

## AUTORES

José Antonio Alonso Pérez

Xiomara Cazañas Díaz

René Yasmany Cobas Torres

Angélica Isabel Llanes Castro

Mercedes Torres La Rosa

Instituto de Geología y Paleontología,  
Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC).  
Ave. Vía Blanca No. 1002 e/ Río Luyanó  
y Prolongación de Calzada de Güines,  
Rpto. Los Ángeles, Municipio San  
Miguel del Padrón. La Habana. E-mail:  
[josea@igp.minem.cu](mailto:josea@igp.minem.cu)

RECIBIDO: DICIEMBRE, 2020

ACEPTADO: DICIEMBRE, 2020

## CARACTERIZACIÓN POR DIFRACTOMETRÍA DE POLVOS DE TURMALINAS EN GRANITOS GREISENIZADOS DEL TERRENO PINOS Y SU RELACIÓN CON LA METALOGENIA

CHARACTERIZATION BY DIFRACTOMETRY OF TOURMALINE POWDERS IN GREISENIZED GRANITES FROM THE PINOS EARTH AND ITS WITH METALOGENY RELATIONSHIP

## RESUMEN

Los resultados del proyecto del IGP-SGC: Caracterización de turmalinas en granitos greisenizados del terreno pinos y metalogenia asociada, mediante empleo de la difracción de polvos (DRX), así como del análisis mineralógico y petrográfico, demostraron que en el granito greisenizado del sector Las Nuevas, las turmalinas presentan composición cercana a la del "oxichorlo"-oxifoitita, asociadas a su vez a posible mineralización de Sn y otros elementos raros y dispersos acompañantes tales como el Nb, Ta, W, Mo y Li. En la regolita de granito greisenizado del sector "Santa Elena", se obtuvo que las turmalinas presentan patrones de difracción muy similares en posición angular y distancia interplanar a soluciones sólidas intermedias de la serie "dravita - magnesiofoitita" y, al igual que en el greisen de "Las Nuevas", las mismas guardan relación con depósitos tipo greisen de Sn, con W, Mo, Nb y Ta acompañantes, aunque no se descarta también la probable asociación de dichas especies con depósitos tipo Cu porfídico. Esto apoya la hipótesis formulada en el texto de la memoria explicativa del Mapa Metalogénico de Cuba a escala 1: 250 000, relacionada con la favorabilidad geológica de dicho territorio para el descubrimiento de nuevas ocurrencias de Sn, W, Mo, Li y otros elementos acompañantes en estos tipos de rocas, dentro de las cuales se incluyen también los pórfidos en el ejemplo del yacimiento zonado complejo de W-Mo-Cu "Lela", en los cuales se detectaron, además, fases portadoras en menor cuantía por MEB-EDS de elementos raros y dispersos tales como el Bi, ETR, U y Th, respectivamente.

*Palabras clave:* turmalina, greisen, Mineralogía, meteorización, regolita, Isla de la Juventud

The results obtained from the recently concluded IGP-SGC project: "Characterization of tourmaline in greisenized granites of the pine land and associated metallogenesis", through the use of powder diffractometry (XRD) as well as mineralogical and petrographic analysis, showed that in granite greisenized from the "Las Nuevas" sector, the tourmalines present a composition close to that of "oxychorlo" -oxyfoitite, associated in turn with possible mineralization of Sn and other rare and dispersed accompanying elements such as Nb, Ta, W, Mo and Li. On the other hand, in the greisenized granite regoliths of the "Santa Elena" sector, it was obtained that the tourmalines present very similar diffraction patterns so in angular position and interplanar distance to intermediate solid solutions of the "dravite - magnesiofoitite" series and, likewise that in the "Las Nuevas" greisen, they are related to greisen-type deposits of Sn, with accompanying W, Mo, Nb and Ta, although it should be noted that the probable association of these species with porphyry Cu-type deposits is also not ruled out. The above supports the hypothesis formulated in the text of the explanatory memory of the Metallogenic Map of Cuba at a scale of 1: 250,000, related to the geological favorability of said territory for the discovery of new occurrences of Sn, W, Mo, Li and other elements. companions in these types of rocks, within which the porphyries are also included in the example of the complex zoned deposit of W-Mo-Cu "Lela", in which carrier phases were also detected to a lesser extent by SEM-EDS of rare elements and dispersed such as Bi, ETR, U and Th respectively.

*Keywords:* tourmaline, greisen, Mineralogy, weathering, regolith, Isla de la Juventud

## ABSTRACT

RESULTADOS

Las rocas metamórficas del “Terreno Pinos” (Isla de la Juventud), presentan un magmatismo y metalogena característico, no apreciado en sus equivalentes afines correspondientes a las secuencias sedimentarias jurásicas de margen continental de Pinar del Río y Guamuhaya. En el territorio, se distinguen los únicos granitos greisenizados que existen en el país, los que afloran en los sectores “Las Nuevas”, “Paquito”, “Santa Elena” entre otros, con presencia adicional de turmalinas en su composición petro-mineralógica (Cazañas - Díaz et al. 2017 a, b).

La constitución geológica del territorio de la Isla de la Juventud resulta en extremo compleja. El mismo está ocupado en más del 70% por rocas de edad jurásica, sílicoclásticas en la base y carbonatas en la parte superior, correspondientes a los depósitos de la cuenca distensiva desarrollada en la porción sur del paleo-margen de América del Norte, en la parte occidental del rift que separó los continentes de América del Norte y Sur y en menor proporción por depósitos volcánicos y volcano-sedimentarios con

magmatismo asociado originados en el arco de islas del cretácico. Además incluye los depósitos sedimentarios, generalmente muy meteorizados, relacionados con la cubierta Neógeno-Cuaternaria (Adeev, S. et al.1986; Babushkin, V., et al. 1990; Millán 1998, Somín y Millán, 1981) citados en Cazañas - Díaz et al. (2017 a, b).

**Rol de la turmalina en la metalogena de granitos greisenizados y pórfidos riódacíticos en yacimientos de otras regiones del mundo**

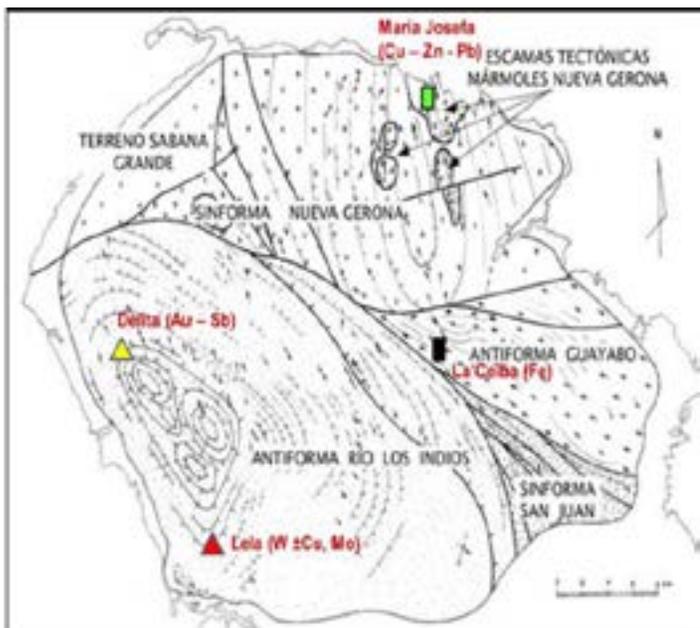
Dutrow y Henry (2018), plantean que las diferentes variedades minerales que hoy se reconocen dentro del supergrupo turmalina (33 especies hasta el año 2017) según el reporte anual de la IMA (International and Mineralogical Association), se consideran eficientes indicadores petrológicos para la búsqueda de yacimientos de minerales metálicos, entre ellos se mencionan los porfíricos, mesotermales y aquellos que se asocian a granitos greisenizados con presencia de Sn, entre otros; por tal motivo, constituyen guías útiles para la prospección y exploración de estos.

