. Así como también se da a conocer cómo se maneja actualmente esta temática en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se realizó una revisión sistemática de los trabajos de investigación relacionados con el uso de la turmalina como indicador de determinados depósitos minerales a nivel mundial y como se ha estado abordando esta temática hasta la actualidad. Para este fin se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de artículos científicos vinculados con el tema,

Formula general	(X)	(Y)	(Z)	T ₂ O ₆	(BO) ₃	(V) ₃	(W)
Grupo de especies alcalinas (23 especies)							
Subgrupo 1	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	**S ⁻	S ⁻
Dravita	Na	Mg	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Fluor-dravita	Na	Mg	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Chorio	Na	Fe ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Fluor-chorio	Na	Fe ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Tsilaisita	Na	Mn ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Fluor-tsilaisita	Na	Mn ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Cromo-dravita	Na	Mg	Cr	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Vanadio-dravita	Na	Mg	V	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Subgrupo 2	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Elbaita	Na	Li, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Fluor-elbaita	Na	Li, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Subgrupo 3 (poron-osoron y-z)	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺² , R ⁿ⁺³	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺² , R ⁿ⁺³	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Oxi-dravita	Na	Al, Mg	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Oxi-Chorio	Na	Fe ²⁺ , Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Povondraita	Na	Fe ²⁺	Fe ²⁺ , Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Bosita	Na	Fe ²⁺	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Cromo-alumino-povondraita	Na	Cr	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Oxi-cromo-dravita	Na	Cr	Cr, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Oxi-vanadio-dravita	Na	V	V, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Vanadio-oxi-cromo-dravita	Na	V	Cr, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Vanadio-oxi-dravita	Na	V	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Maruyamita	K	Mg, Al	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Subgrupo 4	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Cañilhenyita	Na	Li, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Subgrupo 5	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Olenita	Na	Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(O)	(OH)
Fluor-buergerita	Na	Fe ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(O)	(F)
GRUPO DE ESPECIES CALCICAS (6 ESPECIES)							
Subgrupo 1	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Uvita	Ca	Mg	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Fluor-dravita	Ca	Mg	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Feruvita	Ca	Fe ²⁺	Al, Mg	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Subgrupo 2	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Fluor-liddicoatita	Ca	Li, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(F)
Subgrupo 3	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Luchesiita	Ca	Fe ²⁺	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)
Subgrupo 4	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺² O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Adachiita	Ca	Fe ²⁺	Al	Si ₂ AlO ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
GRUPO DE ESPECIES CON VACANCIAS EN EL SITIO-X (4 ESPECIES)							
Subgrupo 1	□ ⁻⁻⁻	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Magnesio-foitita	□	Mg, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Foitita	□	Fe ²⁺ , Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Subgrupo 2	□	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Rossmannita	□	Li, Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(OH)
Subgrupo 3	□	R ⁿ⁺ , R ⁿ⁺²	R ⁿ⁺	R ⁿ⁺ O ₆	(BO) ₃	S ⁻	S ⁻
Oxi-foitita	□	Fe ²⁺ , Al	Al	Si ₂ O ₆	(BO) ₃	(OH)	(O)

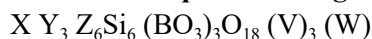
* R es una designación genérica de un catión de una carga indicada
 ** S es una designación genérica de un anión de la carga indicada
 *** Vacancia sitio-X □

Figura 1. Número de especies minerales de turmalinas (total 33) aprobadas por la (CMNMC - IMA) hasta diciembre del 2017. Modificado de [Henry & Dutrow, 2018](#).

considerando fundamentalmente que fueran revisiones sistemáticas y estudios empíricos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fórmula estequiométrica general:



Sistema Cristalino: Trigonal

X = Na, Ca, K o (vacancia);

Y = Al_3^+ , Li^+ , Fe_2^+ , Mg_2^+ , Mn_2^+ , Fe_3^+ , V_3^+ , Cr_3^+ , Ti_4^+

Z = Al, Mg, Cr_3^+ , V_3^+ , Fe_3^+

T = Si, Al; B

V = OH^- , O_2^-

W = F^- , O_2^- , OH^-

La turmalina ha formado parte integral del desarrollo de la ciencia desde varios cientos de años. Dentro de los intereses más primitivos de la turmalina estuvo relacionado con sus propiedades eléctricas (piezoelectricidad, piroelectricidad); en la literatura occidental la referencia más antigua acerca de la turmalina lo constituye el trabajo titulado *De lapidibus* ("On Stones") escrito por el naturalista griego Theophrastus (372-287 A.C.). El término turmalina es considerado que proviene de la palabra cingalés *turmali*, muy usado por los comerciantes de gemas de Ceilán (Sri Lanka) para referirse a determinadas piedras multicolores (Henry & Dutrow 2012b citado en [Henry & Dutrow 2018](#)).

La turmalina se ha utilizado como piedra preciosa desde La Edad Media, y a veces pasó de forma inadvertida. Por ejemplo, la corona checa

del siglo XIV de San Wenceslao, hecha para el santo emperador romano Carlos IV, contó con un gran Rubí rojo", piedra que ahora se conoce como una turmalina roja ([Hyršl & Neumanová 1999](#); [Henry & Dutrow 2012b](#)). El uso de la turmalina como piedra preciosa fue intermitente hasta finales del siglo 19 cuando la emperatriz viuda Ts'u Hsi de China popularizó la turmalina rosada como una gema ([Fisher 2008](#); [Pezzotta & Laurs 2011](#)), sin embargo, los efectos eléctricos que exhibe la turmalina fueron los que llamaron la atención de la comunidad científica.

