

8
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO MINERALOGICO DE LOS CUERPOS PEGMATITICOS DEL AREA DE ZIMATLAN, EDO. DE OAXACA.

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO GEOLOGO

p r e s e n t a

ERNESTO LUIS HAGHENBECK CORREA



México, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | Pag. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 1 |
| 1.- GENERALIDADES | 2 |
| 1.1. - Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.2. - Localización y extensión del área | 2 |
| 1.3. - Método de trabajo | 3 |
| 1.4. - Antecedentes | 4 |
| 2.- MARCO GEOLOGICO | 6 |
| 2.1. - Descripción general del Complejo Oaxaqueño | 6 |
| 2.1.1.- Ubicación y límites | 6 |
| 2.1.2.- Estratigrafía | 6 |
| 2.1.3.- Geología Estructural | 7 |
| 2.1.4.- Metamorfismo | 8 |
| 2.1.5.- Edad | 8 |
| 2.2. - Discusión sobre el origen y evolución del Complejo Oaxaqueño | 9 |
| 3.-IMPORTANCIA ECONOMICA DE LAS PEGMATITAS | 11 |
| 3.1. - Definición de pegmatita | 11 |
| 3.2. - Tamaño y forma | 11 |
| 3.3. - Clasificación | |
| A. - En relación a su génesis | 11 |
| B. - En relación a la estructura interna | 12 |
| 3.4. - Estructura interna | 15 |
| A. - Zona de borde | 15 |
| B. - Zona de pared | 15 |
| C. - Zona intermedia | 15 |
| D. - Núcleo o zona interna | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5. - Importancia económica de las pegmatitas | 16 |
| 3.5.1.- Elementos y minerales explotables | 17 |
| 3.5.1.1.- Gemas | 17 |
| 3.5.1.2.- Cuarzo | 17 |
| 3.5.1.3.- Turmalina | 18 |
| 3.5.1.4.- Espodumena | 18 |
| 3.5.1.5.- Topacio | 18 |
| 3.5.1.6.- Berilo | 19 |
| 3.5.1.7.- Yacimientos de feldespatos | 19 |
| 3.5.1.8.- Yacimientos de micas | 20 |
| 3.5.1.9.- Yacimientos de litio | 21 |
| 3.5.1.10.- Yacimientos de cesio, rubidio y berilio | 22 |
| 3.5.1.11.- Yacimientos de tierras raras | 23 |

4.- LOS YACIMIENTOS PEGMATITICOS DE ZIMATLAN, OAXACA

| | |
|--|-----------|
| 4.1. - Antecedentes | 25 |
| 4.2. - Geología del área de Zimatlán, Oax | 26 |
| 4.3. - Forma y dimensiones | 27 |
| 4.4. - Estructura interna | 28 |
| 4.5. - Génesis de las pegmatitas | 29 |
| 4.6. - Edad | 29 |

5.- ESTUDIO MINERALOGICO DE LAS PEGMATITAS DEL AREA DE ZIMATLAN, OAXACA.

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 5.1. - Situación geográfica | 30 |
| 5.2. - Relaciones de campo | 30 |
| 5.3. - Génesis | 31 |
| 5.3.1.- Paragénesis | 36 |
| 5.4. - Edad | 37 |
| 5.5. - Mineralogía | 37 |
| 5.5.1.- Apatita | 37 |
| 5.5.2.- Augita | 38 |
| 5.5.3.- Calcita | 40 |
| 5.5.4.- Escapolita | 41 |
| 5.5.5.- Titanita | 43 |
| 5.5.6.- Heulandita | 44 |
| 5.5.7.- Flogopita | 45 |
| 5.5.8.- Zircón | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 6.- IMPORTANCIA DE LAS PEGMATITAS MEXICANAS | 49 |
| 6.1. - Descripción general de la importancia de las pegmatitas mexicanas | 49 |
| 6.2. - Distribución de las pegmatitas mexicanas | 50 |
| 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 53 |
| APENDICES PETROGRAFICOS | 55 |
| APENDICES DE DIFRACCION DE RAYOS X | 58 |
| APENDICES DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X | 62 |
| INDICE DE TABLAS, FIGURAS, MAPAS Y FOTOGRAFIAS | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | 68 |

INTRODUCCION

En el área de Zimatlán-Santa Cruz Nexila (42 km. al SW de la ciudad de Oaxaca) el Complejo Oaxaqueño aflora con una diversidad de rocas metamórficas en facies de granulita, en las que ocasionalmente se emplazan cuerpos de naturaleza pegmatítica con cristales de hasta 30 cm. de longitud máxima, pero de variada composición mineralógica, como augita, escapolita, calcita, apatita, flogopita, zircón, titanita, cuarzo, allanita, betafita, fergusonita, feldspatos, ilmenita y grafito.

Los primeros estudios se remontan a finales del siglo pasado los cuales son enfocados hacia un estudio geológico regional; no fué sino hasta los años 40's cuando el entonces Consejo de Recursos Naturales No Renovables, efectuó un intenso programa de exploración directa con zanjas, catas y socavones para la exploración de minerales industriales y que vinieron a enriquecer el conocimiento de la ocurrencia de estas especies mineralógicas. Sin embargo, no se tiene conocimiento de publicaciones sobre estudios "geológicos específicos" en donde se mencionen las asociaciones mineralógicas presentes en dichos cuerpos (excepto la tesis de Contrera-Hernández, 1978).

La descripción mineralógica y el estudio composicional de estos cuerpos pegmatíticos, representa un apoyo sobre el que pueden basarse trabajos sobre geoquímica y evolución petrológica que incrementan el conocimiento del Complejo Oaxaqueño.

1.- GENERALIDADES

1.1.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Los objetivos de la presente investigación, consistieron en el establecimiento del marco geológico de las pegmatitas ubicadas en el área de Zimatlán, Oaxaca, con objeto de analizar las relaciones espacio-temporales y genéticas con las rocas que componen el Complejo Oaxaqueño.

Dentro de esta investigación se estudió de manera específica al yacimiento "La Panchita", en Santa María Ayoquesco, debido a la extrema diferencia que presenta en cuanto a mineralogía, génesis, estructura interna, etc. con la mayoría de las pegmatitas que afloran en el área de estudio.

En dicha pegmatita se realizaron estudios mineralógicos detallados, con el objeto de conocer la génesis de este cuerpo, definir las probables relaciones con las rocas encajonantes y proponer ideas acerca de la potencialidad económico-minera de este tipo de yacimientos en el Complejo Oaxaqueño.

1.2.- LOCALIZACION Y EXTENSION DEL AREA

El área de estudio se localiza en la parte central del estado de Oaxaca, entre los paralelos 16°37' y 16°39' de Latitud Norte y los meridianos 96°48' 30" y 96°47' 30" de Longitud Oeste, formando un rectángulo de 4 por 2 km de ancho, comprendido entre la zona suroeste del poblado de Santa María Ayoquesco De Aldama, Oaxaca y al norte de San Martín Lachila, Oaxaca. (Fig. No. 1).

Para llegar al área en cuestión, se parte de la ciudad de Oaxaca y se toma la carretera pavimentada No. 175 que conduce a la población de Puerto Escondido, Oaxaca. En el kilómetro 15 se aborda la carretera pavimentada No. 131 que sigue una dirección NW-SE y que comunica a la ciudad de Oaxaca con Pto. Escondido, vía Sola de Vega, y con los poblados de Zimatlán de Alavarez, Santa María Ayoquesco De Aldama y Santa Gertrudis, así como algunos otros, todos ubicados en el estado de Oaxaca.

A partir del kilómetro 40 de dicha carretera, inicia el área de interés en donde se encuentran diversos cuerpos de naturaleza pegmatítica localizados en su mayoría al oriente de la carretera No. 131 y a sólo algunos cientos de metros de ella (Plano final).

1.3.- METODO DE TRABAJO

El trabajo que se llevó a cabo para la realización de ésta investigación se puede dividir en cuatro etapas:

-Recopilación e interpretación de información

Durante esta etapa se obtuvieron diversas referencias bibliográficas utilizadas para la comprensión e interpretación de los datos obtenidos en campo y laboratorio. Dentro de este acopio de información se utilizaron las cartas 1: 50,000 de INEGI Hoja E14 D67 y 1: 50,000 aportada por PEMEX, estación Oaxaca, que sirvieron de base para vaciar los datos obtenidos en el campo.

-Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en el mapeo detallado de diversas pegmatitas localizadas en el área de Zimatlán, Oaxaca a escala 1: 50,000. Asimismo, se llevó a cabo un muestreo detallado del socavón que atraviesa la estructura de "La Panchita", así como el mapeo y muestreo de las rocas que alojan dicho cuerpo.

-Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió primordialmente en el análisis de 19 muestras, que fueron laminadas para estudio microscópicos mediante los cuales se conoció la mineralogía y asociaciones presentes. También se ocuparon 7 muestras para su análisis de difracción de rayos X (hechos por el autor) y 4 para análisis de fluorescencia de rayos X, realizados por el Dr. Javier Lara Arellano del laboratorio de IDISA ubicado en Tehuacán, Pue.

-Interpretación de datos

Con los datos obtenidos se procedió a conocer las características de las pegmatitas, para proponer hipótesis acerca del emplazamiento de los cuerpos y sus correlaciones con la evolución del Complejo Oaxaqueño.

1.4.-ANTECEDENTES

Las primeras referencias que se tienen del Complejo Oaxaqueño provienen de finales del siglo XIX. Aguilera y Ordoñez, en su primera publicación (1893), se refieren a un terreno denominado "primitivo" que abarca los estados de Guerrero, Oaxaca y sur de Puebla. constituido principalmente por gneises, filitas gneísicas, esquistos micáceos y filitas muy arcillosas. Más tarde, aparece el trabajo de Félix y Lenk (1899) quienes mencionan la presencia de gneises caracterizados por grafito, piroxenos y micas, localizados entre Ejutla y Miahuatlán, Oax., al sur de la ciudad de Oaxaca. Posteriormente Ordoñez (1906), realiza un trabajo geológico del Cañón del Tomellín con motivo de la Décima Sesión del Congreso Geológico Internacional, en donde describe en forma más detallada la geología del área (Fries, Schmitter, 1962).

Para inicios de 1890, De Landa y Girault llevan a cabo una investigación de índole minera de los yacimientos auríferos con posibilidades económicas ubicados entre la ciudad de Oaxaca y San Miguel Peras, famoso por sus yacimientos de oro (Fries, Schmitter, 1962).

Para inicios de este siglo se publican algunos trabajos por De Landa-Escandón y Girault (1892 y 1916), Hajar (1905) y Waitz (1912) que publican un tratado donde describe detalladamente la petrografía de las rocas que afloran en la parte central de Oaxaca (Morán-Zenteno, 1986).

En 1929, Barrera realiza un estudio de las rocas metamórficas en el lugar anteriormente mencionado, en el cual describe la existencia de mármol cipolino, piroxenitas y pegmatitas que siguen la dirección de la foliación de los gneises.

Posteriormente, Martínez Bermúdez (1955), publica un trabajo relacionado con la descripción de las pegmatitas ubicadas cerca del poblado de Telixtlahuaca, Oax., en donde propone el origen metamórfico de la mayoría de las pegmatitas ubicadas en esta área.

Para los años 60's y 70's se investiga el Complejo Oaxaqueño a través de estudios realizados por Carl Fries y más tarde retomados por Zoltan de Cserna, quienes publican distintos artículos sobre fechamientos del Complejo Oaxaqueño (pag. 9).

Desde los 80's hasta la actualidad, el estudio del Complejo Oaxaqueño se ve restringido solamente a los trabajos realizados por el Dr. Ortega Gutiérrez, Dante Morán y Joaquín Rufz, principalmente.

El Complejo Oaxaqueño es considerado como uno de los cinturones metamórficos más complicados en el planeta, así como el más antiguo de México (Proterozoico). Probablemente durante el Proterozoico Medio, los efectos de la Orogenia Oaxaqueña produjeron la desaparición de la mayoría de los rasgos originales de las rocas que componían este terreno, lo cual ha hecho que el estudio de este Complejo sea muy complicado.

Sin embargo, este dominio metamórfico ha despertado interés debido a la existencia de diversos yacimientos, como titanio (Huitzo, Pluma Hidalgo y algunos yacimientos de placer en el Océano Pacífico cerca de Pto. Angel, todos estos en el estado de Oaxaca), grafito (Telixtlahuaca, Oax.), tierras raras, micas, cuarzo y feldespatos incluidos en las pegmatitas, así como los yacimientos de oro ubicados en el poblado de Manuel C. Olivera, Municipio de Telixtlahuaca, Oax, formados por vetas hidrotermales de alta temperatura dentro de gneises (Martínez -Bermúdez, 1955).

Aunque la mayoría de estos yacimientos han sido poco estudiados, mantienen buenas expectativas para el desarrollo de la minería en el estado de Oaxaca.

El Complejo Oaxaqueño es el más estudiado de los 4 complejos del sureste de México pero aún persisten diversas incógnitas sobre su génesis. A efecto de conocer el potencial de recursos disponibles de estas rocas, son indispensables estudios geológicos que indudablemente servirán de base para conformar las perspectivas económico-mineras de tan importante región del país.

2.- MARCO GEOLÓGICO

2.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL COMPLEJO OAXAQUEÑO

2.1.1.-UBICACION Y LIMITES

El Complejo Oaxaqueño es un terreno cristalino de edad Proterozoica (900-1100 m.a. fechado por K-Ar y otros métodos radiométricos) que aflora en la parte central del estado de Oaxaca con una orientación NNW, desde el sur del estado de Puebla hasta 45 km tierra adentro del Océano Pacífico con una exposición de 10,000 km². Se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur.

Este rasgo, presenta una longitud mínima de 270 km y un ancho que varía de 50 a 120 km, para ocupar aproximadamente 15 km de grosor en la columna estratigráfica de la región (Ortega-Gutiérrez, 1981).

Los límites que guarda el Complejo Oaxaqueño con respecto a los otros complejos son:

El límite sur aparece a 30 km al norte de Pochutla, Oax. y está indicado por un cinturón milonítico de composición anortostítica que lo separa del Complejo Xolapa, mediante una falla orientada noreste-sureste en la cual el Complejo Oaxaqueño cabalga a las rocas del Complejo Xolapa. El límite oriental se encuentra aproximadamente 45 km al sur de Tehuacán, Pue y está evidenciado por otro cinturón milonítico y una posible falla denominada Falla Oaxaca que sigue el flanco oriental de la Sierra de Juárez (Ortega-Gutiérrez, 1981). El límite occidental está marcado al igual que los anteriores, por un cinturón milonítico y una falla denominada Falla Juchatengo que lo separa del Complejo Acatlán del Paleozoico (Ortega-Gutiérrez, 1978). Al norte, el Complejo Oaxaqueño parece acuíñarse, con otros complejos siendo aparente su contacto con el Terreno Maya (Morán-Zenteno, 1986).

El contacto inferior se desconoce, no así el superior que se presenta como una discordancia erosional con rocas que van desde el Cámbrico-Ordovícico (Formación Tiñú) y otras rocas de edades desconocidas como son calizas, lechos rojos y rocas volcánicas del terciario.

2.1.2.- ESTRATIGRAFIA

El Complejo Oaxaqueño se encuentra constituido por una gran diversidad de litologías.

Según la descripción de Ortega Gutiérrez (1981) se pueden reconocer dos partes dentro de la columna estratigráfica que compone al Complejo Oaxaqueño.

La inferior que compone la serie basal, se encuentra conformada por un conjunto anortostítico-gabroico y representa un evento intrusivo posterior a la sedimentación, ya que aparecen diques dentro de los paragneises. La anortosita está compuesta por microclina, hiperstena, cuarzo y minerales de hierro y titanio que forman cuerpos nelsoníticos (paralelos al bandeamiento y compuestos de ilmenita/magnetita-apatita) de interés económico, probablemente formados por inmiscibilidad magmática, en el cual las anortositas parecen haberse formado a partir de un magma derivado del manto que se emplazó en la corteza continental. (Ortega-Gutiérrez, 1981).

Dentro de esta misma parte inferior, aparecen los metagabros que cubren a las anortositas, dichos metagabros presentan una composición que varía de ultramáfico a ultrafélsico y algunas veces presentan bandas y lentes irregulares de nelsonita.

Arriba de este paquete se encuentra la secuencia paragneísica, la cual se encuentra constituida primordialmente por dos unidades.

La parte basal, formada por granulitas ricas en calcio constituidas por calcosilicatos, gneises cuarzo-feldespáticos, anfíbolitas y mármoles (Bloomfield y Ortega-Gutiérrez, 1975).

Los mármoles presenta una naturaleza intrusiva dentro de los paragneises, la cual probablemente se debió a una movilización estrictamente tectónica durante el plegamiento a partir de una anatexis de calizas impuras durante la culminación del metamorfismo (Ortega-Gutiérrez, 1977). Presenta una textura homogénea y granular, ricas en escapolita, wollastonita y diópsida principalmente, presentándose comúnmente xenolitos y grafito como mineral accesorio.

El origen de los gneises y granulitas así como de los mármoles es probablemente a partir de areniscas arcóscicas, lutitas calcáreas y calizas impuras y evaporitas, respectivamente.

Sobre esta unidad aparecen gneises pelíticos ricos en granate, sillimanita, pertita y algunas veces aparecen también bandas charnockíticas de composición granítica a sienítica y de origen ígneo, así como algunas anfíbolitas formadas a partir de basaltos alcalinos y doleritas emplazadas en rocas metasedimentarias (Ortega-Gutiérrez, 1982).

Dentro de esta secuencia paragneísica se encuentra un número importante de cuerpos pegmatíticos que contienen interesantes mineralizaciones que constituyen parte importante de la secuencia, junto con granitos de origen incierto.

2.1.3.-GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El Complejo Oaxaqueño ha sufrido una intensa y continua deformación que ha borrado los rasgos originales de las rocas; la deformación se manifiesta por el bandeamiento y foliación penetrativa con un

rumbo preferente de N-NW y que se presenta en la mayoría de las rocas, así como un fallamiento y plegamiento con rumbo que varía de N32W a N45W y buzamiento de 0-30 grados al noreste, para formar isoclinales de flujo y cizalleo.