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 y Mongolia, mientras 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, Mo, Au ? Cu, y 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

RESULTADOS

FIGURA 1.

Mapa estructural del Terreno Pinos, de acuerdo con Millán (1998), modificado por Torres-Zafra y Cazañas-Díaz (2019)



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<sup>3+</sup> / Fe(total) ~ 0.5 - 0.8 apfu (Cu, Au) y ~0.2 apfu (Sn) respectivamente.

Los citados autores realizaron además, investigaciones en las que relacionaron los tipos mineralógicos de turmalina presentes, con la carga metalogénica asociada a depósitos porfíricos de Cu, Au, Pb-Zn, así como los porfíricos, mesotermales y tipo greisen con Sn de Rusia y su comparación con yacimientos similares en 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.

### Selección de muestras

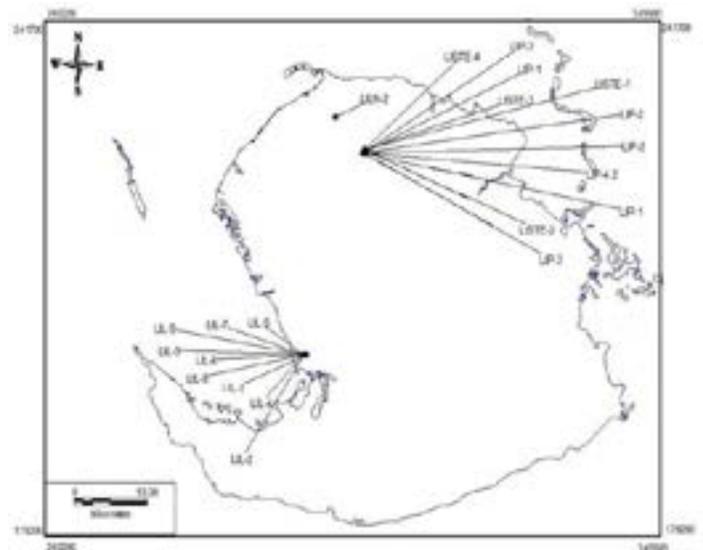
Para las valoraciones que se realizaron por difracción de polvos, se seleccionaron muestras de granitos greisenizados de los sectores “Santa Elena” y “Las Nuevas”, procedentes de un proyecto anterior que ejecutaron Cazañas-Díaz et al., (2017 b). En la figura 2 se muestra el mapa de la Isla de la Juventud y puntos de muestreo (en coordenadas Lambert) donde se tomaron ambas muestras.

Por su parte, el greisen “Las Nuevas” se localiza en la cercanía a las piscinas de alevinaje de la presa Río “Las Nuevas - Revolución” donde se pudo disponer de muestras bastante bien conservadas gracias a que las obras de apertura de los canales las sacaron a la superficie (Figura 3 A y B).

Por último, en el greisen de “Santa Elena” (figura 4) como en todos los granitos de este tipo, el perfil de meteorización que yace sobre estos está muy bien desarrollado y el caolín es uno de los productos de este proceso, muy bien expuestos en superficie en todos ellos, inclusive se les explota por la calidad y cantidad de caolín que tienen, lo que los convierte en un objetivo de interés económico quedando relegado a un segundo plano la investigación de las potencialidades para metales que podrían tener y que le incrementarían su valor económico así como también el establecimiento de la zonalidad vertical y lateral en la distribución de los mismos. A simple vista, estos granitos están constituidos por abundante mica, cuarzo y turmalina (Cazañas-Díaz et al., 2017 b).

## FIGURA 2.

Selección y ubicación de los puntos de muestreo (en coordenadas Lambert)



Nombre	X	Y
Santa Elena	304650	225950
Las Nuevas	300600	230010

FIGURA 03. A

Vista del afloramiento del greisen Las Nuevas



FIGURA 03. B

Fragmento del greisen (muestra LILN-1)



FIGURA 04

Vista de la regolita caolinítica de granito greisenizado, limonitizada y hematitizada por partes, de coloración abigarrada, del sector “Santa Elena”.



**Equipos utilizados y selección de parámetros**

Los difractogramas de polvos se obtuvieron en el equipo del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ) de Moa de la firma PANalytical, modelo X’Pert Pro (figura 5), para ello se seleccionaron los siguientes parámetros de operación (tabla I).

TABLA 01

Parámetros de operación del difractómetro del CEDINIQ (Moa)

Goniómetro	Vertical
Sistema de focalización	<u>Bragg-Brentano</u>
Radlación $K\alpha$	Cu
Filtros	Ni
Diferencia de potencial aplicada	<u>40 kV</u>
Corriente anódica	<u>30 mA</u>
Calibración del equipo	Silicio (pastilla)
Registro angular	4.00-80.00° (2 $\theta$ )
Paso angular	0.008° (2 $\theta$ )
Constante de tiempo	5 segundos

MATERIALES Y MÉTODOS



FIGURA 05

Difractómetro de Rayos-X, modelo X'Pert Pro de la firma PANalytical (CEDINIQ-MOA)

El análisis mineralógico cualitativo se realizó mediante el empleo del programa "X'Pert High Score" de la propia firma PANalytical, el cual incluye la Base de Datos PCPDFWIN versión 1.30, JCPDS-ICDD / 2003, compatible con Windows para Office. Por su parte el análisis semicuantitativo de fases se realizó a través de la variante RIR (siglas en inglés, Reference Intensity Ratio) que proponen Chung et al. (1974), para ello se establecen las correspondientes relaciones de intensidad entre los máximos de difracción más intensos de las fases que se registran en el difractograma y se comparan con las del patrón externo corindón ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), cuyos valores aparecen reportados en la mencionada base de datos.

### 1. Turmalinas asociadas al greisen del sector "Las Nuevas" (LILN)

En la figura 6 se presenta el difractograma de polvos que se obtuvo para la muestra del greisen de "Las Nuevas", cuya composición mineralógica responde sin dudas a la de un granito greisenizado, dada la presencia de: cuarzo, moscovita y turmalinas, estas como principales especies minerales subordinadas.

Con la finalidad de determinar la composición químico-mineralógica de las turmalinas presentes en el greisen del citado sector, se evaluaron (al unísono) las formas del perfil y distancias interplanares de todos los máximos de difracción que aparecen en el intervalo angular ( $2\theta$ ) del registro de la muestra analizada, con los respectivos máximos de aquellos patrones que mejor bondad de ajuste (score) mostraron en la Base de Datos del programa de la firma PANalytical "X' PERT- High Score".