Con el inicio del siglo XIX comenzó el entendimiento de la compleja composición química de la turmalina. A pesar de que el primer análisis de una especie de turmalina fue el chorlo, en el año 1785 un importante constituyente del mineral porque no fue hasta 1808 que el elemento boro fue descubierto. Algunas de las especies de turmalinas definidas tempranamente como chorlo y dravita fueron químicamente caracterizadas con una variedad de técnicas químicas ([Klaproth, 1810](#) & [Tschermak, 1884](#) citado por [Henry & Dutrow, 2018](#)). Con el progreso del siglo XIX las técnicas analíticas mejoraron y como resultado fue descubierta una amplia gama de elementos químicos que pueden estar presentes en la estructura cristalina de las turmalinas.

A mediados del siglo XX, los estudios geocronológicos utilizando las turmalinas se limitaron a las investigaciones de K-Ar y $40Ar-39Ar$. Inicialmente se consideraron, el

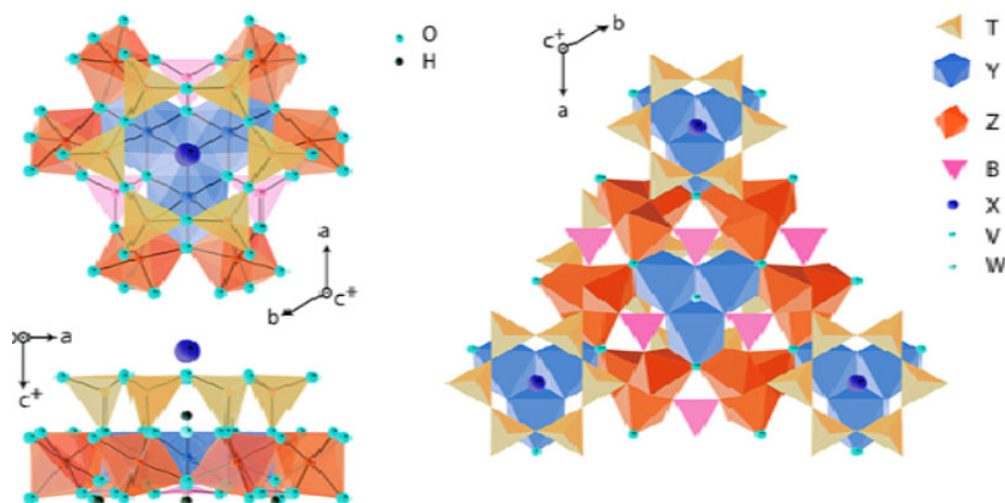


Figura 2. Representación esquemática tridimensional de la estructura cristalocímica del Supergrupo Turmalina.

enfoque del potencial geocronológico de K-Ar utilizando la turmalina, pero hubo preocupación en cuanto a su factibilidad de aplicación debido a los contenidos típicamente bajos de K en el sitio cristalográfico “X” y la sospecha de que había un exceso en cuanto a la retención de Ar en la estructura de la turmalina y como resultado de ello edades aparentemente anormales de K-Ar (Damon & Kulp, 1958; Dalrymple & Lanphere, 1969 citado en Henry & Dutrow, 2018). No obstante, la aplicación temprana del enfoque ^{40}Ar - ^{39}Ar con el empleo de turmalina mejoró y, en algunos casos, proporcionó edades de mayor significación desde el punto de vista geológico (Fitch y Miller, 1972).

Después de la Segunda Guerra Mundial la baja disponibilidad de turmalina para su posterior empleo en dispositivos piezoeléctricos de forma inmediata provocó la inmediata búsqueda de alternativas que se encaminaron hacia la síntesis del mineral (Fron del *et al.*, 1947), con el objetivo de obtener nuevos cristales de calidad superior en un rango específico de composiciones catiónicas (Fron del y Collette 1957; Taylor y Terell 1967; Tomisaka 1968; Ushio y Sumiyoshi 1971). De forma paralela Robbins y Yoder (1962), determinaron en dicho periodo experimentalmente que la turmalina variedad dravita resultaba estable en los diagramas (P-T) en el intervalo de temperatura entre 865°C - 925°C a valores de presión de 200 MPa y 500 MPa respectivamente.

Henry D y Dutrow B., (2018), dos de los más connotados investigadores a nivel mundial sobre investigaciones de turmalinas, señalan que en gran medida el avance de la ciencia desde finales del siglo XVIII hasta nuestros días propició de manera especial los 20 últimos años el interés por la turmalina dado por sus interesantes propiedades y utilidad geológica en diversos campos.

Un dramático tope en la “evolución” de las investigaciones de turmalina coincidió con la celebración del Primer Simposio Internacional que se celebró en Moravia, República Checa en el año 1997, evento que reunió a un grupo importante de investigadores de todo el mundo en el que se cubrieron una amplia gama de temas tales como: *mineralogía, cristalografía, petrología, síntesis experimental, geoquímica y*

geología económica acerca de turmalinas. Como resultado directo del Simposio “Turmalina 1997”, se publicaron 22 artículos en ediciones especiales de la conferencia en la revista indexada; “*European Journal of Mineralogy of the Czech Geological Society*” (Henry D y Dutrow B., 2018).

Tal aceleración de la tasa y diversidad sobre los estudios de turmalina que se realizaron con posterioridad al evento “Tourmaline 1997”, los mencionados investigadores presentaron una extensa revisión y recopilación de la literatura acerca del tema en la que se señala de que a partir del año 1707 hasta 1996 (más de 290 años), y donde se publicaron un total de 1215 artículos sobre turmalina, no obstante, entre 1997- 2017 (20 años) se publicaron un total de 1353 artículos (figura 3). Con posterioridad en el vigésimo aniversario del evento que ya se mencionó, se celebró otro similar en el año 2017 en la propia sede de la República Checa, evento que sirvió para reflexionar y analizar sobre el notable avance de las investigaciones sobre la temática a partir de 1997 y como marco propicio para indicar la dirección de las investigaciones futuras a las nuevas generaciones de geólogos.