El patrón estructural dominante sigue una dirección preferencial de N-NW con pequeños ángulos. Cabe mencionar, que las milonitas presentes en los contactos del complejo, representan intensos movimientos de edades desconocidas (Ortega-Gutiérrez, 1981).

2.1.4.- METAMORFISMO

A partir de estudios petrográficos de las distintas rocas que componen el Complejo Oaxaqueño, se han obtenido diversas paragénesis que permiten identificar la facie metamórfica: las asociaciones típicas son: hornblenda-piroxeno, diópsida-andesina-biotita, diópsida-escapolita-cuarzo-esfena y calcita-forsterita, que indican una facie de granulita con presiones intermedias (5-8 kb) y temperaturas altas (700-800°C), con un gradiente de 30°C por cada kilómetro. (Dante Morán, 1986)

2.1.5.- EDAD

Con la aplicación de distintos métodos radiométricos, se han obtenido edades que varían de 770-1100 m.a. teniendo un promedio de 900 m.a., según se puede constatar en la tabla No. 1.

Tabla 1.- Fechamientos realizados en pegmatitas del Complejo Oaxaqueño

| METODO | MINERAL | EDAD (M.A.) | REFERENCIA | ORIGEN |
|---------|------------|-------------|---|--------------|
| Sm/Nd | Granates | 950 | Rufz, J., Patchett, J., Ortega-Gutiérrez, 1988 | Varias rocas |
| Sm/Nd | Granates | 950 | " | " |
| Pb/alfa | Zircón | 1100 ± 25 | Fries (1962) | Pegmatita |
| K/Ar | Flogopita | 940 ± 30 | Fries (1962) | Pegmatita |
| K/Ar | Biotita | 855 ± 25 | Fries y Rincón (1965) | Pegmatita |
| Rb/Sr | Microclina | 770 ± 35 | Fries y Rincón (1965) | Pegmatita |
| Pb/alfa | Zircón | 840 ± 85 | Fries y Rincón (1965) | Pegmatita |
| U/Pb | Zircón | 975 ± 10 | Anderson y Silver (1971) | Pegmatita |
| U/Pb | Zircón | 1050 ± 20 | Ortega-Gutiérrez (1977) | Gneis |

2.2.- DISCUSION SOBRE EL ORIGEN Y EVOLUCION DEL COMPLEJO OAXAQUEÑO

Dada la semejanza entre la Provincia Grenville y el Complejo Oaxaqueño, en cuanto a la abundancia de facies de granulitas, presencia de anortositas, edades, etc., se ha considerado la continuación del Complejo Grenvilliano a través de la República Mexicana desde el norte, en el Cañón de la Peregrina (Gneis Novillo) y más al sur en Hidalgo (Gneis Huiznopala), para continuar por debajo del Eje Neovolcánico y aflorar en el sur de México como Complejo Oaxaqueño (Fries, 1962 y Rufz, 1988).

Partiendo de estas condiciones y del modelo de evolución de la Provincia Grenville, se ha interpretado que hace 1400 a 1200 m.a.? se inició la depositación de sedimentos clásticos, calcáreos y evaporíticos sobre un basamento cristalino más antiguo, dentro de una cuenca ensiálica para formar el llamado "Geosinclinal Oaxaqueño"; entre los 1200-1100 m.a.? se llevó a cabo la intrusión de cuerpos anortosfíticos y gabraicos provenientes del manto y posteriores a la sedimentación, que se emplazaron dentro de una corteza continental en la zona axial a partir del desarrollo de un supuesto rift continental.

La relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.7038-0.7040 de una de las anortositas soportan el origen proveniente del manto (Ortega-Gutiérrez, 1982), también se lleva a cabo la introducción de rocas ígneas graníticas y sieníticas.

La orogenia oaxaqueña se manifiesta entre los 1000 y 1200 m.a., implicando plegamiento y foliación, así como un metamorfismo de las facies de granulitas.

Después de la orogenia (975-940 m.a.) se llevó a cabo la intrusión de pegmatitas sencillas y complejas, así como también la anátesis de metasedimentos tales como los mármoles, formando así el yacimiento de "La Panchita".

Posteriormente (975-570 m.a.) se presenta la erosión y levantamiento del Complejo Oaxaqueño.

La gran similitud del Complejo Oaxaqueño con respecto a la Provincia Grenville, apoya la teoría indicada para resolver gran parte de las incógnitas para explicar el origen y evolución de este importante complejo metamórfico. Sin embargo, la mayoría de los cinturones metamórficos de esta edad en el mundo presentan similares características.

Se han realizado distintos modelos para explicar la evolución del Complejo Oaxaqueño (Dewy y Burke (1973), Wynne-Edwards (1976) y Baer (1977)), pero ninguno de estos modelos puede aplicarse por sí sólo para explicar su evolución, en virtud de que los mismos modelos presentan inconsistencias y de que las relaciones petrológicas y estructurales no están totalmente comprendidas (Morán-Zenteno, 1986).

3.- IMPORTANCIA ECONOMICA DE LAS PEGMATITAS

3.1.- DEFINICION DE PEGMATITA

Las pegmatitas son rocas ígneas o metamórficas, caracterizadas por un crecimiento de cristales de tamaños excepcionalmente grandes, en donde la mayoría son de más de 1 cm de diámetro. Las pegmatitas suelen aparecer en cratones precámbricos o en los núcleos de cadenas montañosas de edad Paleozoica. (Bates y Jackson, 1976).

Los datos indican que la mayoría de las pegmatitas se forman entre 700° y 250° C, en ambientes con presiones de 2 a 8 kbar.

3.2.-TAMAÑO Y FORMA

Las pegmatitas por lo general aparecen en forma de diques o lentes, aunque pueden ser de muchas formas.

Las tabulares se presentan comúnmente en esquistos o gneises de composición básica. Pero muchas otras aparecen de forma irregular y se pueden ramificar a lo largo de fracturas o fallas.

El rango de longitud de las pegmatitas varía de unos cuantos metros a más de un kilómetro y ancho desde algunos centímetros hasta cientos de metros.

3.3.- CLASIFICACION

Existen diversas clasificaciones de las pegmatitas, en relación con la composición, texturas, estructuras internas, origen, tamaño, forma, mineralogía, etc.

Atendiendo a su origen las pegmatitas pueden ser ígneas o metamórficas.

A-ÍGNEAS

El origen ígneo de las pegmatitas proviene de un magma residual, producto de la cristalización de batolitos graníticos que más tarde forman diques con fracciones ricas en volátiles que representan la cristalización final de un magma, por lo que contienen altas concentraciones de minerales presentes solamente en cantidades traza en rocas graníticas.

Por lo general se encuentran compuestas por cuarzo y feldespatos potásicos y algunos componentes volátiles (P, F, Cl, S, Li, etc.).

Los volátiles disueltos en el magma juegan un papel importante durante la consolidación, ya que la presencia de ellos hace que baje la viscosidad del fluido y hacen que sea más móvil, permitiendo que el magma permanezca fluido en un período prolongado de cristalización, contribuyendo así a una mejor cristalización de los minerales.

Por lo general, las pegmatitas graníticas están relacionadas con stocks o batolitos producidos por la intrusión de magmas ácidos y algunas veces se les puede encontrar alojadas en rocas metamórficas.

B-METAMORFICAS

Las pegmatitas de origen metamórfico son producidas por el desarrollo de migmatitas interpretadas de distintas maneras; como producto de inyección magmática (con o sin metasomatismo), como material fundido de la roca encajonante resultante de una fusión parcial (anatexis) o debido a la concentración de sílice, alúmina y álcalis mediante difusión iónica a través de la roca.

Muchas veces estas pegmatitas llegan a formar cuerpos con dimensiones de hasta cientos de metros. Por ejemplo el Precámbrico de Finlandia y el Este de Canadá (Landes, 1935).

Conforme a las estructuras internas, las pegmatitas se clasifican en simples y complejas, dicha clasificación representa una de las más usadas para la agrupación de pegmatitas (Park y Mac Diarmid, 1964).

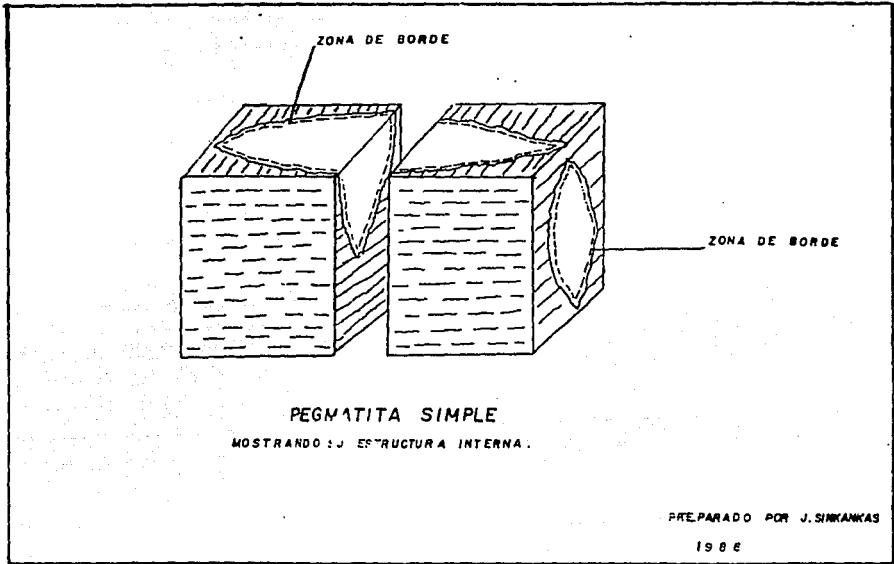
- PEGMATITAS SIMPLES O NO ZONEADAS

Son aquellas cuyos componentes minerales (cuarzo, feldespatos y micas) están distribuidos en forma homogénea a través del cuerpo pegmatítico y muestran variaciones texturales tan pequeñas que no se presenta un zoneamiento. Aunque algunas veces se puede diferenciar la zona de pared y el núcleo (por lo general compuesto únicamente de cuarzo).

La mayoría de las pegmatitas en el mundo son de este tipo y se forman a partir de una diferenciación metamórfica o de un período corto de actividad ígnea (Fig. No. 2).

Composición mineralógica: La mayoría de las pegmatitas simples están compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos y micas con un composición uniforme.

FIG. 2



- PEGMATITAS COMPLEJAS O ZONEADAS

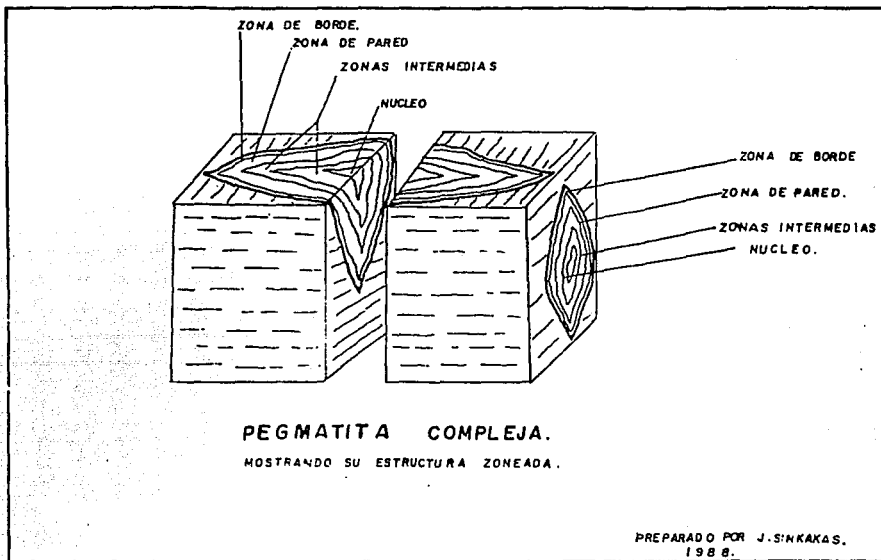
En este tipo de pegmatitas los minerales son segregados formando capas litológicas o zonas, reconocibles según la textura y mineralogía, y son el resultado de un período ígneo de gran magnitud o rara vez a partir de un origen metamórfico (Fig. No. 3).

Composición mineralógica: Además de cuarzo, feldespatos y micas, presentan algunos accesorios más raros, por ejemplo: berilo, espadumena, turmalina, apatita, etc.

Diversos autores atribuyen el zoneamiento a dos orígenes:

- 1.- Por cristalización fraccionada en condiciones de desequilibrio para formar reacciones entre los cristales y el líquido residual, o bien
- 2.- Formación de una pegmatita simple a partir de un fluido magmático y un posterior reemplazamiento parcial o total producido por soluciones hidrotermales.

FIG. 3



Según la composición química de las pegmatitas, éstas pueden ser:

Pegmatitas graníticas, pegmatitas sieníticas, pegmatitas nefelino-sieníticas y pegmatitas básicas.

Además de las clasificaciones anteriores, se tiene a la clasificación espacial, que considera a las pegmatitas ígneas espacialmente y genéticamente relacionadas a batolitos o stocks. Estos es, son clasificadas según su relación espacial con el cuerpo intrusivo (Park y MacDiarmid, p. 243)

- Pegmatitas interiores, cuando aparecen dentro del cuerpo intrusivo.
- Pegmatitas marginales, cuando aparecen en las márgenes del intrusivo.
- Pegmatitas exteriores, cuando aparecen en la roca encajonante alrededor del cuerpo intrusivo.

3.4.-ESTRUCTURA INTERNA

La variación mineralógica y textural dentro de una pegmatita, puede definir zonas o unidades en donde los contactos entre éstas son por lo general gradacionales, aunque en algunos lugares pueden ser abruptos. A partir de estas variaciones, Jahns (1954) clasificó las unidades internas de una pegmatita zonada, como zonas de borde, de pared, intermedias y el núcleo o zona interna. Dicha clasificación es utilizada hasta el momento (Fig. No. 3).

a) Zona de borde: La zona exterior o de borde se presenta con textura de grano fino con algunas pulgadas de grosor en la mayoría de las pegmatitas.

Mineralogía:

Esenciales: Feldespatos, cuarzo y muscovita

Accesorios: Turmalina, berilo, granates y otros.

b) Zona de pared: Generalmente es de textura de grano más grueso que la anterior. Esta zona en algunas pegmatitas puede no presentarse.

Mineralogía:

Esenciales: Plagioclasa, pertita, muscovita y cuarzo.

Accesorios: Turmalina, biotita, apatita, berilo y granate.

Minerales Económicos: Mica y berilo.

c) Zona intermedia: No hay un número teórico de subzonas intermedias pero la mayoría de las pegmatitas contienen más de 3 subzonas mapeables, pero en algunos casos están ausentes.

Por lo general, presenta una textura más gruesa que las anteriores y es de gran importancia económica ya que es la zona en donde se presenta la concentración más grande de minerales metálicos y no metálicos.

Mineralogía:

Esenciales: Feldespatos, cuarzo y micas

Accesorios: Turmalina, berilo, apatita, etc.

Aparecen algunas veces concentraciones importantes de uranio, torio, cesio, niobio, litio, tantalio y tierras raras.

d) Núcleo o zona interna: Esta zona presenta una mineralogía y textura muy variable. Generalmente se ubica cerca del centro del cuerpo pegmatítico, comúnmente como lentes elongados o una serie de segmentos. Frecuentemente está formada por una masa sólida de cuarzo blanco con feldespatos y algunas veces se presenta con turmalina o espodumena.

Además de estas zonas pueden presentar algunas unidades litológicas tales como:

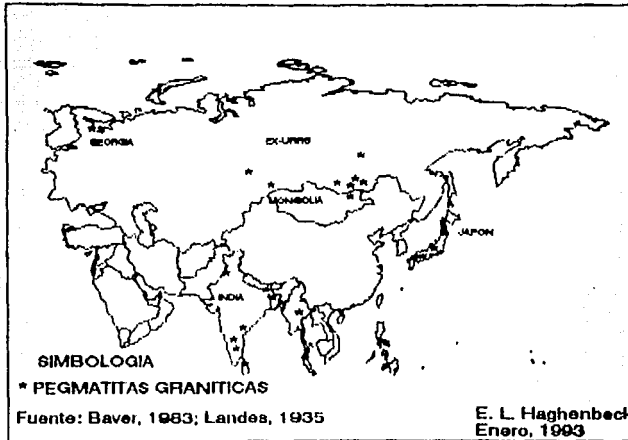
- Fracturas rellenas: Son unidades generalmente de forma tabular que llenaron fracturas en pegmatitas previamente consolidadas.

- Cuerpos de reemplazamiento: Son unidades formadas esencialmente por reemplazamiento de la pegmatita preexistente, con o sin un control estructural obvio.

3.5.- IMPORTANCIA ECONOMICA DE LAS PEGMATITAS

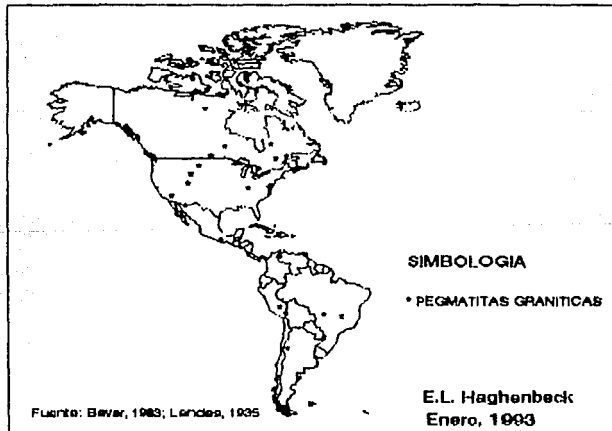
Las pegmatitas en el mundo representan importantes yacimientos de diversos elementos de uso industrial, tales como la mayoría de las pegmatitas graníticas que contienen flúor, rubidio, boro, fósforo, litio, berilio, lantánidos, uranio, niobio y tantalio (Mapa No. 1,2,3 y 4). Algunas también contienen molibdeno, tungsteno y estaño, pero estos son más característicos de ambientes neumatolíticos.