Los resultados obtenidos mostraron mejor bondad de ajuste (score) correspondientes al subgrupo-I de turmalinas con presencia de metales alcalinos (sodio) en la posición cristalográfica "X" de la estructura cristalina; en este caso chorlo; fórmula global: NaFe<sub>32</sub>+Al<sub>6</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>4</sub>, al unísono corresponden al subgrupo-I de turmalinas que presentan vacancias (huecos) en la posición estructural "X" donde se ubican los cationes, la que en nuestro caso particular se ajusta mejor al patrón de foitita; □ Fe<sub>2+2</sub> (Al, Fe+3) Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub> (BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (OH)<sub>4</sub>. A continuación en los difractogramas de polvos de las figuras 7 y 8 se muestran con mayor amplitud ("zoom") la zona angular de interés ( $2\theta$ ) del registro difractométrico de interés que se logró (10.000 - 46.000).

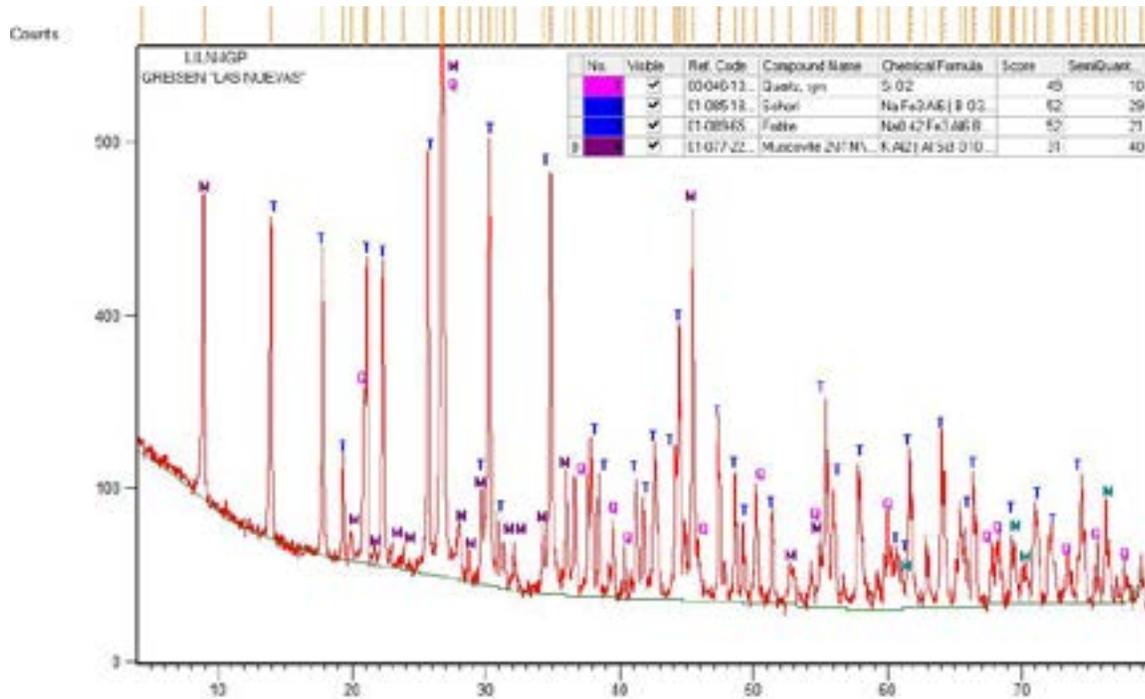


FIGURA 06 Difractograma de polvos de la muestra del greisen de “Las Nuevas” (LILN) cuya composición mineralógica presentó mejor bondad de ajuste (score) con soluciones sólidas de turmalinas de la serie “chorlo-foitita”

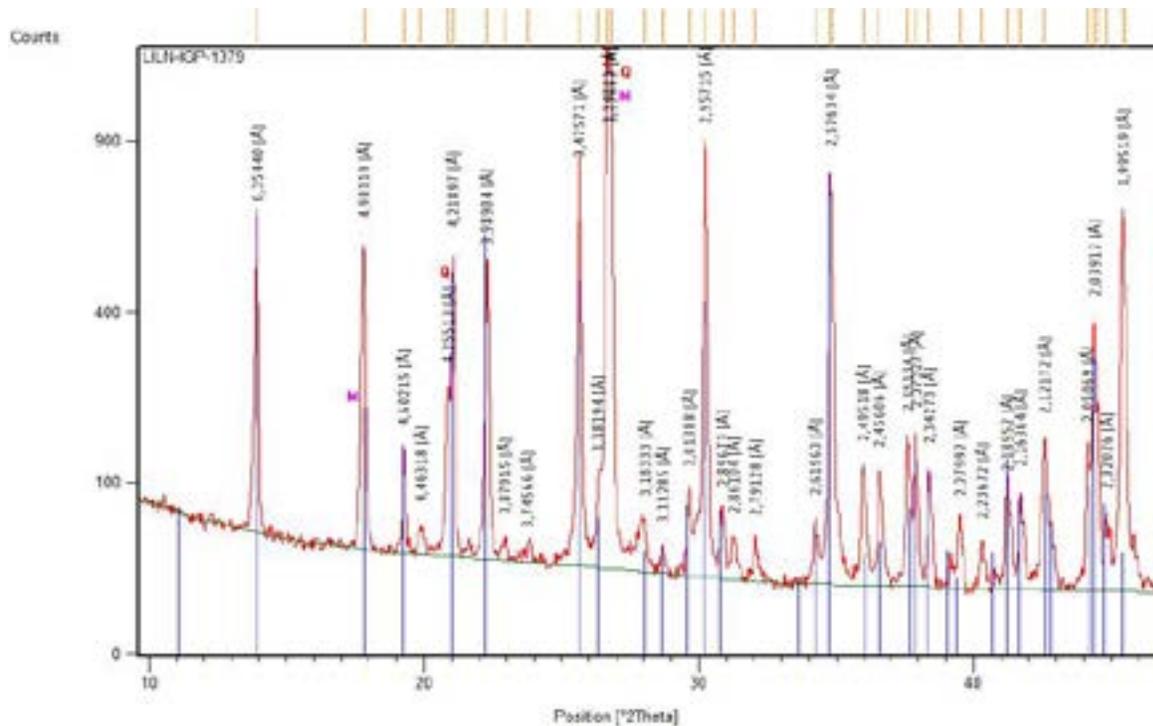


FIGURA 07 Difractograma de polvos de la muestra del greisen con turmalina del sector “Las Nuevas” (LILN) comparado con el patrón del chorlo (en color azul oscuro); PDF: 85-1811



El resultado del análisis de ambos patrones de oxi-chorlo, indicó mejor bondad de ajuste con el de la muestra del sector “Las Nuevas” y su similar de la localidad eslovaca “Přibyslavice” (tabla II), dado por la intensidad del principal máximo;  $d$  (Å)= 3.4664, sin embargo no se aprecia aún total coincidencia con la del máximo;  $d$  (Å) = 2.9557.