Antes de 1997 ya se conocía la frecuente ocurrencia de la turmalina como mineral ganga asociado con menas, así como las características químicas de la turmalina fueron definidas para muchos tipos de depósitos minerales (Slack 1980, 1996 citado en Henry & Dutrow, 2018). Desde ese tiempo, las turmalinas asociadas a depósitos minerales ha sido un tema de sofisticadas investigaciones químicas e isotópicas, con un particular enfoque en la interacción de la turmalina con fluidos y su utilidad para definir la evolución de los fluidos formadores de menas (Slack & Trumbull 2011, Trumbull *et al.* 2011 citado en Henry & Dutrow, 2018). Tales investigaciones han demostrado que la turmalina puede proveer valiosa información acerca de los procesos formadores de menas, así como ser utilizada como mineral índice para la búsqueda de depósitos minerales.

En los últimos 20 años los principales progresos en el uso de la turmalina como índice de búsqueda de depósitos minerales han sido primeramente la creación de una base de datos

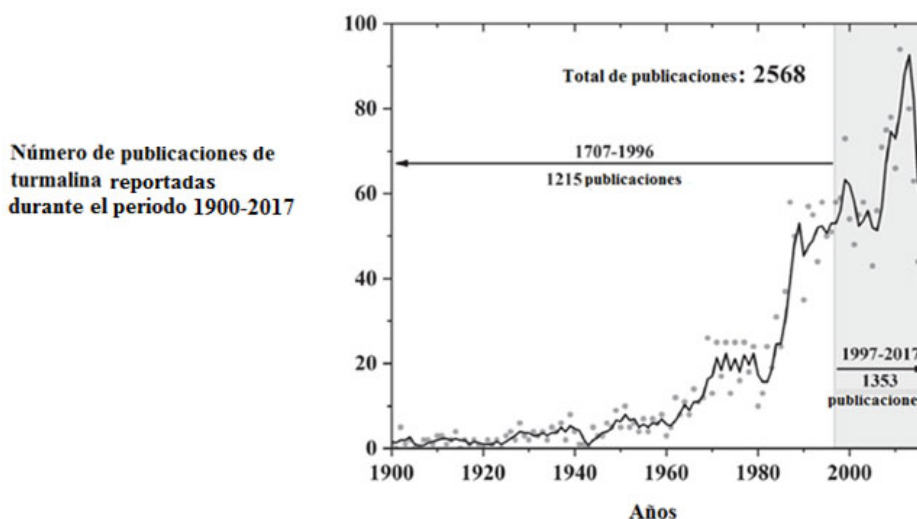


Figura 3. Número de publicaciones de turmalina compiladas por [Henry y Dutrow \(2018\)](#) durante el periodo que abarca desde 1900 al 2017 (incluyen además aquellos trabajos que se realizaron a partir de 1708).

geoquímicos de turmalinas a partir de diversos medios hidrotermales ([Slack, 2002](#)), donde se incluyen los elementos mayores determinados por microscopía electrónica y elementos trazas e isótopos estables determinados en cristales de turmalina separados. En segundo lugar, el incrementado uso de la espectrometría de masa de iones secundarios (SIMS) para el análisis in situ de isótopos de boro de turmalinas hidrotermales ([Smith & Yardley 1996](#), citado por [Slack & Trumbull 2011](#)) y un mejor entendimiento de la sistemática de isótopos de boro en los sistemas geológicos ([Marschall & Jiang 2011](#), citado por [Slack & Trumbull 2011](#)). Estos avances han abierto una nueva ventana acerca del origen y evolución de los fluidos en los depósitos minerales ([Jiang et al. 2008](#); [Trumbull et al. 2011](#)).

Las diversas variedades minerales que forman parte del “Supergrupo Turmalina” se consideran entre los más eficientes indicadores petrológicos durante la ejecución de trabajos geológicos de búsqueda de yacimientos minerales metálicos, entre los se mencionan los porfíricos, mesotermales y aquellos asociados a granitos greisenizados con presencia de Sn, entre otros, por tal motivo constituyen guías útiles para prospección y exploración de estos.

Con relación a lo anterior, [Baksheev et al., \(2012\)](#) caracterizaron turmalinas asociadas a depósitos porfíricos que se localizan en las regiones de Transbaikalia y la península de Chukchi,

Rusia; Armenia; Kazajstán Mongolia, en la que las turmalinas aparecen en vetas o como mineral de alteración de la ganga en los citados depósitos, a fin de establecer correlaciones entre la composición química de elementos mayoritarios y trazas presentes en las turmalinas y sus mineralizaciones metálicas asociadas. Los citados investigadores plantean además que las variedades de turmalinas asociadas a depósitos de Cu (*Mo* (*Au*, (2) *Mo*, (3) *Au* (*Cu*, y (4) *Sn* ya mencionados, presentan regularidades petro-mineralógicas y composición química de relevancia tales como: (1) *sectorización y zonificación química oscilatoria de los cristales*; (2) *presencia de varias generaciones de turmalinas*; (3) *sustitución acoplada Fe (Al)*; (4) *evolución de variedades de Fe a las ricas en Mg*, como resultado de la deposición de sulfuros en etapas tardías, por último el contenido de Li varía en el orden de los 25-30 ppm correspondientemente. Por su parte, las turmalinas de los mencionados depósitos presentan fórmulas estequiométricas que difieren entre sí en lo referente a: (1) *número de átomos por fórmula unitaria (apfu) de Mg, el cual resultó del orden de 2 apfu en turmalinas de depósitos porfíricos de Cu, entre 1-2 apfu en depósitos de Au; en los de Sn (0-1 apfu)*; (2) *Fe (total) ~3 apfu (Cu, Sn) y de 5 apfu (Au)*; (3) *el F alcanza solo 0.1 apfu (Cu, Au) y 0,5 apfu (Sn)*, mientras que la relación entre el $Fe^{3+} / Fe(total) \sim 0.5 - 0.8$ apfu (Cu, Au) y ~ 0.2 apfu (Sn) respectivamente.