DISTRIBUCION DE PEGMATITAS EN ASIA



MAPA Num. 1

DISTRIBUCION DE PEGMATITAS EN AMERICA

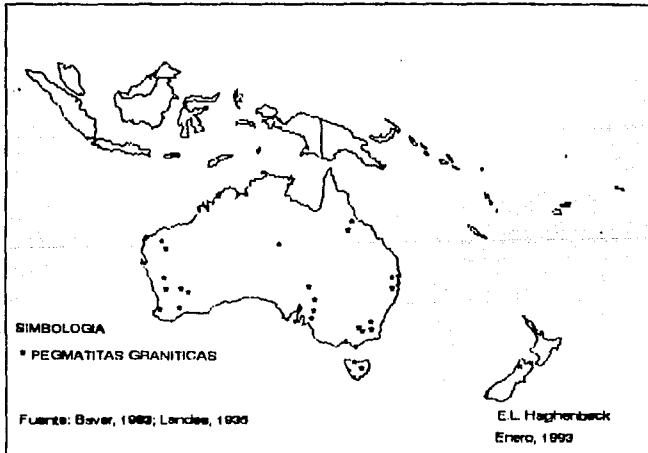


MAPA Num. 2

DISTRIBUCION DE LAS PEGMATITAS EN EUROPA Y AFRICA



DISTRIBUCION DE LAS PEGMATITAS EN AUSTRALIA



MAPA Num. 4

3.5.1.- ELEMENTOS Y MINERALES EXPLORABLES

3.5.1.1.- GEMAS

Actualmente en el mundo las pegmatitas granfíticas representan uno de los más importantes tipos de depósitos de gemas (Fig. No. 4).

Grandes cristales, algunas veces de metros de longitud son encontrados en estos yacimientos. Por lo general, aparecen en cuerpos pegmatíticos en forma de vetas o lentes que intrusionan a un cuerpo ígneo principal o que se encuentran cerca de éste.

Las pegmatitas contienen raros minerales para los coleccionistas, ya que los cristales presentan una maravillosa cristalización.

Ejemplos típicos se tienen en las pegmatitas granfíticas de Madagascar, Minas Gerais, Brasil y los Urales, ex-URRS, localidades consideradas como las pegmatitas más conocidas hasta el momento (Baver, 1983).

USOS:

El uso primordial de las piedras preciosas y semipreciosas es en la manufactura de joyas. Pero también se llegan a ocupar como abrasivos (granate y cuarzo) o como pigmentos (hematita, lazurita). Las principales piedras preciosas o semipreciosas en este tipo de yacimientos son:

3.5.1.2.- CUARZO (SiO₂)

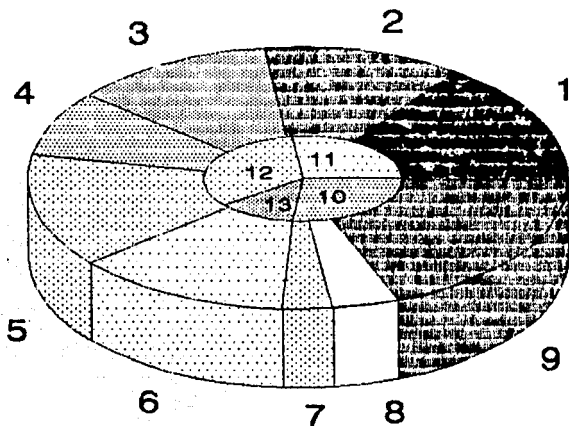
Finos cristales de cuarzo ametista y ahumado de dimensiones gigantescas, se han encontrado en cavidades dentro de pegmatitas. Cristales gigantes de cuarzo con varios metros de diámetro se han encontrado en Madagascar, los Urales y Brasil.

Localidades:

Hot Springs, Arkansas, U.S.A., Madagascar, Brasil, Asia central, Urales y Australia.

FIG.4

DISTRIBUCION DE YACIMIENTOS DE GEMAS



- 1. ROCAS METAMORFICAS NO CARBONATADAS
- 2. ROCAS METAMORFICAS CARBONATADAS
- 3. VETAS HIDROTHERMALES Y RELLENO DE CAVIDADES EN ROCAS VOLCANICAS
- 4. OTRAS VETAS HIDROTHERMALES
- 5. DEPOSITOS DE CIRCULACION DE AGUAS FRIAS
- 6. MATERIA FOSIL
- 7. ROCAS VOLCANICAS
- 8. OTRAS ROCAS PLUTONICAS
- 9. PEGMATITAS
- 10. IGNEAS
- 11. METAMORFICO
- 12. HIDROTHERMALISMO
- 13. ORGANICO

DIAGRAMA SEGUN: BATES, R. BRADBURY, J.C. Y OTROS
1975
E. L. HAGHENBECK, ENERO 1993

3.5.1.3.- TURMALINA $\text{NaAl}_6(\text{Fe}, \text{Mg})_3[(\text{OH})_4(\text{BO}_3)_2\text{Si}_6\text{O}_{18}]$]

La turmalina es un mineral accesorio típico de pegmatitas granfíticas.

La turmalina forma una serie isomorfa en donde el extremo básico lo conforma la variedad chorlo (turmalina negra rica en hierro), posteriormente la dravita (turmalina parda rica en magnesio) y por último la elbaita (turmalina rica en litio de color rosa, rojo, verde y azul). Todas ellas son frecuentes en pegmatitas.

Localidades:

Maine, California, U.S.A., Minas Gerais, Brasil; San Diego County, California, U.S.A., ex-URRS y Madagascar.

3.5.1.4.- ESPODUMENA $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Es un mineral que pertenece al grupo de los piroxenos y presenta altos contenidos de litio. Por lo general se presenta en pegmatitas granfíticas.

Localidades:

Carolina del Norte, U.S.A., Minas Gerais y Minas Novas, Brasil y en Madagascar.

3.5.1.5.- TOPACIO $\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$

Es encontrado en pegmatitas granfíticas junto con la turmalina y el berilo. En la actualidad los topacios más conocidos provienen de las pegmatitas de Brasil pero también se encuentran frecuentemente en los Urales y Siberia en la ex-URRS en pegmatitas granfíticas asociado a lepidolita, feldespatos y cuarzo ahumado.

3.5.1.6.- BERILO $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

El berilo es un mineral típico de pegmatitas y contiene grandes cantidades de berilio, que constituye un elemento muy importante en la metalurgia. El berilio fue descubierto después que el mineral, ya que fue primeramente separado del berilo por el químico francés N.L. Vanquelin en 1798.

Con base en su color, el berilo puede ser clasificado como esmeralda, cuando es de color verde; aguamarina, de color azul;morganita, de color rosado y violeta, etc.

Las esmeraldas más famosas provienen de Muzo, Colombia en donde aparecen junto con la parasita $\text{Ca}(\text{Ce},\text{La})_2(\text{CO}_3)_2\text{F}_2$ y calcita. Por lo que esta asociación tiene un carácter especial, debido a la presencia del anión CO_3 , lo cual sugiere un período transicional entre pegmatita y un depósito hidrotermal.

Localidades:

Columnas gigantes de berilo de hasta 6 m de largo y 1 m de diámetro se han encontrado en Albany, en Maine, U.S.A., berilos de hasta 100 toneladas métricas se han encontrado en Dakota del Sur; en Ontario, Canadá; San Diego County, California; en ex-URRS y Minas Gerais, Brasil.

Además de las gemas y piedras preciosas también aparecen en pegmatitas el corindón, granates, amazonita (variedad de microclina), zircón y algunos otros.

En los yacimientos pegmatíticos de gemas, la zona más importante es la zona interna o núcleo de la pegmatita ya que es donde se encuentran por lo general las cavidades que contienen los mejores cristales.

3.5.1.7.- YACIMIENTOS DE FELDESPATOS

Los feldespatos conforman uno de los minerales más comunes en las rocas, generalmente formando pequeños granos asociados a otros minerales.

Estos minerales constituyen un amplio grupo en el cual participan principalmente los feldespatos potásicos (microclina, adularia, ortoclasa, etc.) y las plagioclasas (formando una serie sódico-cálcica).

Los feldespatos en las pegmatitas graníticas aparecen en grandes cantidades, junto con algunos otros minerales como el cuarzo, biotita, granate y turmalina. En algunos casos el feldespato se presenta intercrecido con el cuarzo para formar la textura gráfica, en la cual el feldespato conforma el 75% y el 25% restante de cuarzo.

Aunque las pegmatitas son la principal fuente de feldespatos y micas, no todas las pegmatitas forman yacimientos económicos, ya que sólo pocas contienen más allá del contenido standard de feldespato, cuarzo, micas, etc.

Localidades:

Las pegmatitas ricas en feldespato se ubican principalmente en la región de los Apalaches en los E.U. desde Alabama hasta Nueva York y en Canadá desde Labrador hasta Manitoba, pero principalmente existen en Ontario y Quebec.

La península escandinava es también una región con producción importante de feldespatos.

En México el estado de Oaxaca explota pequeñas cantidades de feldespatos (Fig. No. 5).

USOS:

El uso de los feldespatos se distribuye en 3 grandes ramas, 65% para la industria de vidrio, 30% para cerámica y 5% en otras aplicaciones. También se ocupa en la fabricación de esmaltes, abrasivos y como fuente de alúmina.

3.5.1.8.- YACIMIENTOS DE MICAS

Las micas son minerales que pertenecen al grupo de los filosilicatos (filos=hoja), están compuestas por silicatos de potasio, aluminio y magnesio con cantidades menores de litio, uranio, cromo y fierro.

El grupo de las micas se encuentra formado primordialmente por 9 especies de las cuales 7 son de interés industrial, como la muscovita, flogopita, vermiculita, lepidolita, biotita, zinnwaldita y roscoelita. La lepidolita y zinnwaldita constituyen las micas de litio y la roscoelita la mica de vanadio.

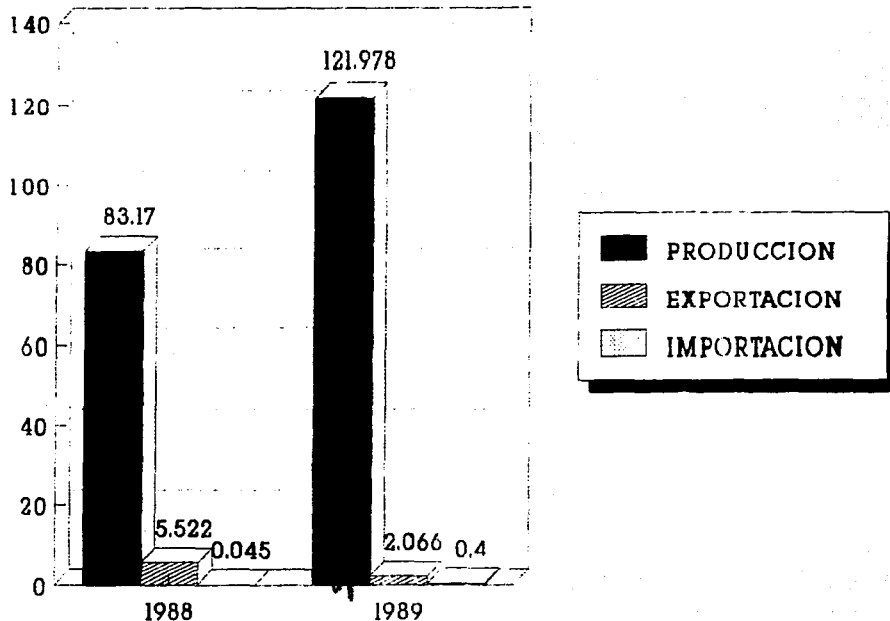
Aunque las micas son minerales comunes en las rocas ígneas y metamórficas, la mayoría de las veces no forman yacimientos de interés económico, ya que el tamaño de las hojas no es suficiente para su utilización en la industria. Por lo que los principales yacimientos de micas se encuentran en ambientes pegmatíticos.

FIG. 5

PRODUCCION DE FELDESPATO EN MEXICO

(DATOS DE PRODUCCION, EXPORTACION E IMPORTACION)

TONELADAS (MILES)



FUENTE: Secretaría de comercio y fomento industrial, 1988

ENERO 1993

Localidades:

Los principales países productores de micas, por orden de importancia son India, Brasil, E.U. También en Argentina, en la Sierra de las Pampeanas, donde las pegmatitas zonadas se originan por la cristalización de fluidos magmáticos residuales durante el proceso genético.

Cantidades pequeñas son explotadas en Canadá, Madagascar, Perú, Bolivia, Australia, Rumania, Noruega, España, Portugal y México (estado de Oaxaca)(Fig. No. 6).

USOS:

La muscovita se utiliza en la industria electrónica para la fabricación de aisladores para motores, generadores y transformadores así como dieléctricos en capacitores.

La flogopita no tiene propiedad dieléctrica por lo que se utiliza como aislador, algunas micas se utilizan en la industria de la pintura.

3.5.1.9.- YACIMIENTOS DE LITIO

La espodumena es el principal mineral de donde se extrae el litio, aunque existen algunos otros como la eucryptita (Li AlSiO_4), petalita ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) y algunas veces se extrae también de la lepidolita (mica de litio) que es también utilizada para la fabricación de vidrios especiales (Fig. No. 7).

La espodumena aparece generalmente en pegmatitas graníticas en prismas, caracterizados por su gran longitud y de sección cuadrada.

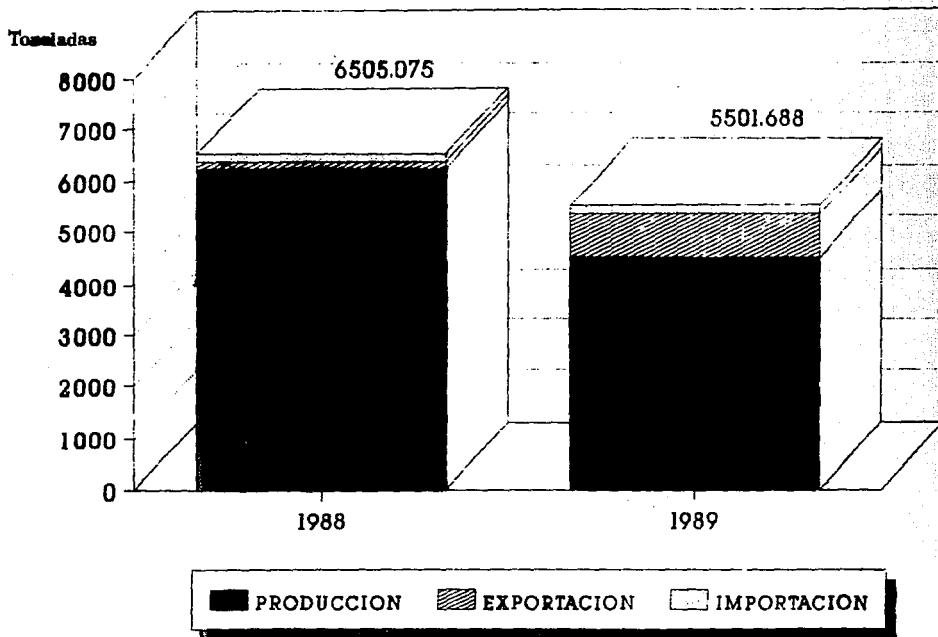
La mayoría de los minerales de litio se encuentran alojados en pegmatitas graníticas ocupando por lo general la posición central de los cuerpos. Se localizan principalmente en terrenos metamórficos en facies de anfibolita entre temperaturas de 400° a 650° C y a una presión de 1.5 a 3.5 kbar.

Producción:

Las reservas de litio en 1985 ascendieron a 900,000 millones de toneladas sin contar la ex-URRS y China. Pero tal vez la ex-URRS constituya el segundo productor más grande de productos químicos de litio. (Fig. No. 8).

FIG. 6

PRODUCCION EN MEXICO DE MICA (DATOS DE PRODUCCION, EXPORTACION, IMPORTACION)

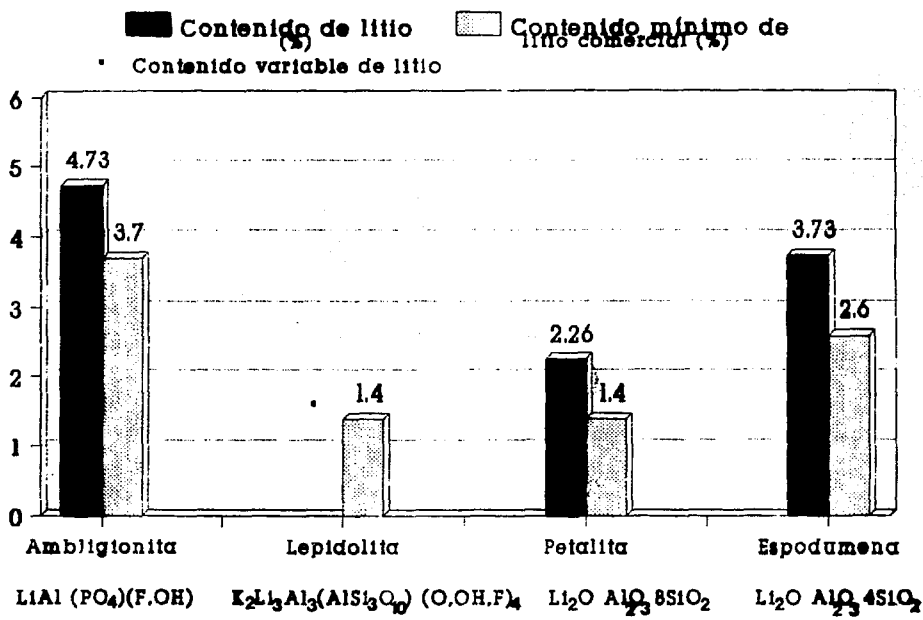


FUENTE:Secretaría de comercio y fomento industrial, 1988

ENERO 1993

FIG.7

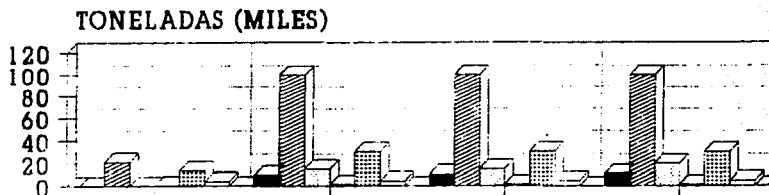
PRINCIPALES MINERALES DE LITIO Y SU CONTENIDO (%)



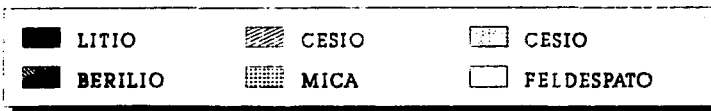
ENERO 1983

FIG. 8

PRODUCCION MUNDIAL DE Li,Cs,Be,MICA Y FELDESPATO



| | 1983 | 1983 | c | 1984 | c | 1990 | ce |
|------------|-------|------|---|------|---|------|----|
| LITIO | 0 | 9.3 | | 10.6 | | 10.8 | |
| CESIO + | 21 | 100 | | 100 | | 100 | |
| CESIO ++ | 0 | 15 | | 15 | | 20 | |
| BERILIO | 0.191 | 1.3 | | 1.3 | | 1.5 | |
| MICA | 13.7 | 30.2 | | 30.2 | | 30.2 | |
| FELDESPATO | 3.878 | 4.4 | | 4.4 | | 4.7 | |



+) Polucita ++) Metales y compuestos c)Capacidad ce) Capacidad estimada

Fuente: Bureau of Mines Bulletin 675

ENERO 1993

Localidades:

E.U., Zimbabwe, China, Canadá. Cabe destacar por otra parte, la existencia de yacimientos de litio en salmueras en Chile y Bolivia.