El resultado del análisis realizado confirmó además, que en el greisen de “Las Nuevas” coexiste entonces la especie de turmalina oxi-foitita, fórmula general;  $\square$  Fe<sup>2+2</sup> (Al, Fe<sup>+3</sup>) Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub> (BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (OH)<sub>3</sub> O, dada la coincidencia en posición e intensidades de los principales máximos de difracción de la muestra;  $d$  (Å)= 6.354; 4.218; 3.989; 3.475; 2.957 y 2.576 respectivamente, pero en particular el reflejo  $d$  (Å)= 2.957 (tabla III).

TABLA 02

Patrón de difracción de polvos del oxi-chorlo de la localidad eslovaca Přibyslavice reportada por Bačík et al., (2013)

<i>h k l</i>	<i>d<sub>oxi</sub></i> (Å)	<i>I</i> (%)	<i>d<sub>oxi</sub></i> (Å)	<i>h k l</i>	<i>d<sub>oxi</sub></i> (Å)	<i>I</i> (%)	<i>d<sub>oxi</sub></i> (Å)
1 0 1	6.364(4)	75	6.3604	0 2 4	1.7333(2)	2	1.7332
0 2 1	4.9775(7)	28	4.977	5 3 2	1.7312(1)	1.5	1.7312
3 0 0	4.616(1)	12	4.6149	2 6 2	1.6920(1)	1.9	1.692
2 1 1	4.2254(6)	48	4.225	6 0 3	1.6589(2)	14.1	1.659
2 2 0	3.9969(5)	52	3.9966	2 7 1	1.6461(1)	6.7	1.6461
0 1 2	3.4664(1)	100	3.4664	1 3 4	1.6227(3)	0.6	1.6225
1 3 1	3.3839(3)	6	3.384	5 5 0	1.5986(2)	7.3	1.5987
2 0 2	3.1803(2)	1	3.1802	4 0 4	1.5896(6)	2.4	1.5901
4 0 1	3.1164(3)	2	3.1163	8 1 1	1.5804(1)	0.7	1.5804
4 1 0	3.0211(3)	8	3.0212	3 2 4	1.5591(5)	1	1.5595
1 2 2	2.9549(1)	79	2.9549	4 6 1	1.5504(1)	1.9	1.5504
3 2 1	2.9035(2)	5	2.9034	9 0 0	1.5383(1)	1.8	1.5383
3 1 2	2.6188(3)	3	2.6186	7 2 2	1.5293(1)	1.6	1.5293
0 5 1	2.5826(1)	65	2.5826	7 3 1	1.5221(1)	0.8	1.5221
0 4 2	2.4883(3)	3	2.4885	8 2 0	1.5105(2)	2.6	1.5106
2 4 1	2.4576(2)	3	2.4575	0 5 4	1.5033(2)	9.3	1.5034
0 0 3	2.3868(2)	12	2.3869	2 4 4	1.4772(4)	2.3	1.4775
2 3 2	2.3761(2)	16	2.376	5 1 4	1.4528(2)	10.2	1.4529
5 1 1	2.3490(1)	9	2.349	7 4 0	1.4355(2)	1.6	1.4356
6 0 0	2.3072(4)	1	2.3075	0 1 5	1.4247(2)	3.1	1.4246
1 1 3	2.2869(3)	1	2.2871	6 5 1	1.4224(1)	3.5	1.4224
5 2 0	2.2171(3)	1	2.2169	4 3 4	1.4072(2)	6.6	1.4071
5 0 2	2.1903(2)	9	2.1904	3 8 1	1.3793(2)	0.6	1.3794
4 3 1	2.1692(2)	7	2.1691	10 0 1	1.3593(1)	3.8	1.3593
3 0 3	2.1200(2)	11	2.1201	9 1 2	1.3450(1)	2	1.345
4 2 2	2.1125(1)	4	2.1125	6 6 0	1.3321(2)	1.2	1.3322
2 2 3	2.0494(2)	12	2.0493	7 0 4	1.3277(5)	2.8	1.3273
1 5 2	2.0423(2)	31	2.0424	0 4 5	1.3234(0)	1.7	1.3234
1 6 1	2.0252(2)	5	2.0251	10 1 0	1.3140(2)	3.5	1.3141
4 4 0	1.9983(1)	2	1.9983	8 3 2	1.3087(2)	1	1.3085
3 4 2	1.9207(2)	17	1.9208	2 3 5	1.3055(2)	1.2	1.3056
7 0 1	1.9065(2)	2	1.9064	9 0 3	1.2931(2)	0.5	1.293
4 1 3	1.8729(1)	8	1.8729	0 10 2	1.2913(1)	0.7	1.2913
6 2 1	1.8545(2)	4	1.8544	8 4 1	1.2869(1)	0.8	1.2869
7 1 0	1.8340(3)	1	1.8338	9 3 0	1.2799(1)	1.3	1.2799
6 1 2	1.8186(2)	2	1.8187	8 2 3	1.2765(2)	1	1.2764
3 3 3	1.7779(1)	3	1.7779	5 0 5	1.2720(2)	4.1	1.2721
1 0 4	1.7754(1)	3	1.7754				

TABLA 03

Patrón de difracción de polvos de oxi-foitita, nueva especie reportada en Nueva Gales del Sur (Australia) por Bosi et al. (2017).

<i>l</i>	<i>d<sub>nuevas</sub></i> (Å)	<i>d<sub>oxi</sub></i> (Å)	<i>h k l</i>
51	6.357	6.358	1 0 1
18	4.973	4.973	0 2 1
8	4.608	4.608	3 0 0
47	4.220	4.221	2 1 1
49	3.990	3.991	2 2 0
100	3.466	3.466	0 1 2
6	3.380	3.380	1 3 1
6	3.017	3.017	1 4 0
87	2.953	2.953	1 2 2
6	2.900	2.900	3 2 1
98	2.579	2.579	0 5 1
17	2.387	2.387	0 0 3
18	2.374	2.374	2 3 2
13	2.346	2.346	5 1 1
15	2.188	2.188	5 0 2
11	2.166	2.166	4 3 1
17	2.119	2.119	3 0 3
30	2.048	2.048	2 2 3
50	2.041	2.040	1 5 2
8	2.023	2.042	1 6 1
12	1.872	1.872	1 4 3
9	1.852	1.852	6 2 1
7	1.776	1.777	3 3 3
25	1.658	1.658	0 6 3
12	1.644	1.644	2 7 1
14	1.596	1.596	5 5 0
7	1.590	1.589	4 0 4
22	1.503	1.503	0 5 4
23	1.452	1.452	5 1 4

Se concluye finalmente que en la composición químico-mineralógica de las turmalinas del greisen “Las Nuevas”, coexisten dos soluciones sólidas intermedias de la serie “oxi-chorlo – oxifoitita”, e indican en opinión de Vasallo (2008) y Baksheev et al. (2012) entre otros, posibles indicadores metalogénicos de depósitos tipo greisen de Sn, con W, Mo, Nb y Ta acompañantes (figura 10), confirmándose de esta forma la hipótesis planteada por Torres-Zafra y Cazañas-Díaz (2017) en la memoria explicativa del Mapa Metalogénico de Cuba, relacionada con la posible existencia de manifestaciones y/o depósitos de Sn, W y Mo en el Terreno Pinos (Isla de la Juventud). No obstante y en ese sentido se deben considerar como señalan los citados investigadores, los criterios geológicos que tipifican cada modelo descriptivo-genético de depósito mineral metálico en particular,

incluyendo sus firmas geoquímicas y geofísicas correspondientemente, de conjunto como lo demuestra la presente investigación con los resultados de la caracterización de las turmalinas vinculadas a las citadas rocas metamórficas.