[Baksheev et al., \(2012\)](#) realizaron investigaciones en las que relacionaron los tipos mineralógicos de turmalina presentes y la carga metalogénica asociada a depósitos porfíricos de Cu, Au, Pb-Zn, de forma análoga también los porfíricos, mesotermales y tipo greisen con Sn de Rusia y su comparación con otras regiones del mundo a través del uso de la microscopía electrónica de barrido acoplada a microsonda electrónica (MEB-WDS), cuyos resultados se muestran en diagramas de correlación (dos y tres variables) de componentes químicos mayoritarios de las turmalinas.

A partir de la información anterior, dichos autores concluyen que las turmalinas asociadas a depósitos porfíricos de cobre, corresponden a miembros intermedios de la serie “oxi-dravita - povondraitita” ([figura 4](#)). En la mayoría de las muestras evaluadas, el contenido promedio de Mg en las turmalinas es del orden de 2 apfu.

Nota:

$\text{NaMg}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}[\text{BO}_3]_3(\text{OH})_3\text{OH}$ (dravita)

$\text{NaMg}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}[\text{BO}_3]_3(\text{OH})_3\text{O}$ (oxi-dravita)

$\text{Na}(\text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}[\text{BO}_3]_3(\text{OH})_3\text{OH}$ (chorlo);

$\text{NaFe}_9[\text{BO}_3]_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{O}, \text{OH})_4$ (povondraitita)
 $\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Mg})_6[\text{BO}_3]_3(\text{Si})_6\text{O}_{18}(\text{OH}, \text{O})_4$ (uvita)

Por su parte, [Baksheev et al., \(2012\)](#) plantean que las turmalinas asociadas a depósitos porfíricos de estaño ([figura 5](#)), corresponden a miembros intermedios de la serie “flúor-chorlo”- “flúor-dravita-chorlo-dravita-“oxi-chorlo”-“oxi-dravita”, con un número de vacancias significativas en el sitio cristalográfico “X” de la estructura cristalina de las turmalinas. Los mecanismos de intercambio que predominan en estas turmalinas son: FeAl_{-1} y $\text{AlO}(\text{R}(\text{OH}))_{-1}$ principalmente, no obstante, el de $\text{Al}(\text{NaR})_{-}$ también se considera importante.

Nota: $\text{NaFe}^{3+}_3\text{B}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{30}\text{OH}$ (buergerita)

Por su parte, en yacimientos de Sn asociados a los greisen ([figura 6](#)) con presencia de casiterita (SnO_2), la tendencia más probable que se estableció fue la siguiente: “chorlo-flúorchorlo-oxichorlo”; “foitita-oxifoitita”, “magnesio (foitita)-oxidravita”, mientras que en los mesotermales de Sn la tendencia se inclina más a la series composicionales: “chorlo-flúorchorlo”;

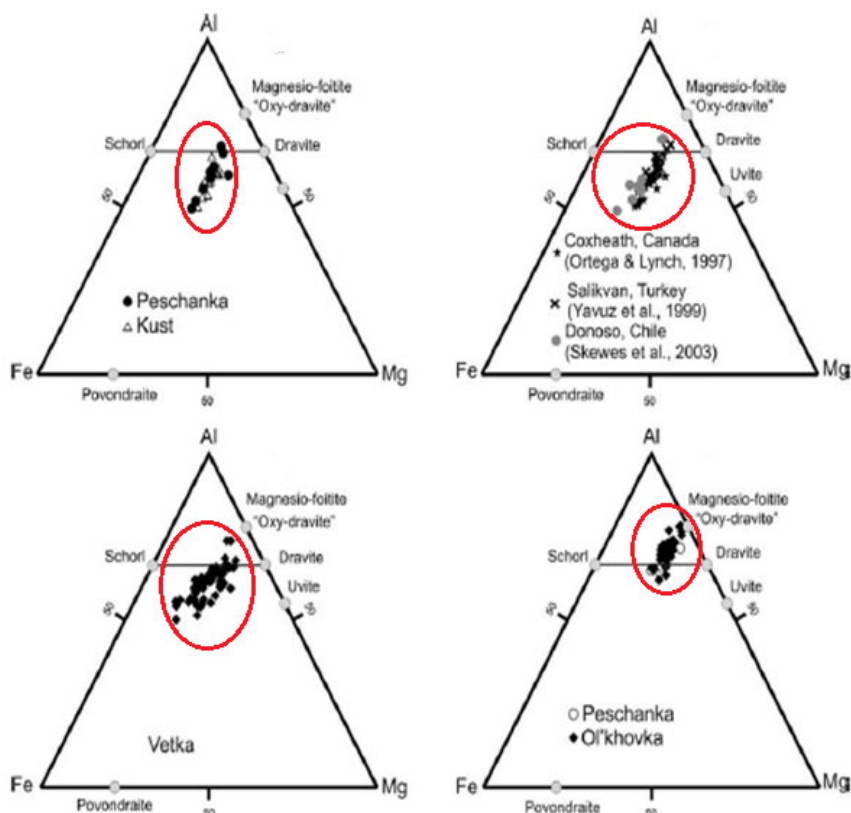


Figura 4. Diagramas ternarios Fe-Al-Mg donde se muestra la tendencia geoquímica de las turmalinas en depósitos de cobre porfírico ([Baksheev et al., 2012](#); [Jiang et al., 1998](#)).