USOS:

Los usos del litio pueden ser agrupados en tres formas:

- Concentrado: En la industria del vidrio, cerámicas y porcelanas.
- Metal: Para la manufactura de salinos mezclados con cloruros de potasio y litio mediante electrólisis.
- Compuestos químicos: En carbonatos de litio, utilizados en la cerámica; en hidróxidos de litio, utilizados en baterías alcalinas y cloruros de litio para sistemas de refrigeración.

El litio es el único metal más ligero que el agua.

En la actualidad el litio ha comenzado a tomar un lugar importante en el mercado, utilizándose como materia prima en la fabricación de pilas eléctricas de larga duración, en la producción de energía de difusión y aleaciones.

3.5.1.10.- CESIO, RUBIDIO Y BERILIO.

El principal mineral de cesio es la polucita $(Cs,Na)_2Al_2Si_2O_{12} \cdot H_2O$ que frecuentemente se encuentra en pegmatitas graníticas. Las aplicaciones del cesio en la industria ha sido un poco reducida debido a su alto costo de procesamiento. Sin embargo, todavía se utiliza en la industria farmacéutica y en investigaciones biológicas.

El rubidio se extrae como subproducto de la polucita y también se obtiene en minerales de litio. Posee propiedades semejantes a las del cesio por lo que tiene los mismos usos.

El berilo además de constituir algunas veces gemas, constituye la principal fuente de berilio para su aplicación en reactores nucleares por lo que presenta excelentes perspectivas como metal avanzado en el futuro, también es utilizado en aeronáutica y en la industria de la electrónica.

3.5.1.11.- YACIMIENTOS DE TIERRAS RARAS.

Las pegmatitas graníticas constituyen yacimientos de tierras raras, presentándose principalmente en complejos graníticos-metamórficos de alta temperatura con facies de granulita. Los minerales más comunes en estos ambientes son: allanita, fergusonita, monacita, betafita y uraninita.

Las pegmatitas de tierras raras en México se encuentran localizadas principalmente en el área de Telixtlahuaca, Oax. Hoy se conocen mas de 35 pegmatitas con concentraciones considerables de tierras raras, entre las cuales se encuentran: " El Muerto, La Unión, Santa Ana, Inutuchi, El Desengaño, La Joya, La Crisis", etc.

El tamaño de dichas pegmatitas es variable, siendo "El Muerto" la de mayor tamaño (hasta 80 m de largo y 30 m de profundidad). En este caso la relación de la pegmatita con la roca encajonante es discordante y entre los minerales radioactivos presentes se tienen a la allanita $(\text{Ce,Ca,Y})_2(\text{Al,Fe}^{+2},\text{Fe}^{+3})_3(\text{SiO}_4)(\text{OH})$, betafita $(\text{Ca,Na,U})_2(\text{Ti,Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{OH})$, fergusonita $(\text{Ce,La,Nd})\text{NbO}_6$, samarsquita $(\text{Y,Ce,U,Fe}^{+3})_3(\text{Nb,Ta,Ti})_3\text{O}_{16}$, monacita $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$ y autunita $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Debido a que las perspectivas de las tierras raras para el futuro son favorables, dichas pegmatitas pueden llegar a constituir yacimientos de considerable importancia.

USOS:

- Torio

El torio 232 es bombardeado lentamente con neutrones dentro de reactores para crear torio 233 fisionable y así constituir un combustible de esencial importancia para celdas nucleares.

El torio también se utiliza en pequeñas cantidades en metales como el litio para aumentar la resistencia a la corrosión.

- Oxidos de itrio y torio

Se utilizan en lámparas incandescentes de alta intensidad.

El itrio, cerio y samario junto con el cobalto constituyen materias primas importantes para la fabricación de imanes.

Los cloruros de tierras raras, particularmente de lantano y neodimio son usados en la fabricación de catalizadores para la separación del petróleo.

Debido probablemente a que el lantano en el futuro podrá sustituir al platino utilizado en los sistemas de control de emisión de automóviles, el mercado incrementará la demanda de tierras raras.

4.- LOS YACIMIENTOS PEGMATITICOS DE ZIMATLAN, ESTADO DE OAXACA.

4.1.- ANTECEDENTES

Las pegmatitas del Complejo Oaxaqueño fueron inicialmente estudiadas por Aguilera y Ordoñez (1896). En 1929, y publicado hasta 1946, Barrera realiza un estudio de las rocas metamórficas ubicadas entre el Cañón del Tomellín y Miahuatlán, Oaxaca (Contrera-Hernández, 1978); Barrera menciona la presencia de mármol cipolino, piroxenitas y pegmatitas que siguen el patrón de foliación de los gneises (por lo general N-NW) constituidos por cuarzo, feldespatos y micas, así como de escapolita, calcita y apatita.

Para mediados de los 40's, diversas pegmatitas de la parte central del estado de Oaxaca se explotaban para la extracción de feldespatos y micas. Para estos mismos años se descubrieron minerales altamente radioactivos en varias pegmatitas y para los 50's se trató de cuantificar los volúmenes y leyes de minerales radioactivos. Sin embargo, durante estos años no se publicó nada al respecto.

Posteriormente Martínez-Bermúdez (1955), publicó un trabajo relacionado con la descripción de las pegmatitas de Telixtlahuaca, Oax. y en 1958 Antúnez-Echegaray publicaron un estudio donde describe algunas pegmatitas ubicadas en la parte central de Oaxaca (Fries y Schmitter, 1962).

Para finales de los 50's, Schmitter lleva a cabo el estudio de pegmatitas de las cuales obtuvo minerales como zircones y micas para la determinación de edades en pegmatitas tales como La Panchita, Área de La Joya, El área de Santa Inés Zaragoza hacia el suroeste de La Joya.

De igual manera, Fries (1962) y Rincón-Orta (1965) publican la determinación de edades radiométricas provenientes de diversos minerales de ambientes pegmatíticos, utilizando los métodos Pb-alfa, K-Ar y Rb-Sr.

Durante la década de 1970 continúan las publicaciones de algunos trabajos de Fries, Anderson y Silver (1971) donde reportan edades de 950 a 1200 m.a., obtenidas a partir de zircones y biotitas.

Durante el período 1980-82, el Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.) llevó a cabo la búsqueda de yacimientos de litio alojados en pegmatitas oaxaqueñas, sin haberse publicado los resultados obtenidos.

De las referencias que mencionan pegmatitas de la parte central de Oaxaca así como de muestras recolectadas en dichas localidades, se han reconocido las siguientes especies mineralógicas:

Tabla 2

| | | | |
|----------|--------------|--------------|---------------|
| Allanita | Clinozoisita | Grafito | Oligoclasa |
| Apatita | Columbita | Heulandita | Petchblendita |
| Augita | Cuarzo | Hornblendita | Rutilo |
| Autunita | Escapolita | Ilmenita | Samarskita |
| Betafita | Fergusonita | Magnetita | Uraninita |
| Biotita | Flogopita | Monacita | Uranotorita |
| Calcita | Fluorita | Muscovita | Zircón |

4.2.-GEOLOGIA DEL AREA DE ZIMATLAN, OAXACA.

En el área de Zimatlán, Oaxaca afloran rocas metamórficas, ígneas (intrusivas y extrusivas) y sedimentarias.

El Precámbrico en el área de Zimatlán, Oaxaca se encuentra ampliamente distribuido para ocupar aproximadamente el 40% de dicha área. Aflora en forma oblonga formando una franja orientada NW-SE y en pequeños parches aislados.

La litología del Complejo Oaxaqueño en el área de Zimatlán se compone de una gran diversidad de rocas metamórficas entre las cuales se pueden mencionar los gneises cuarzo-feldespáticos, las granulitas básicas (gneises de diópsida, hornblendita y granate), calsilicatas, anfíbolitas y mármoles de diópsida-calcita-flogopita.

Los gneises de diópsida y hornblendita presentan textura granoblástica con ligera lineación. Intercercidos con la diópsida y hornblendita aparecen cristales de biotita, andesina, magnetita y apatita.

Los gneises cuarzo-feldespáticos que afloran en gran parte del área y particularmente en La Panchita, se encuentran en forma de bandas o lentes dentro de las rocas gneisicas en general. Por lo general se componen principalmente de feldespatos potásicos (ortoclasa) de color rosado y cuarzo blanco; presentan una textura fuertemente gneisica y un bandeamiento con orientación de NW 30-50 SE con echados al W, algunas veces presentan lentes de cuarzo u ortoclasa de hasta 1 m encajonados en el gneis.

Las anfibolitas exhiben textura granoblástica y pueden estar constituidas exclusivamente por hornblenda (hornblenditas) y cantidades menores de magnetita y apatita.

El mármol constituye importantes afloramientos dentro del área de Zimatlán, Oax., por lo general intercalados entre los gneises o algunas veces intrusionando a estos últimos. Se encuentran constituidos por calcita, diópsida, esfena, apatita, dolomita, wollastonita y cuarzo principalmente.

Los gneises de calcosilicatos muestran un marcado bandeamiento y presentan una asociación mineralógica característica: diópsida-escapolita-esfena.

Las rocas sedimentarias más antiguas que afloran en el área corresponden a la Formación Jaltepetongo de edad Cretácica Inferior constituida principalmente por lutitas y areniscas. A esta secuencia clástica le sigue un paquete formado por calizas y dolomías de edad Cretácica Inferior y de facies de plataforma, representadas por la Formación Teposcula y la Facie Yushe, ésta última constituida por depósitos carbonatados de baja energía. Posteriormente y de edad Cretácica Superior aparece la Formación Yucunama compuesta por sedimentos calcáreo-terrágenos; sobreyaciendo a esta secuencia de sedimentos marinos, aparecen rocas clásticas continentales o bien volcánicas de edad terciaria que conforman las Formaciones Sola de Vega (nombre informal propuesto por PEMEX) y Tamazulapa respectivamente (Ruíz-Marin y Hernández, 1988). Ocasionalmente se llegan a presentar algunos cuerpos que intrusionan al Complejo Oaxaqueno de composición granítica y granodiorítica (Plano final).

4.3.- FORMA Y DIMENSIONES

En el área de estudio las pegmatitas son fácilmente observables, debido a que se conocen desde hace muchos años, además de que gran cantidad de éstas presentan socavones, catas o pequeñas obras mineras utilizadas para la exploración y/o explotación de diversas materias primas (mica, titanita) de uso industrial y estratégico.

Existen algunos otros cuerpos pegmatíticos que no presentan desarrollos mineros. Sin embargo, se reconocen fácilmente por la diferencia de intemperismo, color y rasgos superficiales que contrastan con la roca encajonante, así como la presencia de abundante cuarzo, feldespatos y micas. Cuando los fragmentos de cuarzo son abundantes, se forman manchas blancas que pueden ser distinguidas a lo lejos, ya que este mineral destaca de la roca notoriamente alterada.

Las pegmatitas comúnmente se presentan como cuerpos alargados y lenticulares, generalmente paralelos al bandeamiento de los gneises cuarzo-feldespáticos.

Algunas veces llegan a presentar ramificaciones concordantes y discordantes al bandeamiento. Los cuerpos que afloran en el área de estudio varían ampliamente de tamaño, desde algunos centímetros hasta 20 m de largo y 10 m de espesor.

Dentro del área de Zimatlán se encuentra también la pegmatita "La Ofelia", localizada al oeste del poblado El Trapiche. Dicha pegmatita presenta una gran dimensión, pero debido a su diferencia en tanto a mineralogía y a sus rasgos estructurales, comparado con el resto de las pegmatitas, no es considerada en el presente trabajo.

4.4.- ESTRUCTURA INTERNA

La mayoría de las pegmatitas que afloran en área de estudio son clasificadas como pegmatitas simples u homogéneas de origen metamórfico, las cuales no manifiestan un zoneamiento definido y están constituidas por feldespatos, cuarzo y micas con algunos minerales accesorios como allanita y otros minerales radioactivos tales como fergusonita y betafita.

El feldespato potásico (ortoclasa y microclina), se presenta como cristales megascópicos subedrales de color blanco a amarillo claro y de tamaños muy variables, alcanzando hasta 30 cm de longitud.

El cuarzo es de color blanco apareciendo en cristales anedrales y subedrales de hasta 30 cm. La mica contenida en las pegmatitas pertenece en gran parte a las especies de biotita y flogopita. Se les encuentra en cristales subedrales y eudrales de hábito tabular con dimensiones de hasta 1 m de longitud y por lo general están asociados a feldespatos y cuarzo.

Alteraciones:

Resulta común encontrar una pequeña zona de "alteración" localizada en los bordes de la pegmatita y la roca encajonante. Esta pequeña zona se encuentra formada por pequeños cristales de mica y arcillas. Sin embargo, dichos minerales parecen haberse formado al culminar la evolución del magma, por lo que forma parte de la pegmatita.

4.5.- GENESIS DE LAS PEGMATITAS

Las pegmatitas localizadas en la región de Zimatlán parecen haberse formado a partir de la anatexis de los paragneises que produjeron un magma, el cual alcanzo a conservar su estado sólido (plástico) en condiciones de P H₂O alta y P CO₂ baja.

De esta manera se formaron migmatitas de inyección que se emplazaron dentro de los gneises, formando cuerpos pegmatíticos alargados y concordantes al bandeamiento.

4.6.- EDAD

En lo que respecta a la edad, las pegmatitas se formaron hacia finales del Precámbrico Tardío (900-1100 m.a., según edades radiométricas obtenidas a partir de minerales recolectados en las pegmatitas, Fries y Rincón-Orta, 1974; tabla No. 1) durante el cual la roca preexistente sufrió un período de anatexis.

5.- ESTUDIO MINERALOGICO DE LAS PEGMATITAS DEL AREA DE ZIMATLAN,OAX.

5.1.- SITUACIÓN GEOGRAFICA

En este trabajo se tomó a La Panchita, en Sta. Marfa Ayoquesco, Oax. como el yacimiento característico de este tipo de pegmatitas.

El acceso a este cuerpo se realiza por la carretera No. 131 hasta el kilómetro 43 en donde existe un camino de brecha que se abre hacia el poniente, con una distancia aproximada de 300 m y culmina en las faldas de la Loma Guelbique en donde se encuentra la pegmatita aproximadamente a 400 m al poniente del final de la brecha (Plano final).

Geográficamente la pegmatita La Panchita se encuentra ubicada en la intersección de las siguiente coordenadas:

Latitud Norte 16° 38' y longitud oeste 96° 52'.

5.2.-RELACIONES DE CAMPO

El cuerpo pegmatítico de La Panchita así como de algunos otros cuerpos localizados al SE del mismo, se encuentran alojados dentro de una roca verde de tipo ultramáfico, clasificada al microscopio petrográfico como una piroxenita, que está constituida por augita, aegirina, hedenbergita y diópsida con algunos accesorios como biotita y minerales opacos (Muestras LH-8 y 10). La textura presente en la roca corresponde a holocristalina-hipidiomórfica.

La forma que presenta el cuerpo piroxenítico corresponde con un manto que se encuentra intrusionando al gneis cuarzo-feldespático (Muestra LH-1,2,3,4,5,6 y 12) a lo largo de cientos de metros, por lo general conservando un paralelismo (NW-SE) con respecto al bandeamiento de dicha roca metamórfica, el manto piroxenítico presenta un contacto bien marcado con dicho gneis (Fig. No. 9,10 y 11); en algunos lugares el contacto presenta forma irregular y algunas veces ramificado en forma de pequeños diques y vetillas, tal como sucede al NW de La Panchita (Foto 1).

Los espesores del manto varían ampliamente desde algunos centímetros hasta varios metros.