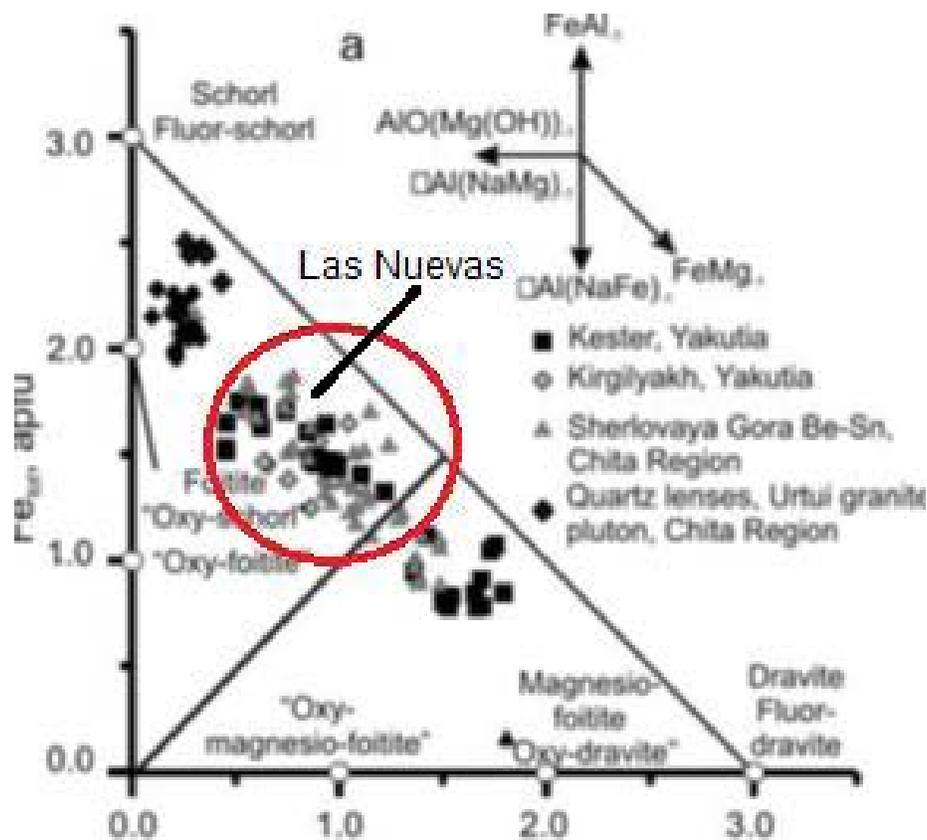
## 2. Turmalinas asociadas a la regolita de granito greisenizado del sector “Santa Elena” (LISTE)

En las figuras 11 y 12 se presenta el registro de polvos que se logró para la regolita de granito greisenizado del sector “Santa Elena”, con sus respectivas ampliaciones de la zona angular (2?) de interés (10.00 – 52.000) para las turmalinas. De igual forma que en el greisen “Las Nuevas”, la mejor bondad de ajuste entre los máximos de la muestra con los patrones disponibles que aparecen en la Base de Datos del programa X-Pert High Score, se obtuvieron para especies de turmalinas de la serie dravita (rica en magnesio) y foitita respectivamente.

FIGURA

08

Relación  $Fe^{3+} + Mg$  versus  $Fe^{2+} + Al$  en el que se enmarca las soluciones sólidas de turmalinas en el greisen de “Las Nuevas” con otros yacimientos de Sn tipo greisen y teniendo en cuenta los resultados obtenidos y compilados por Baksheev et al., (2012)



**Simbología:**

Q-cuarzo; T (soluciones sólidas de turmalinas de la serie dravita-foitita); K-caolinita; R-rutilo; G-goethita

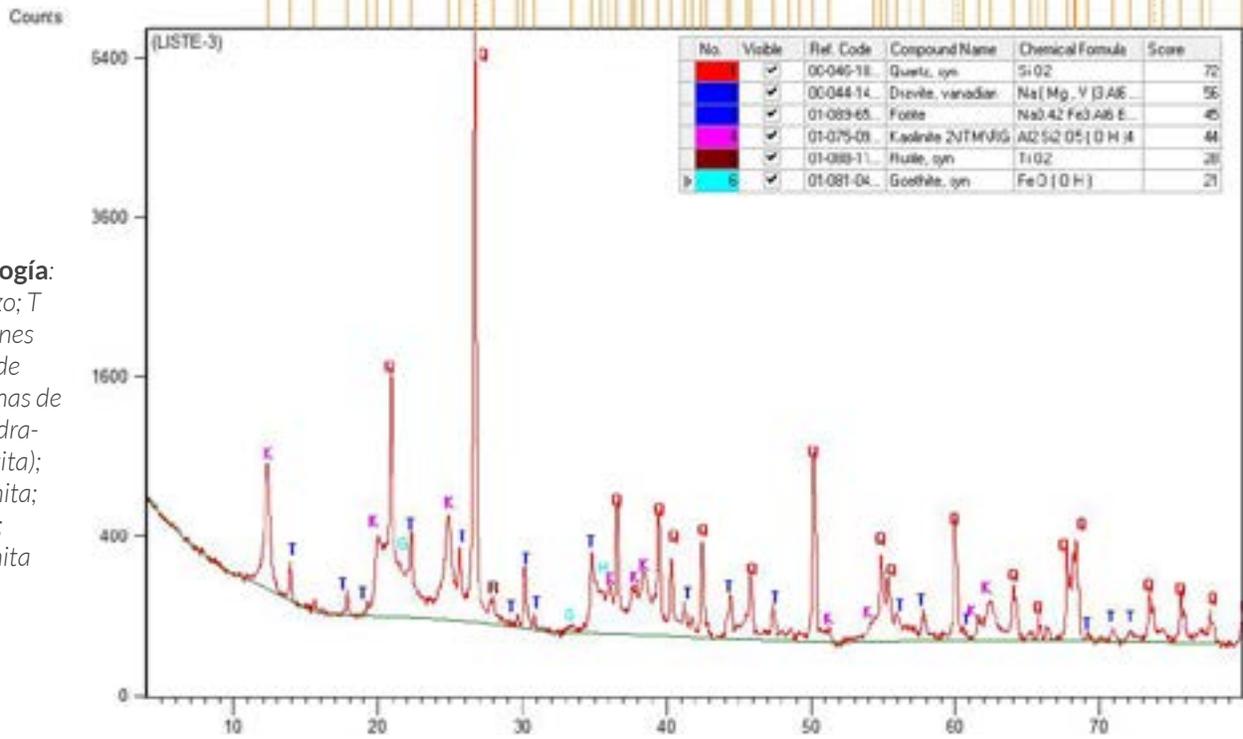


FIGURA 11 Difractograma de polvos de la muestra del greisen de “Santa Elena” (LISTE), cuya composición mineralógica guarda mejor bondad de ajuste (score) con las turmalinas de la serie “dravita-foitita”.