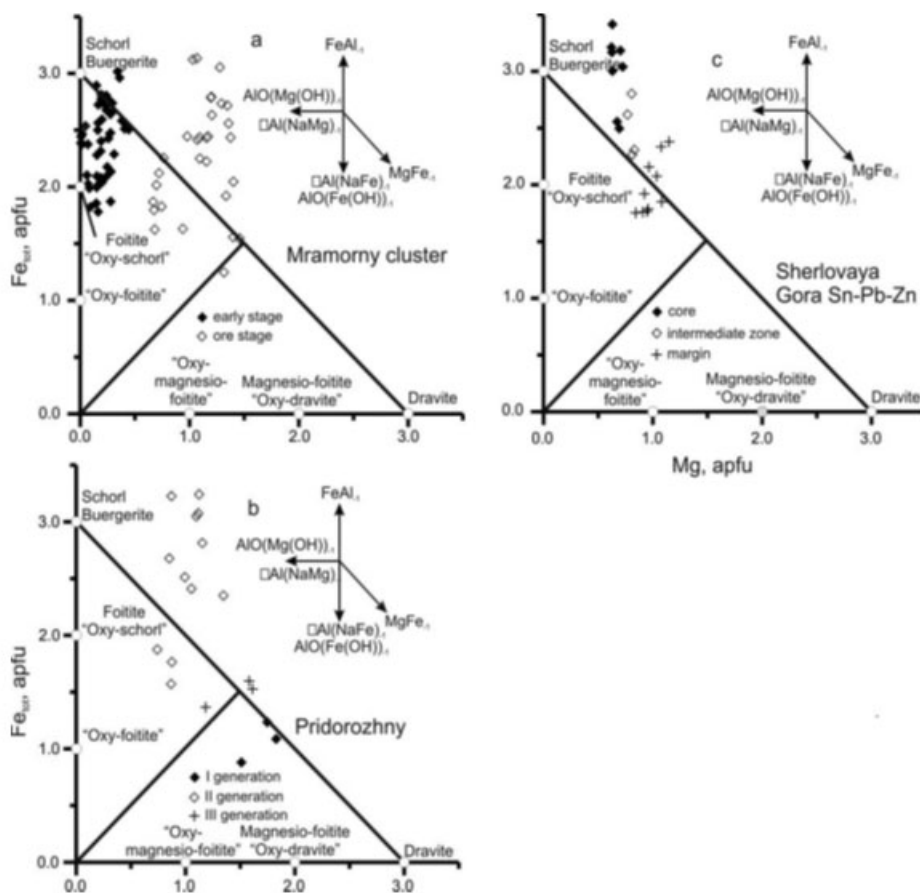


Figura 5. Relación $Fe^{3+} + Mg$ versus $Fe^{2+} + Al$ que caracterizan los yacimientos porfíricos de Sn ([Baksheev et al. \(2012\)](#)).

“*oxichorlo-foitita-oxifoitita*” y “*magnesiofoitita-oxidravita*”, no obstante esta última serie se presenta en menor abundancia que para el resto de los depósitos evaluados por [Baksheev et al. \(2012\)](#).

De acuerdo con ([Jiang et al., 1998](#)) las turmalinas de depósitos porfíricos de metales base Pb y Zn corresponden a miembros de la serie dravita-povondraitita y dravita-uvita respectivamente ([figura 7](#)).

A partir de los estudios realizados por [Baksheev et al., 2012](#) es importante destacar que en general un aspecto común de las turmalinas de todos los depósitos porfíricos es que las turmalinas que cristalizan primero son ricas en Fe con elevados valores de Fe^{3+}/Fe_{Tot} , mientras que las especies que cristalizan posteriormente se encuentran empobrecidas en dicho elemento y con valores menores de Fe^{3+}/Fe_{Tot} debido al incremento del H_2S en los fluidos mineralizantes y la consiguiente precipitación de sulfuros. Otro hecho importante es que el contenido de Mg en

las turmalinas se incrementa desde los depósitos de Sn pasando por los de Cu hasta los depósitos de Au. Los contenidos más elevados de F en depósitos de Sn permiten distinguir las turmalinas a partir de otros depósitos porfíricos.

Según [Slack \(2002\)](#) citado en [Slack & Trumbull \(2011\)](#) en los depósitos minerales relacionados con granitoides las composiciones de las turmalinas típicamente varían desde chorlo en asociaciones magmáticas hacia dravita (con o sin un componente povondraitita [rico en $Na-Fe^{3+}$]) en asociaciones hidrotermales. Mientras que la dravita predomina en VMS y en muchos de los sistemas SEDEX, debido a la influencia que ejerce el agua marina rica en Mg sobre la composición química de la turmalina durante los procesos de mezcla de fluidos y las posteriores reacciones silicato-sulfuro que ocurren entre la turmalina y los sulfuros de Fe (pirita, pirrotina) durante el metamorfismo posterior a la formación de menas.