IMAGEN ESTEREOGRAFICA DE LA PANCHITA, OAX

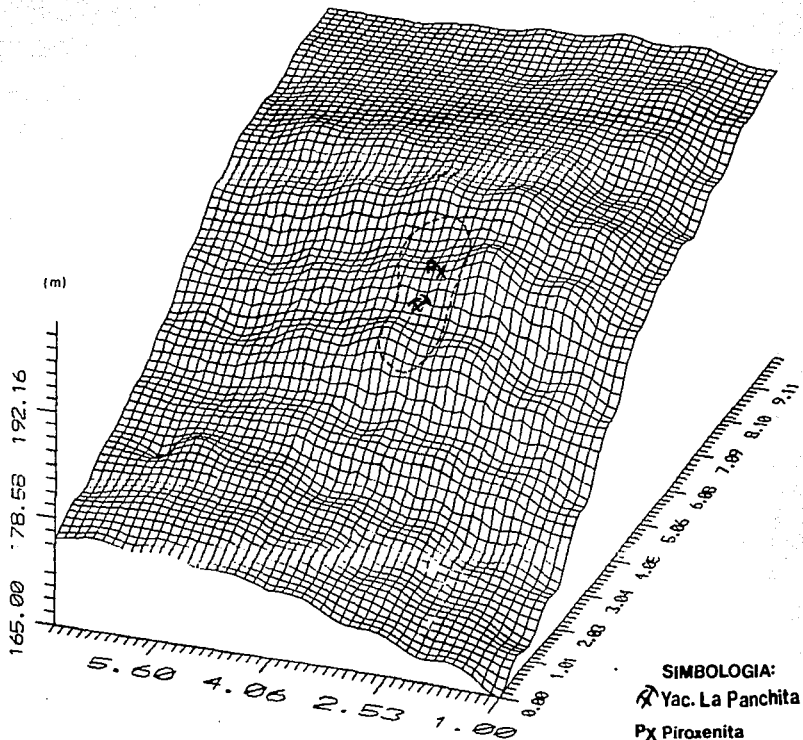
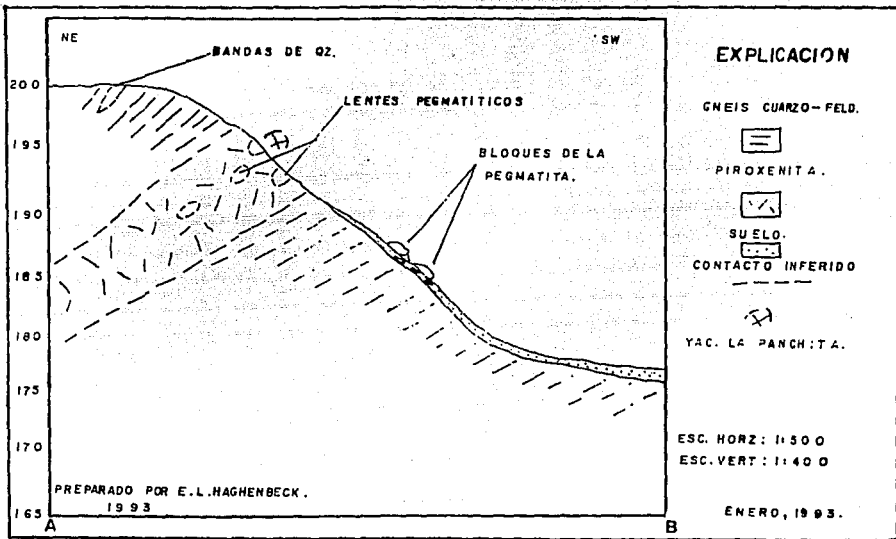


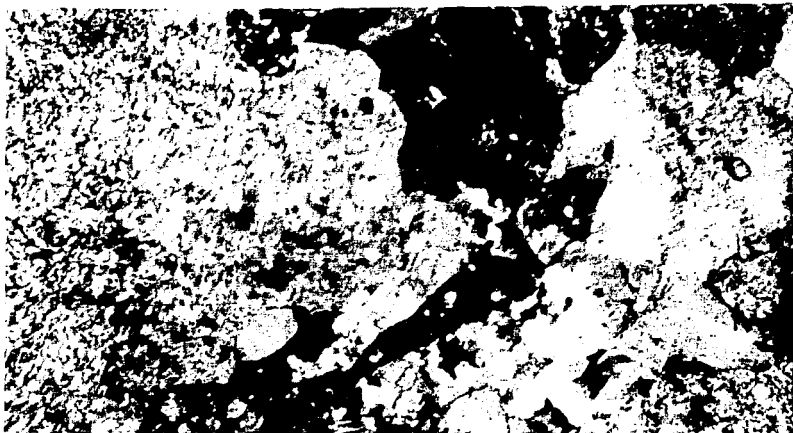
FIG.10

FIG.11



SECCION NW-SE DEL YACIMIENTO "LA PANCHITA" EN AYOQUESCO, OAX.

Dentro del socavón de La Panchita se localizaron algunos xenolitos del gneis que se encuentran embebidos en la piroxenita. En este se obtuvieron y describieron diversas muestras, que permitieron descartar el fenómeno de zonificación. La pegmatita aparece como una serie de lentes de diversos tamaños (0.1-2m) alojados dentro del manto piroxenítico, en cavidades que dan lugar a crecimientos excepcionales de cristales de hasta 50 cm de longitud, constituidos por augita, titanita, escapolita, zircón, apatita, etc. (Fig. No. 12 y 13).



FOTOMICROGRAFIA No. 1.- Intrusión de la piroxenita dentro del gneis cuarzo-feld. (40X)

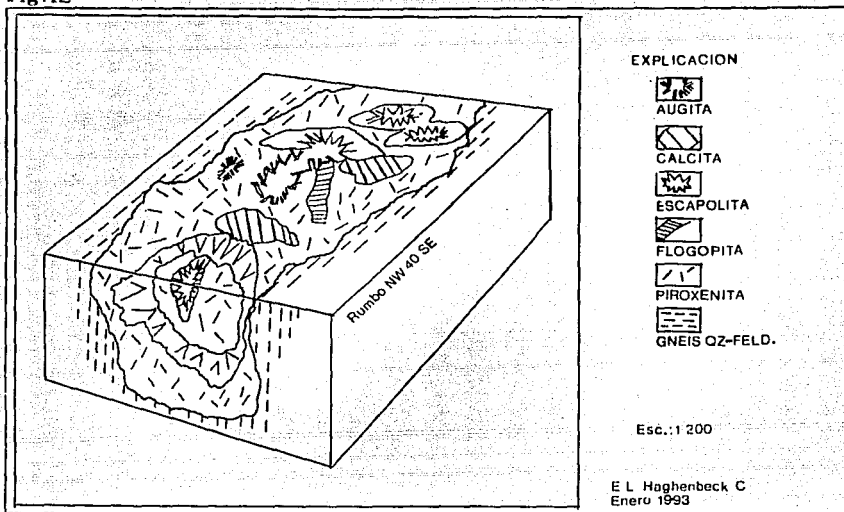
Tanto la piroxenita como la misma pegmatita no presentan deformación aparente.

La piroxenita probablemente representa rocas ultramáficas emplazadas dentro de los metasedimentos.

5.3.- GENESIS

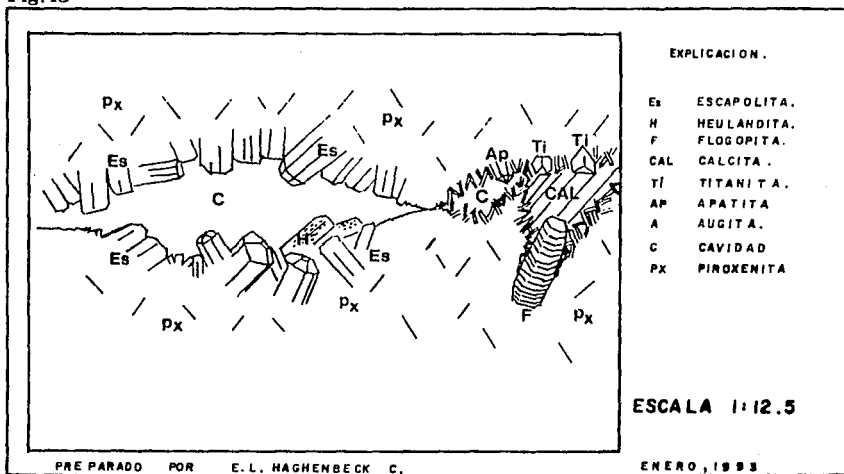
A partir de las observaciones realizadas en los afloramientos localizados al sur de San Pablo Huixtepec, se puede reconocer la presencia de mármoles de color blanco fuertemente deformados e intercalados en gneises cuarzo-feldespáticos a los que Ordoñez (1906) denominó "cipolino". Se trata de un mármol que consiste en un agregado de grano medio compuesto por granos generalmente redondeados de diópsida de color verde, cuarzo, titanita, apatita (color azul, calidad gema) embebidos en calcita y wollastonita; esta asociación es un reflejo del metamorfismo en donde la presión de los fluidos fue considerable (Muestra LH-7).

Fig. 12



BLOQUE DIAGRAMATICO DE LA PANCHITA, OAX.

Fig. 13



SECCION IDEALIZADA DE LOS LENTES
EN LA PANCHITA EN AYOQUESCO, OAX.

Esta última reacción se realiza a altas temperaturas y bajas presiones en un proceso de descarbonización y enriquecimiento de CO_2 en el sistema.

Dentro de los mármoles, algunas veces aparecen lentes de wollastonita con cuarzo en el núcleo, los cuales se formaron probablemente a partir de calizas impuras con lentes de pedernal. Dichos lentes de wollastonita se formaron posiblemente al final de la deformación, en condiciones de alta temperatura ($< 600^\circ\text{C}$) y presión baja (2 kbar) con un considerable contenido de CO_2 y H_2O . Estas transformaciones estuvieron controladas por la reacción:

$\text{Cal} + \text{cuarzo} = \text{Woll} + \text{CO}_2$ (Grajales Nishimura y Murillo, 1991)

El mármol aparece también aproximadamente a 800 m al noroeste de La Panchita, en donde aparece en grandes afloramientos, muchos de los cuales presentan un carácter intrusivo dentro de los paragneises, debido a la naturaleza anatexítica que los obligó a fluir dentro de la roca encajonante. El mármol presenta un tamaño de grano mucho mayor (cristales de más de 1 cm) por lo que probablemente representa la recrystalización del mismo, al culminar el fenómeno anatexítico.

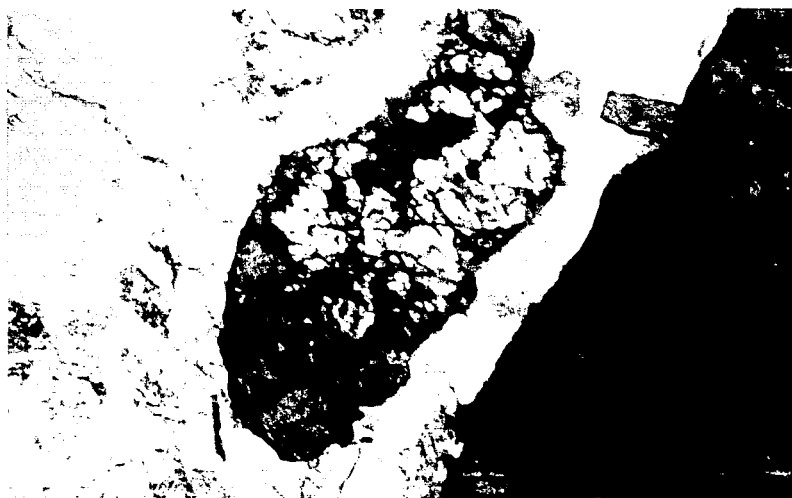
De esta manera se originó una fase fluida que posteriormente se emplazó en la piroxenita, llevándose a cabo diversas reacciones que dan como resultado la cristalización de nuevos minerales tales como la escapolita, apatita, etc. (Foto 2).



FOTOMICROGRAFIA No. 2.- Intrusión del mármol dentro de la piroxenita

De esta manera se produce un reemplazamiento en un período metasomático progresivo en el cual el mineral preexistente es disuelto y reemplazado posteriormente por un nuevo mineral. por lo que el proceso es tan prolongado que presenta una textura pegmatítica.

Probablemente, el origen de las cavidades alojadas en la piroxenita fueron producidas por la presión que ejercieron los gases, provocando la creación de espacios abiertos en forma de lentes ideales para la cristalización de nuevos minerales (Fig. No. 12 y 13).



FOTOGRAFIA No. 3.- Reemplazamiento de la augita por titanita.

Durante este proceso, existió el enriquecimiento de elementos tales como el titanio que se concentró a partir de la reacción de la fase fluida con la piroxenita, provocando que la titanita sustituyera a la augita (Foto 3 y muestra LH-7).

Augita(rica en titanio) + calcita = titanita

Dicha reacción representa al metamorfismo retrogrado, cabe mencionar también que el Ti está siempre presente en la facies de granulita en diversos minerales.

La movilización de los mármoles dentro de los gneises cuarzo-feldespáticos, provocó el enriquecimiento de los elementos del feldespato potásico al fluido, para poder así precipitar flogopita y escapolita.

Flogopita

$3 \text{ dolomita} + 1 \text{ feld. k} + \text{H}_2\text{O} = 1 \text{ flogopita} + 3 \text{ Calcita} + 3 \text{ CO}_2$

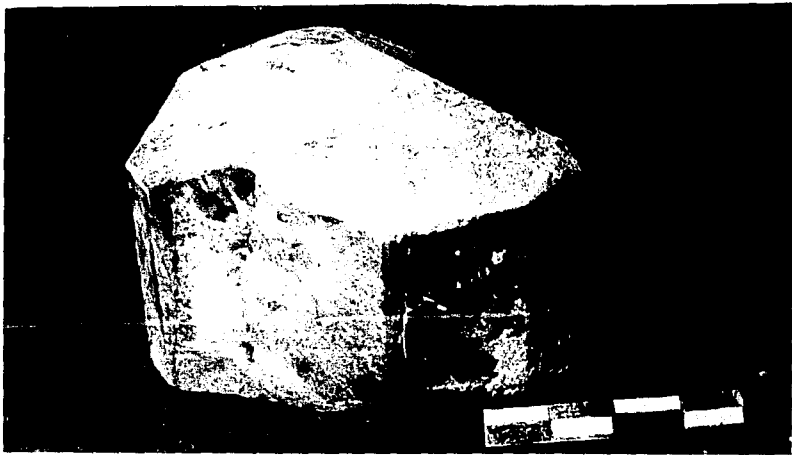
(Turner, 1968)

La flogopita por lo general, se presenta intercrecida con la calcita rosada.

Escapolita

componentes volátiles + 3 anortita + calcita = Meionita

(Zussman, 1963)



FOTOGRAFIA No. 4 .- Cristal de escapolita recolectado en "La Panchita", Oax.

La escapolita aparece como resultado del mismo proceso metamórfico junto con la introducción de componentes volátiles tales como Cl, CO₂, SO₂, que posteriormente entran a la estructura cristalina de este mineral. Estos componentes provienen de rocas evaporíticas.

La augita representa solamente una neocrystalización de la piroxenita durante el proceso metamórfico y la apatita precipita como tal junto con la calcita o augita.

Cabe mencionar que la escapolita es un mineral típico de metamorfismo en condiciones relativamente bajas de P H₂O y altas de P CO₂, P Cl₂ y P SO₂, a temperaturas relativamente bajas (Shaw, 1960).

La heulandita se presenta al final del proceso metamórfico, por lo general cristalizando en las escapolitas más jóvenes en un ambiente rico en H₂O.

A partir de la mineralogía anteriormente mencionada, es posible inferir la predominancia de un ambiente rico en calcio en el cual se formó el cuerpo pegmatítico de La Panchita, por lo que comprueba la introducción de los mármoles dentro del manto piroxenítico, produciendo un proceso de reemplazamiento metamórfico dentro de la piroxenita.

La existencia de pequeñas cantidades de pirita indican la presencia de azufre dentro del sistema.

De esta manera, La Panchita en Ayoquesco, Oax., no constituye una pegmatita desde el punto de vista genético, sino sólo textural; ya que constituye un calsilicita de reemplazamiento metamórfico con textura pegmatítica.

5.3.1.- PARAGENESIS:

| | Calcita * | Apatita | Heulandita |
|------------|-----------|---------|------------|
| Escapolita | | | ————— |
| Zircón | ————— | | |
| Flogopita | | ————— | ----- |
| Calcita | ————— | ----- | ————— |
| Titanita | | ————— | |
| Apatita | | ————— | |
| Heulandita | | | ————— |
| Augita | | ----- | ----- |

Nota(*): Las tres etapas en la evolución paragenética, son nombradas mediante el mineral característico en cada una de ellas; siendo el 1^{er} etapa calcita en donde el contenido de CO₂ es alto y posteriormente con apatita y heulandita, en donde se incrementa considerablemente el contenido de H₂O.

5.4.- EDAD

Como ya se indicó, las edades obtenidas por Fries y Ricón-Orta (1974), indican que la formación de la pegmatita "La Panchita" ocurrió en el Precámbrico Tardío, tiempo en que la anatexis de mármoles y gneises fue frecuente.

Cabe mencionar que la escapolita es uno de los minerales más comunes en los yacimientos de flogopita y apatita en el área de Lake Clear - Kuehl Lake, Ontario y Lievre river, Quebec, los cuales han sido extensivamente minados y en donde aparecen excelentes cristales de apatita, zircón y titanita (Grice y Girault, 1982 y Spence, 1930). La escapolita de estos yacimientos parecen tener la misma génesis que La Panchita (reemplazamiento metasomático relacionado con la intrusión de los mármoles dentro del cuerpo piroxenítico).

Es posible inferir que la existencia de La Panchita en el Complejo Oaxaqueño constituye otra evidencia para poder correlacionar la Provincia Grenville del Noreste de América del Norte con el gneis del Novillo (Cañón de la Peregrina, al poniente de Cd. Victoria, Tamulipas), gneis Huiznopala (Molango, Hgo.) y con el propio Complejo Oaxaqueño.

5.5.- MINERALOGIA

5.5.1.- APATITA

La apatita se encuentra en cristales prismáticos individuales con dimensiones que van desde menos de 1 cm hasta 20 cm de longitud y 10 cm de diámetro. La apatita en La Panchita se presenta de color verde claro con lustre subresinoso y por lo general aparece en formas cristalográficas sencillas representadas por prismas de primer orden $m [10\bar{1}0]$ o de segundo orden $a [11\bar{2}0]$ con dipirámides de 1^{er} y 2^{do} orden (Fig. 14 y 15).