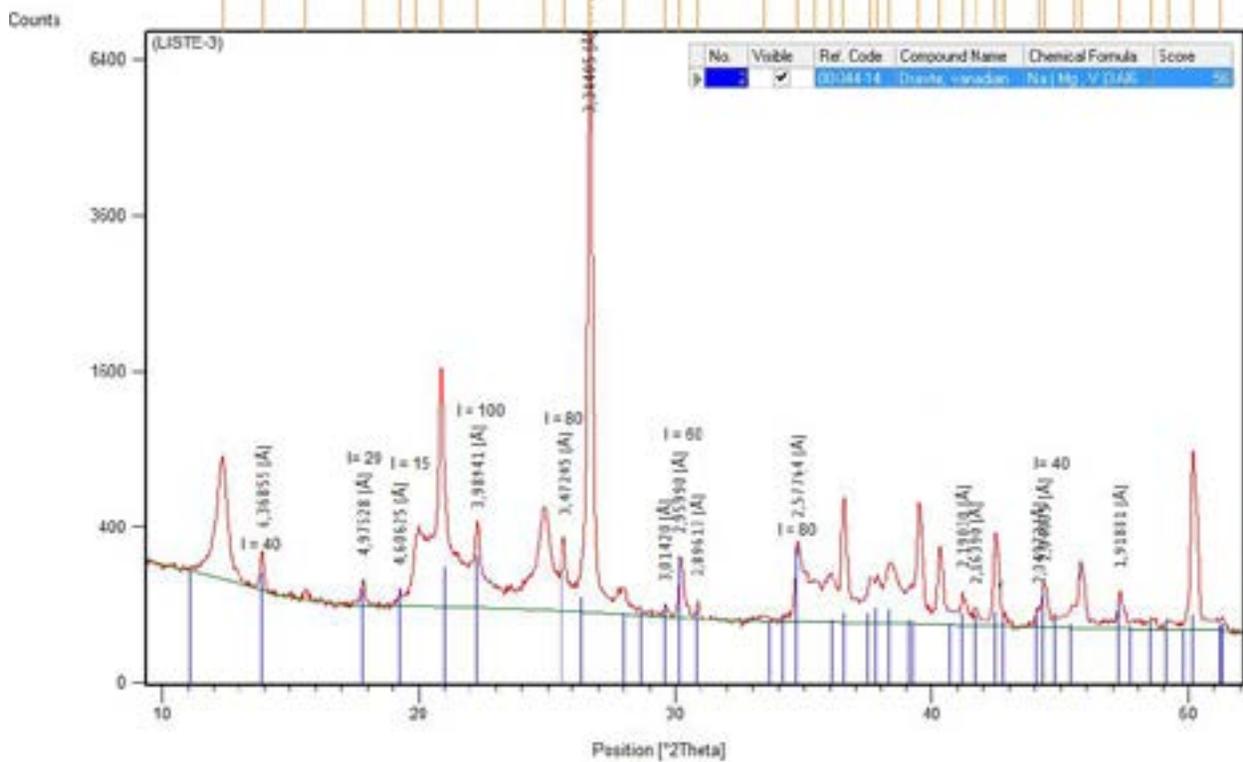


FIGURA 12 Difractograma de polvos de la muestra del greisen con turmalina del sector “Santa Elena” (LISTE) y comparación con el patrón de dravita (en color azul oscuro); PDF: 44-1457

Al igual que en el registro de polvos que se logró para la muestra del gresisen de “Las Nuevas”, en su homólogo de “Santa Elena”, también se observa que las intensidades relativas de los máximos de difracción:  $d$  (Å) = 6.368; 3.989 y 3.472, vinculados a las familias de planos e índices de Miller (1 0 1), (2 2 0) y (1 0 -2) correspondientemente, resultan asimismo menores si estas se comparan con las del patrón de la Base de Datos que mejor bondad de ajuste mostró con dicha especie (PDF: 44 -1457). Este hecho pudiera explicarse por dos maneras diferentes, la primera por posibles sustituciones isomórficas de cationes en posiciones estructurales de la red cristalina de la dravita pero diferentes tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, o como segunda posibilidad, presencia de una especie en la solución sólida de composición cuasi-similar; Ej: oxi-dravita.

A partir del análisis de los patrones de DRX realizado para las diferentes especies de turmalinas reportadas, se obtuvo mejor bondad de ajuste para el patrón de difracción de polvos (No.14) de la dravita; fórmula general; (Na, K)0.70 (Mg,Cr,Al,Fe)9[BO3]3Si6O18(O,OH)4 de la Base de Datos de la República de Rusia (tabla IV).

No obstante lo anterior, aún queda por dilucidar la mayor intensidad del máximo  $d$  (Å) = 3.472 (figura 13), en relación con la del patrón de foitita seleccionado en la Base de Datos. Luego del correspondiente análisis realizado con los patrones de difracción de polvos que se reportan para la especie “magnesio-foitita” reportados en la propia la Base de Datos [www.mincrust](http://www.mincrust) (tabla V), así como el de “oxi-foitita” (ver tabla III), se plantea la presencia adicional de otro tipo de solución sólida de la serie “magnesio-foitita” en la muestra del gresisen de “Santa Elena”.

DRAVITA [No. 14]

No.	h	k	l	$d(hkl)$	$I/I_0 \cdot 100$
1	5	0	-1	2.57635	100.00
2	2	2	0	3.98150	82.40
3	2	1	-2	2.96507	70.10
4	2	1	1	4.22447	55.90
5	1	0	-2	3.48783	50.30
6	5	1	-2	2.04163	42.50
7	1	0	1	6.38961	33.90
8	4	3	-2	1.91935	33.20
9	2	0	-1	4.98358	21.30
10	5	1	1	2.34276	19.50
11	6	0	-3	1.66119	18.20
12	5	5	0	1.59260	18.10

TABLA 4

Patrón de difracción de polvos de la especie de turmalina “dravita” (CPDS Card Base de Datos de la República de Rusia [www.mincrust](http://www.mincrust))