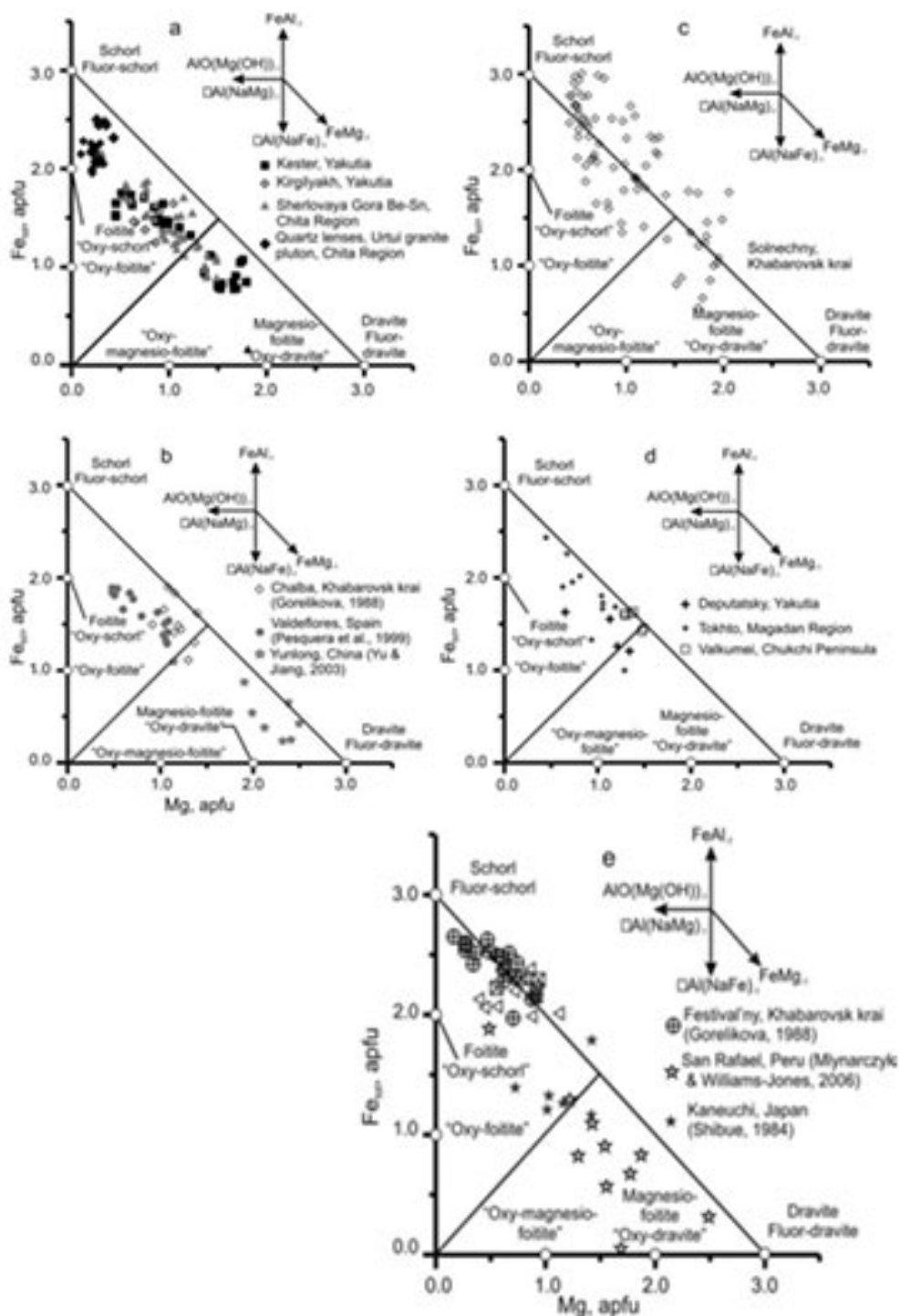


Figura 6. Relación $Fe^{3+} + Mg$ versus $Fe^{2+} + Al$ que caracterizan los yacimientos tipo greisen (a, b) y mesotermiales (c-e) con mineralización de Sn (Baksheev *et al.*, 2012).

La Turmalina en Cuba. Su uso como mineral indicador de depósitos minerales

Hasta el momento, en Cuba los únicos reportes de turmalina son del territorio de Isla de La Juventud, los cuales datan desde la década del 80 con los trabajos de levantamiento geológico-geofísico a escala 1:50 000 y

búsquedas acompañantes en colaboración con la U.R.S.S. (CAME).

Como resultado de la confección del Mapa Metalogénico de Cuba a escala 1:250 000 que se realizó en el IGP-SGC a finales del 2015, se señaló que en el territorio de la Isla de la Juventud existen evidencias geológicas sobre la

probable existencia de depósitos y manifestaciones (tipo skarn) con presencia de elementos metálicos (Sn, W y Mo) presentes en su composición petro-mineralógica y que aún no han sido descubiertos, vinculados a rocas graníticas greisenizadas y pórfidos riódacíticos con presencia adicional de turmalinas en su composición petro-mineralógica (Torres-Zafra y Cazañas-Díaz *et al.*, 2017). Lo cual motivó que en el año 2017 se efectuara el proyecto titulado: “Estudio del magmatismo del Terreno Pinos (Isla de La Juventud): Implicaciones metalogénicas”, durante el cual se documentaron turmalinas asociadas con los procesos de greisenización que afectaron los granitos anatóxicos que afloran en las localidades de “Las Nuevas” (figuras 8A y 8B), “Santa Elena” (figura 8D), “Paquito” y “MacKinley”. Así como a los procesos magmático-hidrotermales asociados con los diques riolíticos, riódacíticos y lamprofidicos en el depósito de W-Mo “Lela” (figura 8C).