La apatita en dicho cuerpo pegmatítico se encuentra ampliamente distribuida sin encontrarse en algún lugar en particular.

Por medio de difracción de rayos X se identificó como fluorapatita.

Fórmula: $\text{Ca} (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH}) (\text{PO}_3)_6$, Sistema: Exagonal

Crucero: Pobre, pero algunas veces lo presenta paralelo a $c [0001]$ y $m [1010]$.

Dureza = 5

Asociación característica: Apatita-calcita

Abundancia: escaso

Elementos identificados mediante fluorescencia de rayos X: Th, La, Sr, Ce, Y, P y Ca.

Mineralogía Óptica

Muestra: LH/15

Color: Incolora

Forma: Cristales euedrales

Crucero: No se observa

Pleocroismo: Débil

Relieve: Moderado

Birrefringencia: Débil de 1er. orden

Extinción: Paralela

Fig. Interferencia: Uniaxial (-)

CRISTALOGRAFIA

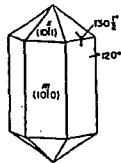


Fig. 14

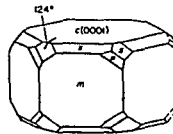


Fig. 15

5.5.2.- AUGITA

La augita constituye uno de los miembros de la serie augita-diópsida que representa el extremo de magnesio y calcio, respectivamente. Dentro de esta serie el reemplazamiento $\text{NaFe} = \text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe})$ es muy frecuente. La augita en la pegmatita se presenta en formas tabulares alargadas con sección rectangular y con longitudes de hasta 20 cm y 10 cm de diámetro, por lo general aparece de color verde oscuro y con lustre opaco.

Las formas más comunes que presenta son:

Prismas de 1er. orden, 2do. orden y pinacoides a[100] y b[010] (Fig. 16, 17 y 18).

Por lo general la augita se presenta en cavidades dentro de la piroxenita o incluidos en calcita.

Algunos cristales de augita se presentan alterados a clorita y limonita. Se utilizaron rayos X como técnica complementaria para la identificación de este mineral.

Por medio de difracción de rayos X se identificó como augita.

Fórmula: $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Al,Si})\text{O}_6]$ Sistema: Monoclínico

Crucero: Paralelo a los prismas $m[110]$ y $c[001]$ para formar un ángulo aproximado de 90° .

Dureza = 6

Asociación característica: Titanita-calcita-augita

Abundancia: Abundante

Elementos identificados mediante fluorescencia de rayos X: Ca, Fe, Ti, Zr, Sr, Mn, Zn y Si.

Mineralogía óptica

Muestra: LH/16, 13 y 14

Color: Incoloro a ligeramente verde

Forma: Cristales eudrales

Crucero: En dos direcciones a 90°

Pleocroísmo: No se observa

Relieve: Alto, $n >$ bálamo

Birrefringencia: Moderada

Extinción: A 45°

Fig. Interferencia: Biáxica (+)

CRISTALOGRAFIA



Fig. 16

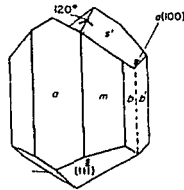


Fig. 17

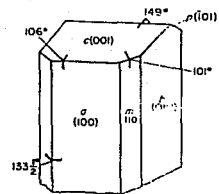


Fig. 18

5.5.3.- CALCITA

La calcita se presenta tanto en La Panchita como en gran cantidad de afloramientos ubicados al NW del socavón de La Panchita.

Por lo general se presenta en romboedros $[10\bar{1}1]$ (productos de crucero) de hasta 20 cm de lado con un crucero muy bien marcado en tres direcciones, de color rosado, aunque algunas veces se encuentra de color blanco (Fig. 19).

Por medio de difracción de rayos x se identificó como calcita.

Fórmula: CaCO_3

Sistema: trigonal

Crucero: Muy bien marcado

Dureza: 3

Asociación característica: Calcita-augita-flogopita

Abundancia: Abundante

Mineralogía óptica

Muestra: LH/17

Color: Incolora

Forma: Cristales euedrales

Crucero: Perfecto, romboédrico

Relieve: Alto

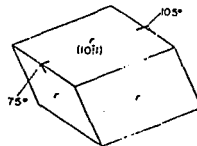
Birrefringencia: Alta

Fig. Interferencia: Uniáxico (+)

Extinción: Simétrica con respecto a las trazas del crucero

CRISTALOGRAFIA

Fig. 19



5.5.4.- ESCAPOLITA

La escapolita junto con la calcita, representa los minerales más comunes en La Panchita, apareciendo a lo largo de todo el cuerpo.

Algunas veces aparecen en cavidades que contienen cristales de hasta 35 cm de longitud y 15 cm de diámetro. Los cristales son de color crema con un ligero tinte verdoso (Foto 4).

Este mineral constituye una serie en la cual aparece un extremo sódico y uno cálcico para formar la marialita y meionita, respectivamente.

Cabe mencionar que la densidad se incrementa con el porcentaje de meionita, por lo que cumple una variación lineal entre la densidad y la composición; al igual que con el índice de refracción que aumenta con el porcentaje de meionita. Sin embargo, es difícil obtener resultados confiables (Shaw, J., 1960).

La formación de escapolita se encuentra asociada a la introducción de sodio, calcio y aniones sulfato en condiciones de bajo P H₂O y relativamente alto P CO₂ durante un proceso metamórfico.

Las formas más comunes en que cristaliza la meionita en La Panchita son prismas y dipirámides de 1er. y 2do. orden con pinacoides (Fig. 20-26).

Algunas veces se presenta con pequeños cubos de piritita (2mm).

Fórmula: $3 \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_4\text{CO}_3\text{SO}_4$

Sistema: Tetragonal

Crucero: Se observa difícilmente, aunque lo presenta algunas veces paralelo a [100] y [110]

Dureza: 5-6

Asociación característica: Escapolita-augita-titanita

Esta asociación también es característica en la Provincia Grenville.

Presenta fluorescencia al aplicarse la luz ultravioleta de color verde.

Por medio de difracción de rayos X se identificó que la especie de escapolita presente en La Panchita es meionita.

Abundancia: Abundante

Mineralogía óptica

Muestra: LH/13 y 14

Color: Incolora

Forma: Cristales euedrales

Crucero: No se observa

Relieve: Muy alto, $n > \text{bálsamo}$

Birrefringencia: Muy alta

Extinción: Paralela

Fig. Interferencia: Uniaxial (-)

Elementos traza identificados mediante fluorescencia de rayos X:

Fe, Ca, Al, K y S.

Las formas más comunes son:

Prismas $[010]$ de 1era. y $[110]$ de 2da. especie

Dipirámides $[011]$ de 1 era. y $[211]$ de 2da. especie y algunas veces pinacoides $[001]$.

CRISTALOGRAFIA

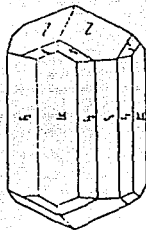


Fig. 20

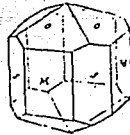


Fig. 21

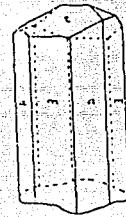


Fig. 22

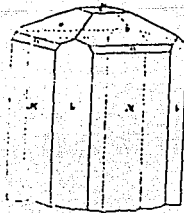


Fig. 23

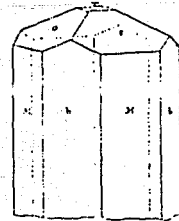


Fig. 24

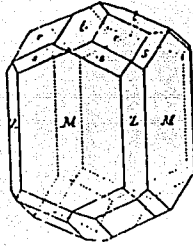


Fig. 25

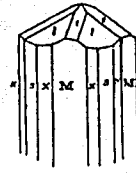


Fig. 26

5.5.5.- TITANITA (Sinónimo = esfena)

Fue determinada por difracción de rayos X. Este mineral se encuentra en cristales aislados asociados generalmente a augita de manera bastante escasa y esparcidos en todo el cuerpo. Los cristales presentan un color pardo con lustre resinoso y un crucero visible, paralelo a [110]. Por lo general se presenta en cristales en forma de cuña o aplanados, las formas más frecuentes son prismas $m[110]$; domos $n[021]$ y $x[101]$ y pinacoides $a[100]$ y $c[001]$ (Fig. 27).

Fórmula: $\text{CaTiO}(\text{SiO}_3)$ Sistema: Monoclínico

Crucero: Bueno, paralelo a $m(110)$

Dureza: 5-5.5

Asociación característica: Titanita-augita

Abundancia: Escasa

Mineralogía óptica

Muestra: LH/13 y 14

Color: Pardo oscuro

Forma: Cristales euedrales

Crucero: Se observa difícilmente en una sola dirección

Relieve: Muy alto

Birrefringencia: Muy alto

Extinción: Simétrica

Fig. de Interferencia: Biáxica (+)

CRISTALOGRAFIA

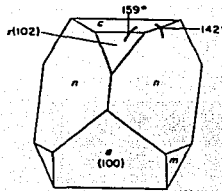


Fig. 27

5.5.6.- HEULANDITA

La heulandita pertenece al amplio grupo de las zeolitas. En La Panchita se encuentra esporádicamente en grupos de cristales de algunos milímetros de longitud y rara vez en cristales individuales, por lo general desarrollados sobre escapolitas jóvenes.

Por lo general, aparece en forma de prismas $m[110]$; pinácoides $b[010]$ y $c[001]$; domos $x[101]$; $t[207]$ y $s[201]$ (Fig. 28 y 29).

Por medio de difracción de rayos X se identificó como heulandita

Fórmula: $(Na,Ca)_2,3Al_3(Al,Si)_7Si_7O_{38} \cdot 12H_2O$ Sistema: Monoclínico

Dureza: 4

Crucero: Muy bueno paralelo a $b[010]$

Asociación característica: Heulandita-escapolita

Abundancia: Muy escasa

Nota: Debido a que se cuentan con sólo algunas muestras de pequeño tamaño no se pudieron realizar láminas delgadas.

CRISTALOGRAFIA

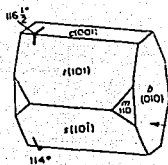


Fig. 28



Fig. 29

5.5.7.- FLOGOPITA

La flogopita representa un mineral de considerable abundancia en la pegmatita formando grandes cristales desarrollados según el eje C (cristalográfico) de hasta 50 cm de longitud. Los cristales de flogopita son por lo general de color ámbar, aunque se llegan a presentar de color negro y amarillo debido al intemperismo que los altera a vermiculitas e illitas.

Las formas más comunes son pinacoides $b[010]$ y $c[001]$ con combinación de prismas (Fig. 30).

Por medio de difracción de rayos X se obtuvo que la mica presente en La Panchita corresponde a la flogopita. Aunque las diferencias con la muscovita son mínimas y estriban solamente en las siguientes características:

| | Muscovita | Flogopita |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Fórmula Química | $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ | $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$ |
| Dureza | 2.8-3.2 | 2.5-3.0 |
| Angulo óptico axial | 50-75 | 5-25 |

Flogopita

Sistema: Monoclínico

Crucero: Perfecto

Dureza: 3 (Incrementándose con el contenido de hierro)

Asociación característica: Flogopita-calcita-augita

Abundancia: Regular

Mineralogía óptica

Muestra: LH/18

Color: Incoloro a pardo claro

Forma: Cristales euedrales

Crucero: Muy bueno en una dirección

Relieve: Moderado, $n >$ bálamo

Birrefringencia: Fuerte

Extinción: Paralela

Fig. de Interferencia: Biáxico (-)

CRISTALOGRAFIA

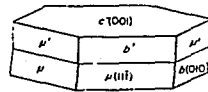


Fig. 30

5.5.8.- ZIRCON

Los cristales de zircón se presentan ampliamente distribuidos pero sin encontrarse en grandes cantidades. Forma cristales individuales de hasta 10 cm, pero por lo general de no más de una pulgada. Los cristales son de color morado a negro con lustre adamantino.

Se presenta en formas muy complicadas compuestas principalmente de combinaciones de prismas de 1er. y 2do. orden con dipirámides de 1er. y 2do. orden y sólo en algunos casos aislados se encontraron maclas (Fig. 31-38).

Según los análisis de fluorescencia de rayos X, se encontró hafnio y torio en cantidades traza, por lo que los cristales de zircón presentan un grado considerable de metamictización, que representa la acumulación de radiación que daña la estructura del cristal causada por el decaimiento radioactivo de las cantidades traza de U y Th que substituyen al zirconio. La metamictización produce cambios importantes en las propiedades físicas de los cristales, incluyendo el decremento de densidad, índice de refracción y birrefringencia (Woodhead, 1991).

Pero, los isótopos radiogénicos U-Th constituyen elementos de gran importancia en geocronología. Se utilizó la técnica de difracción de rayos X.

Fórmula: $Zr SiO_4$ Sistema: Tetragonal

Crucero: Dificil de observar

Dureza: 7.5

Asociación caracterfstica: Zircón-augita

Abundancia: Escaso

Mineralogfa óptica

Muestra:LH/19

Forma: Cristales euedrales

Clivaje: No se observa

Relieve: Muy alto, $n >$ bálsamo

Birrefringencia: Muy alta

Extinción: Paralela

Fig. de Interferencia: Uniaxico (+)

Elementos identificados mediante fluorescencia de rayos X: Th y Hf

CRISTALOGRAFIA:

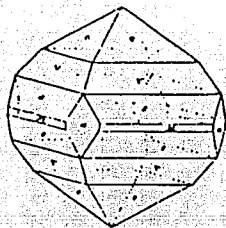


Fig. 31

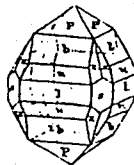


Fig. 32

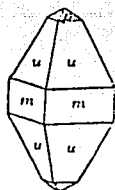


Fig. 33

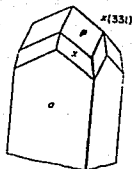


Fig. 34

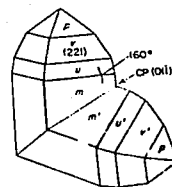


Fig. 35

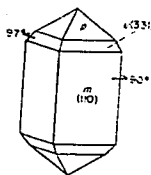


Fig. 36

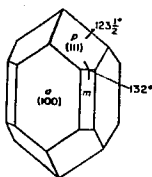


Fig. 37

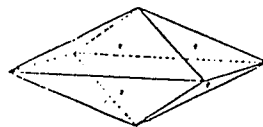


Fig. 38

6.- IMPORTANCIA DE LAS PEGMATITAS MEXICANAS

6.1.- DESCRIPCION GENERAL DE LA IMPORTANCIA DE LAS PEGMATITAS MEXICANAS

Diversas pegmatitas en México se han trabajado desde los años 40's para la explotación de feldespatos y micas. Estas pegmatitas no conforman importantes yacimientos que puedan satisfacer las necesidades industriales en México por lo que es necesario importar volúmenes considerables de diversos elementos y minerales de origen pegmatítico, como litio, berilio, feldespatos, micas y gemas.

Las pegmatitas en México no representan por el momento una parte importante de la actividad minera del país. Las gemas o piedras preciosas que son económicamente importantes en pegmatitas, no se han localizado hasta el momento en pegmatitas mexicanas; más que en sólo algunos casos (Baja California Norte y Sonora).

Sin embargo, existen pegmatitas en México que pueden constituir yacimientos minerales de colección como es el caso de La Panchita donde se han colectado excelentes ejemplares de escapolita, zircón, titanita, apatita y augita, así como muchos otros minerales de buena calidad que aparecen en pegmatitas graníticas dentro del Complejo Oaxaqueño, como allanita, betafita, fergusonita, etc. así como los berilos de Sonora.

Además de la importancia estética y de la extraordinaria riqueza mineralógica de las pegmatitas oaxaqueñas han sido de gran importancia en estudios radiométricos, ya que por medio de zircones se han obtenido diversos fechamientos; por otro lado han contribuido en el estudio de las condiciones de evolución térmica del Complejo Oaxaqueño (por medio de la diferencia de hasta 100 m.a. encontradas entre ellas y los gneises encajonantes), así como el estudio de los procesos geológicos que llevaron a cabo la concentración de minerales, por cristalización diferencial de un magma proveniente de un proceso metamórfico.

Tal vez la región más importante en pegmatitas en México corresponda a las pegmatitas de Telixtlahuaca, Oaxaca. Estas estructuras están encajonadas en gneises cuarzo-feldespáticos y granitos que forman cuerpos intrusivos formados probablemente por anatexis. Cabe mencionar que en esta zona frecuentemente se encuentra a la roca original transformada a migmatitas.

Dentro de esta zona se ubican el grupo La Joya, constituido de pegmatitas simples y complejas (Bazan, 1986). Existen algunas otras complejas poco deformadas y altamente radioactivas como la pegmatita El Muerto y La Unión, localizadas cerca del poblado de Telixtlahuaca.

Las pegmatitas del área de Telixtlahuaca a diferencia de las de Zimatlán, Oax., son cuerpos alargados discordantes al bandeamiento de las rocas metamórficas que se emplazan en sistemas de fracturas o fallas ahora oscurecidas por sistemas nuevos. (Martínez-Bermúdez, 1955).

La mineralogía de las pegmatitas zoneadas de este sector, son feldespatos potásico, cuarzo y micas con cantidades menores de accesorios tales como ilmenita, rutilo y minerales radioactivos como la allanita, betafita y fergusonita.

Martínez-Bermúdez (1955) describe la existencia de cristales anedrales de espodumena muy alterados y presentes en cantidades pequeñas. Sin embargo, es difícil de creer, ya que la espodumena aparece en facies de anfibolita.

Un número importante de pegmatitas en esta área ha sido explotado desde hace muchos años para la producción de micas y feldespatos, aunque en muy pequeñas cantidades.