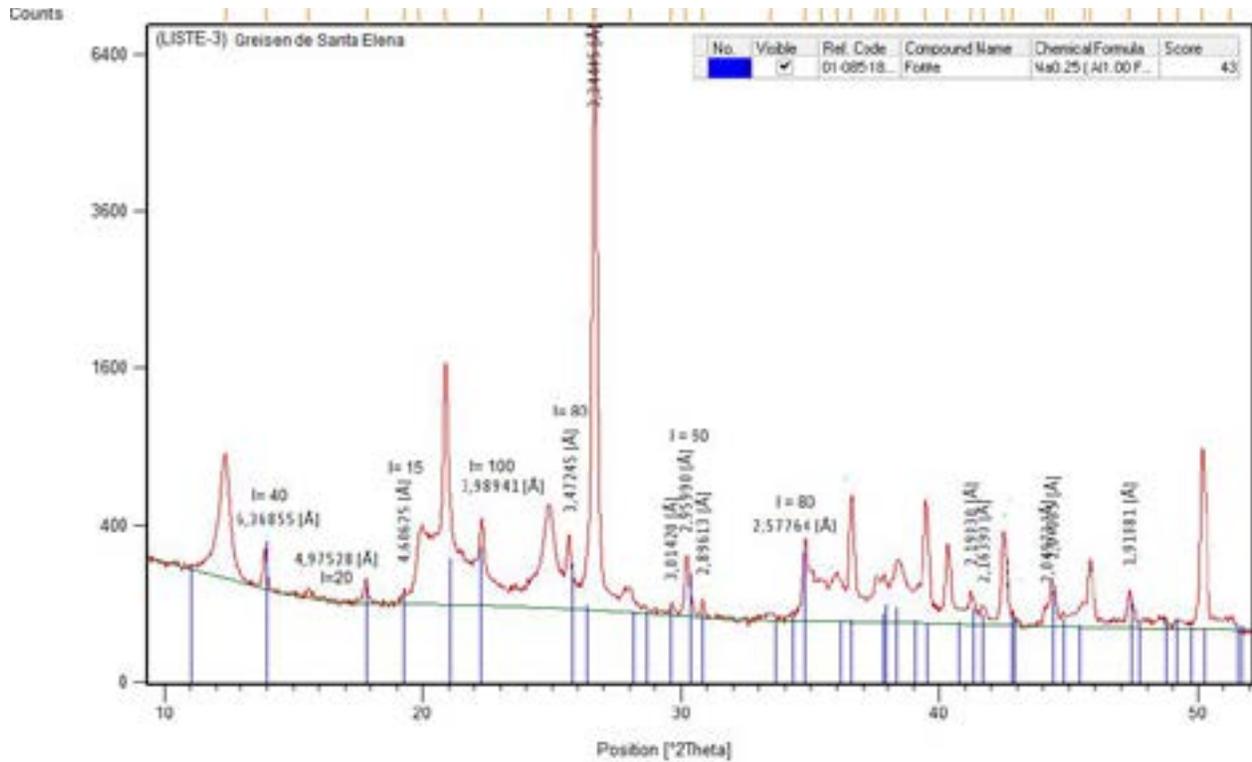


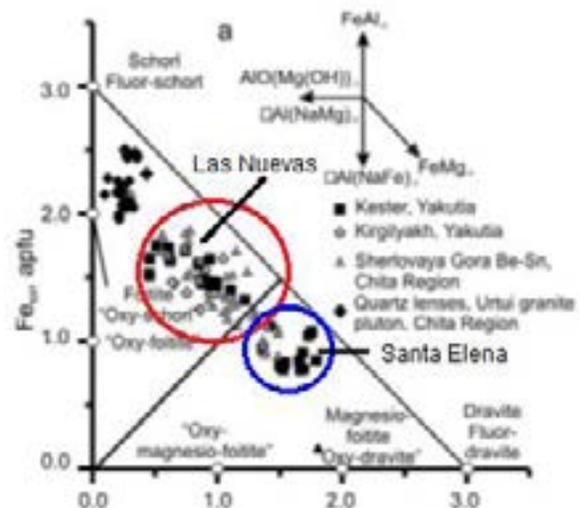
FIGURA 13 Difractograma de polvos de la muestra del greisen turmalinizado del sector “Santa Elena” (LISTE) y su comparación (color azul oscuro) con el patrón de foitita (PDF: 85-6506).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se concluye finalmente, que en el greisen de “Santa Elena”, las turmalinas constituyen soluciones sólidas intermedias de la serie “dravita”- “magnesiofoitita” y, al igual que en el greisen de “Las Nuevas”, las mismas guardan relación con depósitos de Sn, W, Mo, con Nb y Ta acompañantes, aunque no se descartan los yacimientos de Cu Porfídico, como así lo demuestran los resultados obtenidos por Baksheev et al, (2012). Por último cabe señalar que la población estadística de yacimientos de Sn asociados este tipo de soluciones sólidas de turmalinas, resultan menos abundantes si estos se comparan con los patrones de otras regiones del mundo (figura 14 y 15).

FIGURA 14

Relación  $(Fe^{3+} + Mg)$  versus  $(Fe^{2+} + Al)$  que enmarcan a posibles yacimientos tipo greisen con Sn tipo en el greisen de “Santa Elena” según resultados obtenidos y compilados Baksheev et al., (2012).



**MAGNESIO-FOITITA. [2]**  
 $Na_{0.1}(Mg, Al)_2(Al, Mg)_2[RO_2]_2(Si)_2O_{12}(OH, O)_4$

N	h	k	l	d(hkl)	I/I <sub>0</sub> *100
1	5	0	-1	2.56786	100.00
2	2	2	0	3.97350	93.60
3	1	0	-2	3.44841	56.40
4	2	1	-2	2.93912	56.10
5	2	1	1	4.20145	51.70
6	1	0	1	6.32684	48.20
7	5	1	-2	2.03097	37.70
8	4	3	-2	1.91004	34.10
9	2	0	-1	4.94976	26.80
10	5	1	1	2.33556	21.70
11	6	0	-3	1.64992	19.70
12	1	1	0	7.94700	19.50

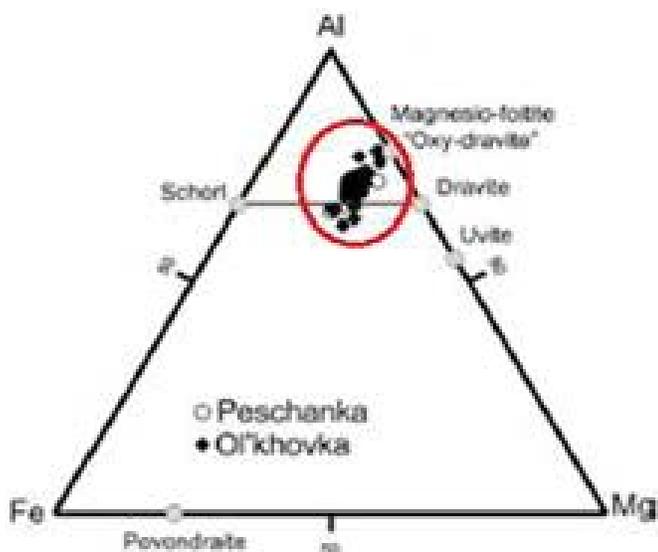


FIGURA 15

Comportamiento de las turmalinas en los depósitos de cobre porfídico Peschanka y Ol'khovka de la República Rusa (Ref.: Baksheev et al., 2012), las que guardan cierta similitud con las que se identificaron en el greisen de "Santa Elena"

TABLA 4

Patrón de difracción de polvos de la variedad de turmalina magnesio-foitita (CPDS Card Base de Datos de la República de Rusia ([www.mincryst](http://www.mincryst)))

1. Mediante el empleo de la variante difractométrica de polvos se concluye que las turmalinas del greisen “Las Nuevas”, constituyen soluciones sólidas intermedias de la serie “oxi-chorlo”-“oxi-foitita”, al unísono, estas constituyen posibles indicadores metalogénicos de depósitos tipo greisen de Sn con W, Mo, Nb y Ta acompañantes, según plantean Vassallo (2008) y Baksheev et al. (2012) entre otros expertos en la referida temática.