Como se explicó más adelante las turmalinas pueden considerarse como excelentes indicadores de mineralización lo cual puede ser extrapolado al territorio de Isla de La Juventud. Razón por la cual, para un estudio más detallado de las turmalinas y su vínculo con la metalogénica de la región, en el periodo

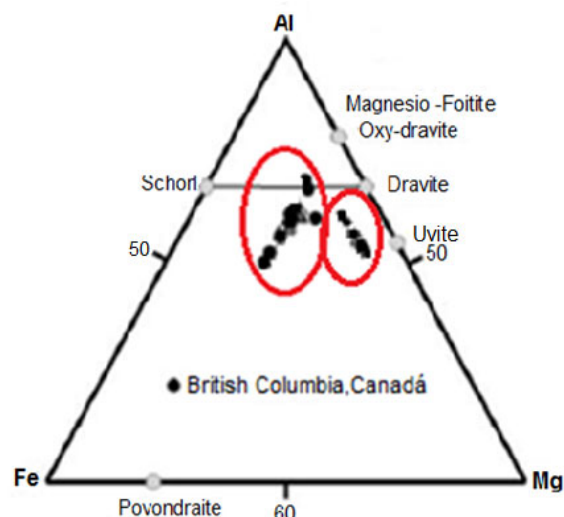


Figura 7. Comportamiento geoquímico de las turmalinas en depósitos porfíricos de metales base Pb-Zn (Baksheev *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 1998).

comprendido entre los años 2019-2020 se llevó a cabo la realización del proyecto (I+D) 613760 titulado: “Caracterización petrológica y mineralógica por DR-X de turmalinas en las áreas mineralizadas de Lela, Las Nuevas y Santa Elena. Municipio Especial Isla de la Juventud”, durante el cual se obtuvieron resultados petro-mineralógicos preliminares de las turmalinas que afloran en las localidades antes citadas, mediante el empleo de la microscopía en luz plano-

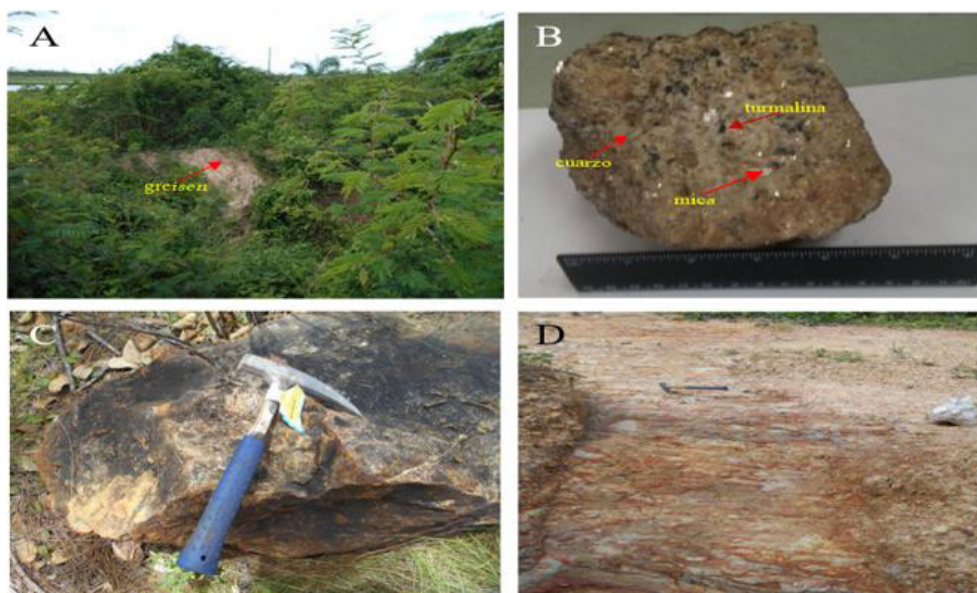


Figura 8. Vista del afloramiento del greisen “Las Nuevas” (A). Fragmento del greisen “Las Nuevas” (B). Fragmento del dique de lamprófido que aflora en “Lela” (C). Cantera “Santa Elena”. Vista de la zona caolinítica limonitizada y hematitizada por partes, de coloración abigarrada, del perfil de meteorización del granito de “Santa Elena” (D).

polarizada, óptica mineral y difracción de Rayos-X. Estos estudios continuarán profundizándose en investigaciones posteriores.

CONCLUSIONES

1. El conocimiento acerca del Supergrupo de la Turmalina ha evolucionado a lo largo de la historia, observándose un importante avance en el siglo XX, particularmente a partir del año 1997 coincidente con la celebración del Simposio Internacional sobre Turmalina desarrollado en *Nove Mesto na Morave*, República Checa.
2. El surgimiento de novedosas técnicas analíticas en el campo de la mineralogía y la geoquímica tales como: microscopía electrónica, análisis isotópico y geocronológico, ha permitido profundizar en los aspectos cristalquímicos de la turmalina y su relación con la génesis de determinados depósitos minerales. Afirmando cada vez más su uso como mineral indicador de mineralización.
3. En Cuba los estudios acerca de la turmalina con un enfoque metalogénico son incipientes. Siendo el proyecto (I+D) 613760 titulado “Caracterización petrológica y mineralógica por DRX de turmalinas en las áreas mineralizadas de Lela, Las Nuevas y Santa Elena. Municipio Especial Isla de la Juventud” el primer trabajo investigativo que aborda esta temática.
4. Los estudios realizados a turmalinas por connotados investigadores en diferentes partes del mundo permiten considerarlas como robustos indicadores de determinados tipos de depósitos minerales tales como: Depósitos porfíricos de Cu, Au, W-Mo y Sn, VMS y muchos de los sistemas SEDEX.