6.2.- DISTRIBUCION DE LAS PEGMATITAS EN MEXICO

Las pegmatitas en México se encuentran distribuidas en los siguientes cinturones metamórficos:

-Complejo Oaxaqueño (estado de Oaxaca)

Existen gran cantidad de pegmatitas precámbricas que se formaron por cristalización fraccionada o procesos metasomáticos en condiciones de alta presión (5-8 kbar) y temperaturas (700-800°C) formadas junto con el Complejo Oaxaqueño (Dante-Morán, 1986).

Además de las pegmatitas citadas anteriormente existen muchas otras ubicadas dentro del mismo complejo como es el caso de las pegmatitas simples y complejas alojadas en el Grupo El Trapiche, Valdeflores y Tejalapan en el estado de Oaxaca (Bazan, 1986).

-Complejo Acatlán (estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero)

El Complejo Acatlán, de edad Paleozoica Temprana y polimetamórfico, se encuentra constituido en su mayor parte por migmatitas, esquistos, gabros, metasedimentos y rocas ofiolíticas (Ortega-Gutiérrez, 1978); en este mismo dominio se han localizado algunas pegmatitas zoneadas constituidas principalmente de cuarzo, feldespatos potásico, muscovita y turmalina ubicadas en el Granitoide Esperanza y en el stock Totoitepec de tipo simple y muy deformados.

-Complejo Xolapa (estados de Guerrero y Oaxaca)

El Complejo Xolapa de edad desconocida, se encuentra compuesto por rocas metamórficas e ígneas de facies de anfibolita y está conformado por migmatitas, gneises, esquistos y rocas ígneas intrusivas.

Dentro de este complejo se han localizado diversas pegmatitas frecuentemente encajonadas en granitos o gneises. También aparece una zona pegmatítica muy grande, desde Pto. Angel hasta Salina Cruz, Oax. compuesta principalmente por pegmatitas simples (Herrera, 1986).

Cabe mencionar la existencia de cristales excelentes de ortoclasa, cuarzo ahumado, epidota y granate contenidos en pegmatitas graníticas y zoneadas ubicadas en el poblado de Xaltianguis, al norte del Pto. de Acapulco.

De esta manera las pegmatitas del Complejo Xolapa son probablemente de origen anatexítico.

-Rocas precámbricas del estado de Sonora

En esta región el Precámbrico está definido por rocas metamórficas derivadas de rocas ígneas y sedimentarias constituyendo una extensión del zócalo precámbrico que aflora en los E.U. y Canadá. En el estado de Sonora afloran unidades con un rango estratigráfico que varía desde el Precámbrico hasta el Reciente.

Dentro de esta zona, se ha constatado la presencia de abundantes cuerpos pegmatíticos complejos de edad Precámbrica y algunos terciarios en las cercanías de cuerpos graníticos. Por lo general, dichas pegmatitas se encuentran constituidas por cuarzo, feldespato y algunas veces berilo. Estas pegmatitas aparecen sobre todo en el área del macizo intrusivo que comprende la Sierra de Aconchi, entre Nacozari y la Sierra de Oposura (Pedrazzini, 1961).

Los estudios realizados en el estado de Sonora por el Consejo de Recursos Minerales no reportaron la existencia de yacimientos de litio o de algún otro elemento, contenidos en pegmatitas.

-Estado de Baja California Norte

Existen también algunas pegmatitas localizadas en la porción septentrional de Baja California Norte asociadas al batolito californiano mesozoico, pero de mineralogía sencilla y magnitud pequeña (Herrera, 1986). En el Municipio de Pino Solo en Baja California Norte al sureste de Ensenada, aparecen distintas pegmatitas graníticas que algunas veces se presentan como vetas de cuarzo con minerales accesorios como epidota, turmalina negra y titanita de calidad gema (Sinkankas, 1961).

Tomando en cuenta lo anterior es posible afirmar que el panorama económico de los ambientes pegmatíticos en México son en su mayor parte poco interesantes ya que no constituyen yacimientos importantes de elementos como litio, rubidio, cesio, etc., como en localidades tales como E.U, ex-URRS, China, Canadá, etc., en donde los yacimientos pegmatíticos existen cerca de cuerpos intrusivos graníticos en terrenos metamórficos de baja presión (4 kbar) y temperaturas entre 580°-680° C, cerca de la isograda de la sillimanita (Bureau of Mines, 1985).

Es posible aseverar que en México existen todavía distintas zonas por explorar y evaluar que pueden constituir yacimientos pegmatíticos de importancia económica. Por otra parte, muchas localidades tienen perspectivas para ser exploradas y explotadas con miras a extraer gemas o ejemplares mineralógicos (estado de Oaxaca y B.C.N, principalmente).

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-El Complejo Oaxaqueño en la región esta representado principalmente por gneises cuarzo-feldespáticos, gneises de hornblenda y granate, calsilicatas y mármoles de diópsida, calcita, wollastonita, cuarzo y apatita.

-La mayoría de las pegmatitas que afloran en el área de estudio son clasificadas como pegmatitas simples de origen metamórfico relacionado a la anatexis de los gneises cuarzo-feldespáticos y se encuentran constituidas principalmente por feldespato potásico, cuarzo y micas con algunos minerales accesorios como allanita, fergusonita y betafita.

-La Panchita representa un yacimiento muy distinto a las pegmatitas simples anteriormente mencionadas y se encuentra encajonada en un cuerpo intrusivo clasificado como un manto piroxenítico.

-La génesis de La Panchita se encuentra íntimamente relacionada con los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño, los cuales fueron fusionados y posteriormente emplazados en el manto piroxenítico produciendo un proceso de reemplazamiento metasomático.

-La mineralogía del cuerpo pegmatítico de La Panchita, consiste principalmente de escapolita, calcita, augita, fluorapatita, titanita, zircón y pirita.

-La edad de La Panchita data de 980 m.a., obtenida mediante métodos radiométricos aplicados a zircones.

-Se clasifica a La Panchita como una calsilicata de reemplazamiento metasomático con textura pegmatítica.

-Aunque el yacimiento de La Panchita presenta diversas obras mineras, no se conocen exactamente sus dimensiones y límites, por lo que es necesario prospectar para poder así resolver las dudas existentes.

De esta manera, es necesario limpiar el afloramiento para poder conocer el comportamiento de dicho cuerpo. Una vez que se conocen las características del yacimiento y la localización de los minerales de interés, se procede con el cule de un socavón a rumbo de la piroxenita o mediante un tajo abierto de aproximadamente 25 m de ancho y 8 m de profundidad.

Dentro de este yacimiento además de la flogopita y titanita, que constituyen minerales de interés económico, se encuentran también ejemplares mineralógicos de gran interés para los coleccionistas, los cuales se presentan en dos tipos: Especímenes con matriz que consisten en cristales completos, desarrollados sobre el material que aloja la cavidad, y los cristales doblemente terminados que consisten en cristales cubiertos de caras.

Cuando las cavidades que presentan ejemplares mineralógicos son encontradas deben ser trabajadas con herramientas pequeñas de tal manera que no dañen los cristales.

-Tal vez la región más importante de pegmatitas en México corresponda a las pegmatitas del área de Telixtlahuaca, Oaxaca encajonadas en gneises cuarzo-feldespáticos. En la actualidad se conocen más de 35 pegmatitas con concentraciones considerables de tierras raras, dentro de esta área. Dichos elementos se alojan principalmente en allanita, betafita, monacita, samarsquita y fergusonita.

Debido a que las perspectivas de las tierras raras para el futuro son favorables, dichas pegmatitas pueden llegar a constituir yacimientos de considerable importancia.

APENDICE PETROGRAFICO:

Muestra: LH-1

Textura: Gnésica-porfidoblástica de grano fino (0.4mm).

Mineralogía: cuarzo, oligoclasa, microclina. Pequeñas escamas de biotita, clinopiroxeno y minerales opacos como accesorios.

Clasificación: Gneiss cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-2

Textura: Gnésica-porfidoblástica

Mineralogía: cuarzo, oligoclasa, biotita, sericita y algunos minerales opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-3

Textura: Gnésica-porfidoblástica

Mineralogía: cuarzo, oligoclasa, microclina, biotita y algunos granos de minerales opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-4

Textura: Gnésica-porfidoblástica

Mineralogía: Bandas de microclina alternadas con bandas de cuarzo, sericita, clorita y algunos opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-5

Textura: Gnésica-porfidoblástica

Mineralogía: Bandas de microclina alternadas con bandas de cuarzo, biotita, sericita y algunos minerales opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-6

Textura: Gnéisica-porfidoblástica

Mineralogía: Microclina, oligoclasa, cuarzo, biotita, clinopiroxeno y algunos minerales opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo-feldespático.

Muestra: LH-7

Textura: Presenta textura típica de mosaico mesocristalina

Mineralogía: Consiste en un agregado de grano grueso a medio de calcita de color blanco crema, esfena, apatita y cuarzo. (Los cristales de calcita exhiben bandas de gemelacion por deslizamiento) y los granos se encuentran redondeados.

Clasificación: Mármol mesocristalino

Muestra: LH-8

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica equigranular

Mineralogía: clinopiroxenos con algunos accesorios como biotita y minerales opacos.

Clasificación: Piroxenita

Muestra: LH-9

Textura: Gnéisica

Mineralogía: biotita negra intercrecida con diópsida de color verde , cuarzo, oligoclasa, andesina y algunos minerales opacos.

Clasificación: Gneis de diópsida

Muestra: LH-10

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica equigranular

Mineralogía: Enstatita, clinopiroxenos, biotita y minerales opacos.

Clasificación: Piroxenita

Muestra: LH-11

Textura: Gnéisica-granoblástica

Mineralogía: Hornblenda, oligoclasa-andesina, hiperstena, sericita, biotita y minerales opacos. La asociación hornblenda-hiperstena es posible debido al metamorfismo retrógrado.

Clasificación: Gneis de hornblenda

Muestra: LH-12

Textura: Gnéisica-granoblástica

Mineralogía: Bandas de cuarzo, microclina, oligoclasa, biotita y minerales opacos.

Clasificación: Gneis cuarzo feldespático

Muestra: LH-13

Textura: Pegmatítica

Mineralogía: Esfena reemplazando a la augita, escapolita y calcita

Clasificación: Calsilicatita de reemplazamiento metasomático

Muestra: LH-14

Textura: Pegmatítica

Mineralogía: Escapolita, hornblenda, esfena, calcita, biotita y minerales opacos.

Clasificación: Calsilicatita de reemplazamiento metasomático

Muestras LH-15 a LH-19 (Capítulo 5).

APENDICE DE DIFRACCION DE RAYOS X:

Tarjeta #: 24-203 It= Intensidad de tarjeta I.teo. = Intensidad teórica
 Nombre del Mineral: Augita dt= distancia de tarjeta d.teo. = distancia teórica

| Línea No. | It. | dt. | I.teo. | d.teo. |
|-----------|-----|------|--------|--------|
| 1 | 15 | 4.45 | 12 | 1.464 |
| 2 | 65 | 3.22 | 75 | 3.234 |
| 3 | 100 | 2.99 | 100 | 2.994 |
| 4 | 60 | 2.95 | 65 | 2.94 |
| 5 | 50 | 2.90 | 34 | 2.89 |
| 6 | 45 | 2.55 | 55 | 2.56 |
| 7 | 70 | 2.52 | 65 | 2.51 |
| 8 | 20 | 2.3 | 22 | 2.3 |
| 9 | 10 | 2.2 | 10 | 2.21 |
| 10 | 21 | 2.15 | 22 | 2.30 |
| 11 | 15 | 2.11 | 16 | 2.0 |

Tarjeta:1100

| Calcita | It. | dt. | I.teo. | d.teo. |
|---------|-----|------|--------|--------|
| 1 | 30 | 3.85 | 12 | 3.86 |
| 2 | 100 | 3.03 | 100 | 3.035 |
| 3 | 5 | 2.83 | 3 | 2.845 |
| 4 | 10 | 2.5 | 14 | 2.495 |
| 5 | 12 | 2.28 | 18 | 2.285 |
| 6 | 15 | 2.09 | 18 | 2.095 |
| 7 | 25 | 1.9 | 17 | 1.913 |
| 8 | 25 | 1.87 | 17 | 1.875 |
| 9 | 5 | 1.62 | 4 | 1.626 |
| 10 | 10 | 1.6 | 8 | 1.604 |
| 11 | 5 | 1.58 | 2 | 1.587 |

Tarjeta: 493**Flogopita**

| | | | | |
|---|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 100 | 10.10 | 100 | 10.13 |
| 2 | 15 | 5.03 | 20 | 5.056 |
| 3 | 10 | 4.65 | 20 | 4.61 |
| 4 | 1 | 4.55 | 8B | 4.51 |
| 5 | 1 | 4.05 | 8B | 4.01 |
| 6 | 30 | 3.85 | 20 | 3.81 |
| 7 | 20 | 3.56 | 35 | 3.54 |
| 8 | 3 | 3.16 | 10 | 3.15 |

Tarjeta: 1099**Fluorapatita**

| | It. | dt. | I.teo. | d.teo. |
|----|-----|------|--------|--------|
| 1 | 5 | 8.1 | 10 | 8.15 |
| 2 | 5 | 5.25 | 2 | 5.24 |
| 3 | 5 | 4.7 | 2 | 4.705 |
| 4 | 5 | 4.1 | 5 | 4.079 |
| 5 | 5 | 3.9 | 5 | 3.877 |
| 6 | 50 | 3.43 | 60 | 3.418 |
| 7 | 10 | 3.17 | 10 | 3.155 |
| 8 | 10 | 3.07 | 15 | 3.087 |
| 9 | 100 | 2.8 | 100 | 2.814 |
| 10 | 50 | 2.75 | 50 | 2.769 |
| 11 | 40 | 2.64 | 60 | 2.622 |
| 12 | 5 | 2.53 | 5 | 2.529 |
| 13 | 2 | 2.3 | 5 | 2.291 |
| 14 | 10 | 2.26 | 20 | 2.262 |
| 15 | 40 | 1.93 | 30 | 1.94 |
| 16 | 40 | 1.85 | 30 | 1.834 |

Tarjeta: 0885**Heulandita**

| | | | | |
|----|-----|------|-----|-------|
| 1 | 30 | 8.97 | 30 | 8.95 |
| 2 | 65 | 8.0 | 70 | 7.95 |
| 3 | 30 | 6.67 | 10 | 6.65 |
| 4 | 35 | 5.23 | 30 | 5.27 |
| 5 | 25 | 5.17 | 70 | 5.13 |
| 6 | 45 | 4.6 | 30 | 4.66 |
| 7 | 45 | 4.4 | 50 | 4.46 |
| 8 | 100 | 3.95 | 100 | 3.94 |
| 9 | 30 | 3.9 | 10 | 3.89 |
| 10 | 20 | 3.7 | 30 | 3.73 |
| 11 | 10 | 3.6 | 5 | 3.626 |
| 12 | 40 | 3.4 | 10 | 3.49 |
| 13 | 40 | 3.17 | 50 | 3.181 |
| 14 | 25 | 3.13 | 30 | 3.126 |
| 15 | 90 | 2.95 | 70 | 2.97 |
| 16 | 70 | 2.80 | 80 | 2.801 |
| 17 | 20 | 2.73 | 10 | 2.72 |

Tarjeta: 1102

| Meionita | It. | dt. | I.teo. | d.teo. |
|-----------------|------------|------------|---------------|---------------|
| 1 | 50 | 6.15 | 60 | 6.2 |
| 2 | 35 | 4.4 | 40 | 4.35 |
| 3 | 70 | 3.85 | 70 | 3.87 |
| 4 | 100 | 3.46 | 100 | 3.47 |
| 5 | 100 | 3.10 | 100 | 3.08 |
| 6 | 75 | 2.7 | 80 | 2.73 |
| 7 | 35 | 2.31 | 40 | 2.36 |
| 8 | 65 | 2.15 | 70 | 2.14 |
| 9 | 65 | 2.07 | 100 | 2.07 |
| 10 | 80 | 1.92 | 80 | 1.91 |
| 11 | 35 | 1.82 | 40 | 1.83 |

Tarjeta: 850

Titanita

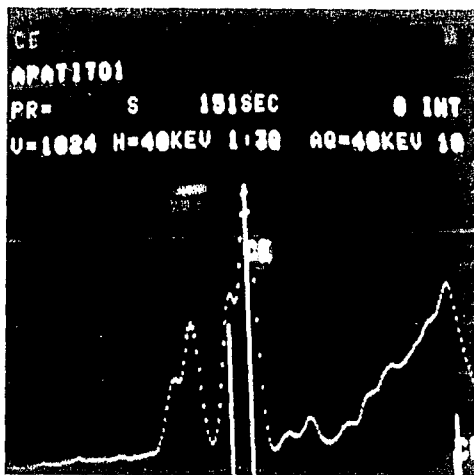
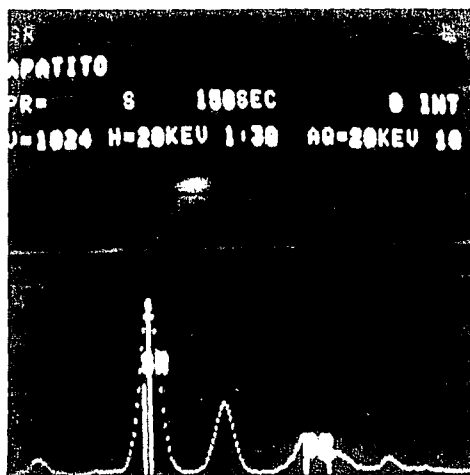
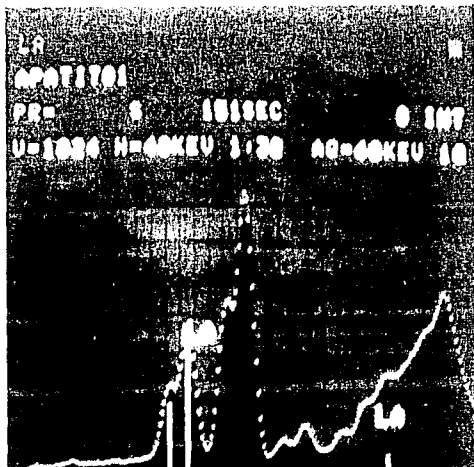
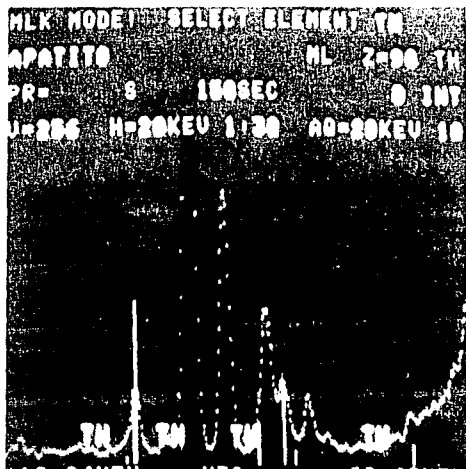
| | | | | |
|----|-----|------|-----|-------|
| 1 | 40 | 4.97 | 10 | 4.95 |
| 2 | 80 | 3.25 | 90 | 3.27 |
| 3 | 80 | 3.0 | 90 | 3.02 |
| 4 | 5 | 2.90 | 30 | 2.92 |
| 5 | 100 | 2.6 | 100 | 2.66 |
| 6 | 10 | 2.33 | 10 | 2.32 |
| 7 | 10 | 2.11 | 10 | 2.12 |
| 8 | 30 | 2.06 | 20 | 2.07 |
| 9 | 15 | 1.8 | 20 | 1.826 |
| 10 | 10 | 1.7 | 10 | 1.725 |