2. De forma paralela se confirmó además por DRX, que las turmalinas presentes en la regolita de greisen del sector “Santa Elena”, corresponden a soluciones sólidas intermedias de la serie “dravita” - “magnesiofoitita”, las cuales al igual que en el greisen de “Las Nuevas” guardan relación con depósitos tipo greisen de Sn, con W, Mo, Nb y Ta acompañantes. No obstante, para este caso específico, la población estadística de yacimientos vinculados a dichas soluciones sólidas resulta menor que las asociadas al greisen de “Las Nuevas”, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Baksheev et al. (2012).

3. Teniendo en cuenta los resultados que exponen Baksheev et al. (2012) a partir del empleo del diagrama triangular (Al-Fe-Mg) no se descarta, dada la composición mineral de las turmalinas que se identifican, su probable asociación con depósitos de Cu porfídico en el granito greisenizado del sector “Santa Elena”.

4. Los resultados obtenidos mediante la combinación de técnicas de análisis mineralógico, petrográfico y DRX, aplicados a la caracterización de turmalinas en el Terreno Pinos, apoyan la hipótesis planteada por Cazañas-Díaz et al., (2017) en el texto de la memoria explicativa del Mapa Metalogénico de Cuba a escala 1: 250 000, relacionada con la favorabilidad geológica de dicho territorio para el descubrimiento de nuevas ocurrencias de Sn, W y Mo, y los elementos que las acompañan desde el punto de vista geoquímico.

Los resultados de la presente investigación se consideran solo el primer paso encaminado hacia el análisis holístico de las mencionadas especies minerales en el territorio de la Isla de la Juventud y que hoy forman parte del supergrupo turmalinas; por dicho motivo, se recomienda continuarlas a través del empleo de otras técnicas analíticas de avanzada más potentes, tales como la microscopía electrónica dispersiva en longitud de onda (MEB-WDS), la espectrometría de emisión acoplada a un espectrómetro de masas (ICP-MS) y las espectroscopias infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y RAMAN, entre otras, a fin de determinar con mayor certidumbre, posiciones estructurales y microcomposición química de elementos mayoritarios y trazas presentes en las mismas, requisito indispensable para poder realizar una verdadera valoración del significado metalogénico de la presencia estas, cuyas peculiaridades cristal químicas resultan diferentes en el territorio estudiado y el uso de estas como elemento indicador de determinado tipo genético de depósito metálico.

Al adentrarme en el complejo mundo estructural de las turmalinas, el autor principal de la presente investigación agradece la valiosa formación docente y profesional que recibió, tanto en la Facultad de Química de la Universidad de la Habana (U.H) y en el CNIC durante el periodo de 1973-1980, de la mano de los profesores: Dr. Silio López Guerra, Dra. Georgina Agüero Gutiérrez, MsC. Inés Milia González, Dr. Julio Llópiz Yurell y Dra. Carmen Haces Díaz, así como el adiestramiento y formación profesional recibido en el Laboratorio Central de Minerales “José Isaac del Corral” (LACEMI) por la Lic. Natalia Vega Sánchez y el Dr. Carlos Ricardo González González en el periodo de 1981 hasta 1998), todo lo cual y a pesar del tiempo transcurrido, permite que aún se sigan recogiendo frutos de los inagotables conocimientos que en ese sentido me impartieron.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avdeev, S., M. Ferreira, A. Machado, M. A. Fernández, J. Horta, M. Bosch. (1986). Búsqueda evaluativa para Au- W en Lela y sus flancos. Inédito. Archivo ONRM. La Habana.
- Babushkin, V., E. Tseimakh, S. Akilvekov, V. Sverov, V. Kurtigueshev, N. Orlov, (1990). Informe de los trabajos de levantamiento geológico – geofísico a escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el municipio especial Isla de la Juventud en colaboración con la URSS (CAME III). Inédito. Archivo ONRM. La Habana.
- Bačík P, Cempírek J, Uher P, Novák M, Ozdín D, Filip J, Škoda R, Breiter K, Klementová M, Ďuda R, Groat LA (2013). Oxy-schorl, Na(Fe<sub>2</sub>+2Al)Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>3</sub>O, a new mineral from Zlatá Idka, Slovak Republic and Příbyslavice, Czech Republic. *Amer. Miner.* 98: 485 - 492.
- 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.
- Bosi F., Skogby H., Hålenius U., (2017). Oxy-foitite, □(Fe<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>)Al<sub>6</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>)(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>3</sub>O, a new mineral specie of the tourmaline supergroup.
- Cazañas Díaz X., Torres Zafra J.L., y colaboradores (2017a). Memoria explicativa del Mapa Metalogénico de la República Cuba a escala 1:250 000. Editorial Centro Nacional de Información Geológica. ISBN.
- Cazañas-Díaz X, Torres-Zafra J. L, González D., Torres- La Rosa M, Llanes- Castro I, Santa Cruz-Pacheco M., López-Kramer J. M., González-Acosta V., Alfonso W., Matos I., López O., de La Paz-Ojeda D., Carballo O., Pérez- M (2017b). Estudio del magmatismo del Terreno Pinos (Isla de la Juventud): Implicaciones metalogenéticas. Informe final proyecto IGP-SGC.
- Chung F.H (1974). Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. Matrix- Flushing method for quantitative multicomponent analysis. *Journal Appl. Cryst.* No.7. pp. 519 - 525.
- Dutrow B.L, Henry D.J (2018). Tourmaline studies through time: contributions to scientific advancements. *Journal of Geosciences.* Vol.63. Issue 2. pp 77-98.
- 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* Vol. 30. Pp. 225 - 234.
- Millán, G., (1998). Geología del macizo metamórfico Isla de la Juventud. En: G. F. Furrázola- Bermúdez, K. E. Núñez- Cambra, (eds.). *Estudios sobre Geología de Cuba: 259 - 270.* Editorial. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. Cuba.
- Powder Diffraction File for Personnel Computer (PCPDFWIN). Versión 1.30. ICCD. compatible con Windows para Office. 2003.
- Somin, M., G. Millán, (1981). Geología de los complejos metamórficos de Cuba. 219 págs. Editorial Nauka. Moscú. En idioma ruso.
- Torres-Zafra, J., Cazañas-Díaz, X., (2019). Lela: un ejemplo de depósito mineral polimetálico zonado complejo. Memorias del evento Geociencias 2019 (CD\_ROOM). La Habana. Cuba.
- Vassallo L.F (2008). Yacimientos Minerales Metálicos. 4ta ed., Versión On-Line. Bol-e. Centro de Geociencias. Querétaro. México.
- X'Pert High Score Plus, versión 1.30 (2003). XRD Software. Malvern PANalytical.
- WWW - MINCRYST. Data Base of Crystallographic and Crystallochemical Database for Minerals (OnLine).