BIBLIOGRAFÍA

- Baksheev, I., Prokofev, V. Y., Chitalin, A.F. & Tikhomirov, P. 2012. Tourmaline as a prospecting guide for the porphyry-style deposits. *Eur. J. Mineral*, 24, 957-979.
- Damon, P.F. & Kulp, J.L. 1958. Excess helium and argon in beryl and other minerals. *Amer Miner* 43: 433-459.
- Dalrymple, G.B. & Lanphere, M.A. 1969. Potassium-Argon Dating. Principles, Techniques and Applications to Geochronology. W. H. Freeman, San Francisco, pp 1-258.
- Fitch, F.J. & Miller, J.A. 1972. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of detrital tourmaline and tourmalinized rocks; schists and micas. *J Geol Soc, London* 128: 291-294.
- Fisher, J. 2008. Gem pegmatites, southern California. In: Staebler G.A., Wilson WW (eds) *American Mineral Treasures*. Lithographic LLC, East Hampton, Connecticut, pp 186-195.
- Frondel, C., Hurlbut, C.S. & Collette, R.C. 1947. Synthesis of tourmaline. *Amer Miner* 32: 680-681.
- Frondel, C. & Collette, R.L. 1957. Synthesis of tourmaline by reaction of mineral grains with $\text{NaCl-H}_3\text{BO}_3$ solution, and its implications in rock metamorphism. *Amer Miner* 42: 754-758.
- Hyršl, J. & Neumanová, P. 1999. Eine neue Gemmologische Untersuchung der Sankt Wenzelskrone in Prag. *Zeit Deutsch Gemmol Gesell* 48: 29-36
- Henry, D.J. & Dutrow, B.L. 2018. Tourmaline studies through time: contributions to scientific advancements. *Journal of Geosciences*, 63, 77-98. DOI: [10.3190/jgeosci.255](https://doi.org/10.3190/jgeosci.255)
- Henry, D.J. & Dutrow, B.L. 2012. The tourmaline diaries: an eye-catching mineral and its many facets. *Natur Hist* 120: 16-27.
- Jiang, S.Y., Palmer, M., Slack, J. & Shaw, D. 1998. Chemical composition of tourmaline in the Yindongzi-Tongmogou Pb-Zn deposits Quinling, China. Implications for hydrothermal ore-forming processes. *Mineral. Deposita*, 30, 225-234.
- Jiang, S.Y., Radvanec, M., Nakamura, E., Palmer, M., Kobayaski, K., Zhao, H.X., Zhao, K.D. 2008. Chemical and boron isotopic variations of tourmaline in the Hnilec granite-related hydrothermal system, Slovakia: Constraints on magmatic and metamorphic fluid evolution. *Lithos* 106: 1-11.
- Klaproth, M.H. 1810. Chemische Untersuchung des gemeinen Schörls. *Beit Chem Kennt Mineralkörp* 5: 144-149.
- Marschall, H.R. & Jiang, S.Y. 2011. Isotopes of tourmaline: No element left behind. *Elements* 7: 313-319.
- Pezzotta, F. & Laurs, B.M. 2011. Tourmaline: the kaleidoscopic gemstone. *Elements* 7: 333-338.
- Robbins, C.R. & Yoder, H.S. 1962. Stability relations of dravite, a tourmaline. *Carnegie Inst Wash Yearb* 61: 106-108.

- Slack, J.F. 2002. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: Grew ES, Anovitz LM (eds) Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry (second printing with corrections and additions). Reviews in Mineralogy 33: 559-644.
- Smith, M.P., & Yardley, B.W.D. 1996. The boron isotopic composition of tourmaline as a guide to fluid processes in the southwestern England ore field: An ion microprobe study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60: 1415-1427.
- Slack, J.F. 1980. Tourmaline - A Prospecting Guide for Massive Base Metal Sulfide Deposits in the Penobscot Bay Area, Maine. Special Economic Studies Series 8, Maine Geological Survey, Augusta, Maine, pp 1-25.
- Slack, J.F. 1996. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: Grew ES, Anovitz LM (eds) Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy 33: 559-664.
- Slack, J.F. & Trumbull, R.B. 2011. Tourmaline as a recorder of ore-forming processes. *Elements*, Vol. 7, PP. 321-326. DOI: [10.2113/gselements.7.5.321](https://doi.org/10.2113/gselements.7.5.321).
- Torres-Zafra, J., Lavaut-Copa, W. & Cazañas-Díaz, X., (2017). Memoria explicativa del Mapa Metalogénico de Cuba a escala 1:250 000, IGP-SGC.
- Taylor, A.M. & Terell, B.C. 1967. Synthetic tourmalines containing elements of the first transition series. *J Cryst Growth* 1: 238-244.
- Tomisaka, T. 1968. Synthesis of some end-members of the tourmaline group. *Mineral J* 5: 355-364.
- Tschermak, G. 1884. *Lehrbuch der Mineralogie*, IX. Hölder, Vienna, pp 1-589.
- Trumbull, R.B., Slack, J.F., Krienitz, M.S., Belkin, H.E. & Wiedenbeck, M. 2011. Fluid sources and metallogenesis in the Blackbird Co-Cu-Au-Bi-Y-REE district, Idaho, U.S.A.: Insights from major element and boron isotopic compositions of tourmaline. *Canadian Mineralogist* 49: 225-244.
- Ushio, M. & Sumiyoshi Y. 1971. Synthesis of large industrial single crystals: 1. Hydrothermal synthesis of dravite tourmaline. *Kogyo Kagaku Zasshi* 74: 2252-2259.

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores: **Redacción - primera redacción:** René Yasmany Cobas-Torres. **Investigación:** René Yasmany Cobas-Torres, José Antonio Alonso Pérez, Xiomara Cazañas Díaz. **Análisis formal:** René Yasmany Cobas-Torres, José Antonio Alonso Pérez, Xiomara Cazañas Díaz. **Redacción - revisión y edición:** René Yasmany Cobas-Torres

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)