Tarjeta:1097

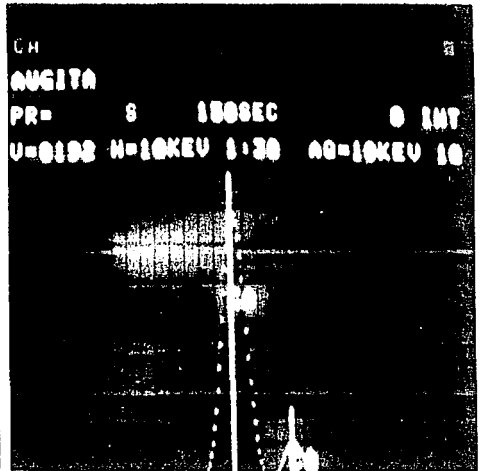
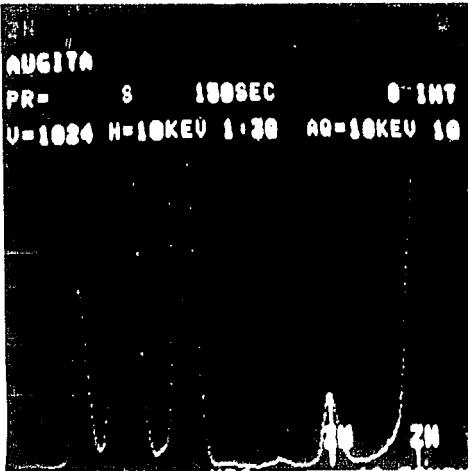
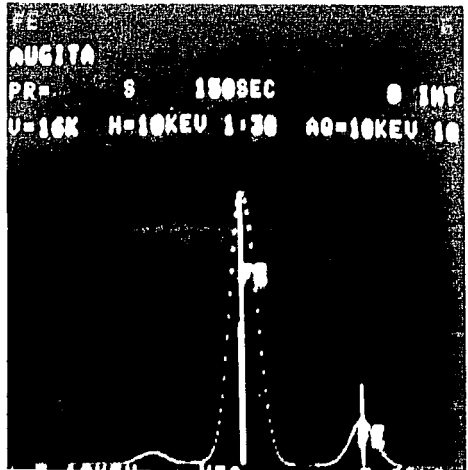
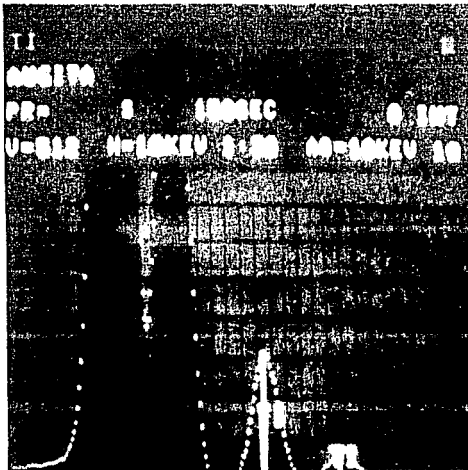
Zircon

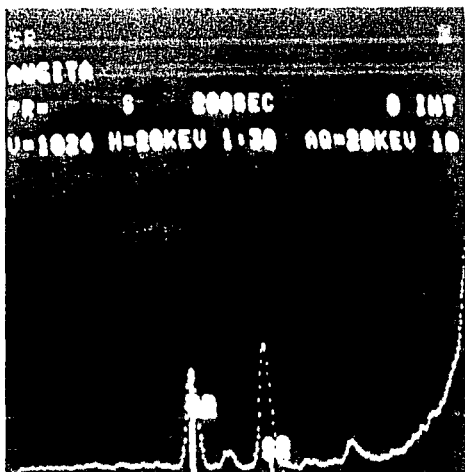
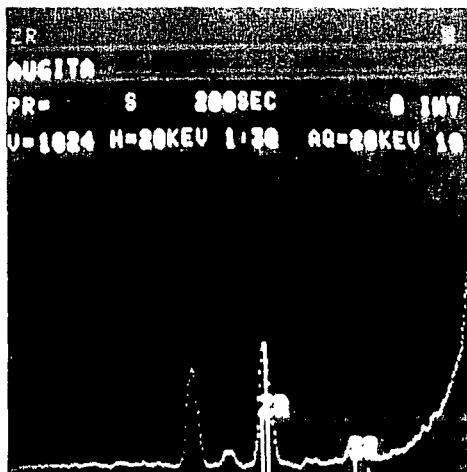
| | | | | |
|----|-----|------|-----|-------|
| 1 | 60 | 4.4 | 45 | 4.434 |
| 2 | 100 | 3.3 | 100 | 3.302 |
| 3 | 30 | 2.65 | 8 | 2.65 |
| 4 | 60 | 2.53 | 45 | 2.518 |
| 5 | 10 | 2.35 | 10 | 2.336 |
| 6 | 60 | 2.18 | 8 | 2.217 |
| 7 | 20 | 1.91 | 14 | 1.908 |
| 8 | 10 | 1.76 | 12 | 1.751 |
| 9 | 90 | 1.70 | 40 | 1.712 |
| 10 | 10 | 1.5 | 4 | 1.495 |

APENDICE DI FLUORESCENZA DI RAYON X
 APATITA

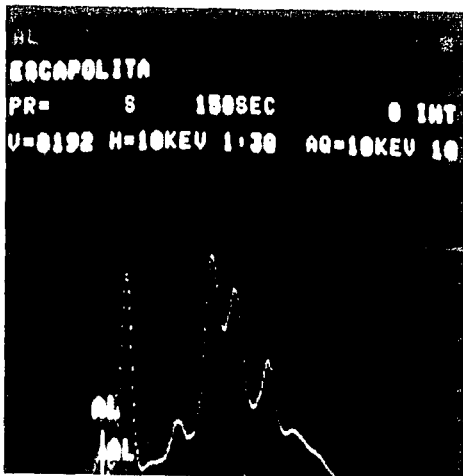
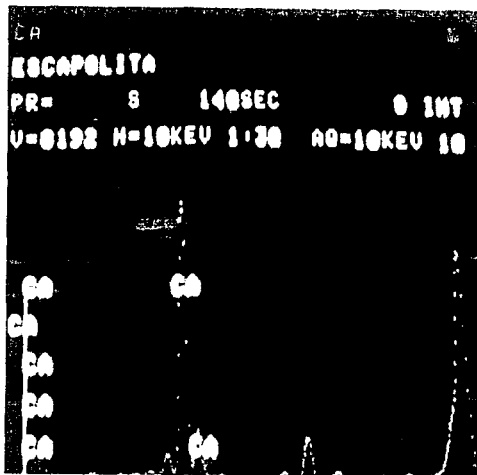


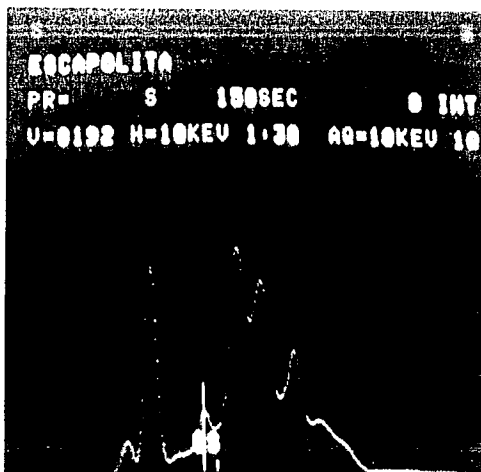
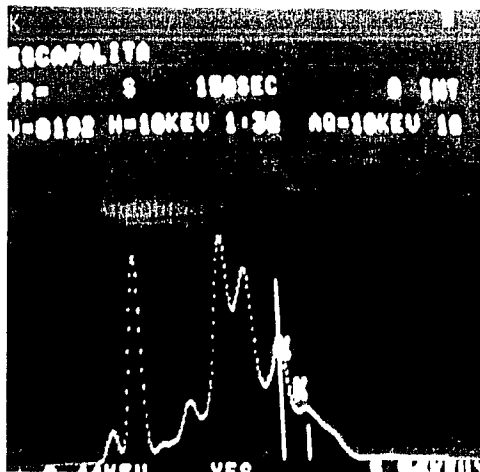
AUGITA



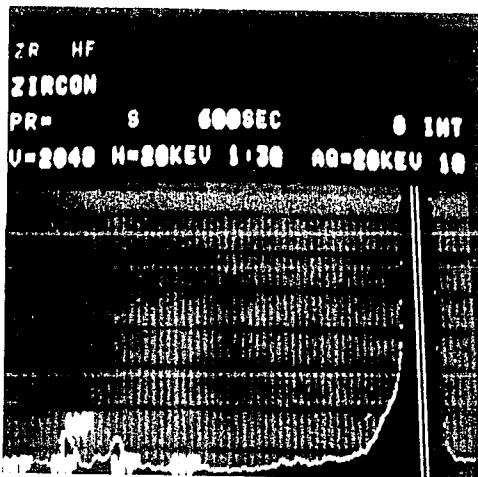
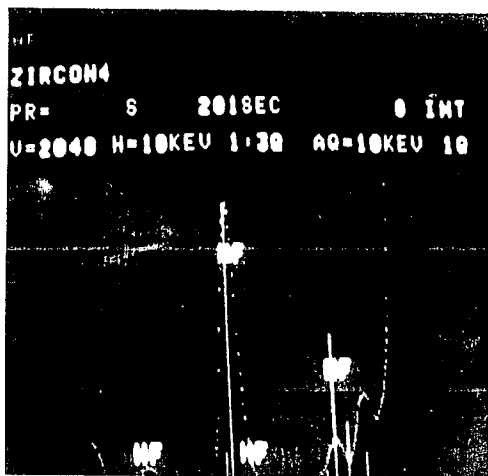


ESCAPOLITA (MEIONITA)





ZIRCON



INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y MAPAS

| Tablas | Pag. |
|--|-------|
| 1.- Fechamientos realizados en pegmatitas del Complejo Oaxaqueño | 9 |
| 2.- Minerales identificados en pegmatitas de la parte central el Complejo Oaxaqueño | 26 |
| Figuras | |
| Fig. 1 .- Plano de Localización | 2A |
| Fig. 2 .- Diagrama esquemático de una pegmatita simple | 13 |
| Fig. 3 .- Diagrama esquemático de una pegmatita compleja | 14 |
| Fig. 4 .- Gráfica de distribución de yacimientos de gemas | 17A |
| Fig. 5 .- Gráfica de producción de feldespato en México | 20A |
| Fig. 6 .- Gráfica de producción en México de mica | 21A |
| Fig. 7 .- Principales minerales de litio y su contenido | 21B |
| Fig. 8 .- Gráfica de producción mundial de litio, cesio, berilio, mica y feldespato | 21C |
| Fig. 9 .- Mapa topográfico del área de La Panchita, Oax. | 30A |
| Fig.10 .- Imagen estereográfica de La Panchita, Oax. | 30B |
| Fig.11 .- Sección NW-SE del yacimiento de La Panchita en Ayoquesco, Oax. | 30C |
| Fig.12 .- Bloque diagramático de La Panchita en Ayoquesco, Oax. | 31A |
| Fig.13 .- Sección idealizada de los lentes en La Panchita en Ayoquesco, Oax. | 31A |
| Fig.14-38.- Modelos cristalográficos | 38-48 |
| MAPAS: | |
| Mapa 1 .- Distribución de pegmatitas en Asia | 16A |
| Mapa 2 .- Distribución de pegmatitas en America | 16A |
| Mapa 3 .- Distribución de pegmatitas en Europa y Africa | 16B |
| Mapa 4 .- Distribución de pegmatitas en Australia | 16B |

Fotografías y fotomicrografías:

| | |
|---|-----------|
| Fotomicrografía 1 .- Intrusión de la piroxenita dentro del gneis cuarzo-feldespático | 31 |
| Fotografía 2 .- Intrusión del mármol dentro de la piroxenita | 33 |
| Fotomicrografía 3 .- Reemplazamiento de la augita por titanita | 34 |
| Fotografía 4 .- Ejemplar de escapolita | 35 |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Anderson, T.H., y Siver, L.T., 1971. Age of Granulite metamorphism during the Oaxacan Orogeny: Mexico. Geol. Soc. of Amer., Abstract with programs, v.3, p.492
- Baver, J., and Bouska, V., 1983, Precious and semiprecious stones: Praga, Octopus Books Ltd., p.6-15.
- Bazan, S., 1986, Génesis de las pegmatitas del arco Insular de Telixtlahuaca: Rev. Geomimet pp. 57-70
- Bates, R., Bradbury C.J., y otros, 1975, Industrial minerals and rocks: American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York.
- Bloomfield, K., Ortega-Gutiérrez, F., 1975. Notas sobre la petrología del Complejo Oaxaqueño: Bol-Inst. Geol., UNAM (95) pp.29-48
- Bureau of Mines, 1985, Mineral Facts and Problems, USA., United States Department of the interior, Bulletin 675.
- C.R.M., 1988, Sumario Estadístico de la Minería Mexicana, 1983-1987: México, D.F.
- Dana, E.S. y Ford, E.W., 1986, Tratado de Mineralogía: México, John Wiley.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., Rock Forming Minerals, v. 4, Framework silicates, Ed. Longmans, pp. 321-335.
- Goldschmidt, V., 1986, Atlas Der Krystalformen, Rochester Academy of Science, Vol. I, II y IV.
- Fleischer, M. y Mandarino, J.A., 1991, Glossary of Mineral Species, 1991, The Mineralogical Record, Inc.

Fries, C., Jr., Rincón-Orta, C., Silver., L.T. y otros, 1974. Nuevas aportaciones a la geocronología de la faja tectónica Oaxaqueña: Bol. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. XXVI 4-6, pp. 157-182.

Fries, C., Jr., Rincón-Orta, C., 1965. Nuevas aportaciones geocronológicas y tectónicas empleadas en el laboratorio de geocronología, UNAM: Inst. de Geol., Bol. 73, pp. 57-133.

Fries, C., Jr., Schlaepfer, C. y Rincón-Orta, C., 1966. Nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño: Soc. Geol. Mex., Bol. 29, pp.66-69.

Fries, C., Jr., Schmitter, E., Damon, P. E., and Livingstone, D. E., 1962. Rocas Precámbricas de edad Grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México, UNAM: Inst. de Geol., Bol., 64: 45-53.

Grice, J.D. and Gault, R.A., (Julio-Agosto) 1982, The Lafa Clear Kuehl Lake area, reftew county, Ontario: Rev. The Mineralogical Record. p.209-213

Elias Herrera, M., 1985, Las tierras raras y sus ambientes geológicos: S.M.M., v.1, n.3, pp.15-19.

Hernández-Contrera, M., 1978, Estudio geológico de la pegmatita La Panchita en Ayoquesco, Oaxaca: Fac. de Ingen., UNAM, Tesis profesional (Ined.) y plano topográfico 1:500.

Herrera O.A., (Abril-Junio) 1965, Evolución geoquímica de las pegmatitas zonales de los principales distritos argentíferos: Revista de la Asociación Geológica de Argentina. TOMO XX No.2, pp.199-228.

INEGI, Carta Topográfica 1:50,000 Hija: Ejutla de Crespo E14 D67 Oax.

Jahns, H.R., 1954, The Study of Pegmatite: Econ. Geol., 50th. Anniv. vol., p.1025-1130.

Jahns, H.R., 1969, Experimental Studies of pegmatite genesis: Economic Geology and the Bulletin of the Society of economic Geologists., p.843-863.

Kerr, P.F. and Rogers, A.F., 1942, Optical Mineralogy: New York, McGraw Hill Book Company, Inc.

Landes, K.K., 1935, Age and distribution of pegmatites: Amer. Mineral., v.20, pp. 81-105, 153-175.

Martínez-Bermúdez, J.J., 1955, Reconocimiento Geológico de la Región pegmatítica de Telixtlahuaca, Oax.: Tesis Profesional, UNAM (Ined.)

Morán-Zenteno, D., 1984, Geología de la República Mexicana, UNAM., INEGI.

Morán-Zenteno, D., Delgado Granados, H. y Molina Garza, R., 1986, Reflexiones acerca del Complejo Oaxaqueño: Una revisión de las teorías que podrían explicar su origen. Rev.4, Fac. Ing., UNAM.

Mottana, A., Crepi, R. y Liborio, G., 1977, Guía de Minerales y Rocas: España, Arnold Mondadori Editore.

Murillo Muneton, G., Om Pakash, G., Grajales Nishimura, J. M., Torres Vargas, R., 1991. La paragénesis wollastonita-cuarzo-grafito en el Complejo Oaxaqueño: análisis genéticos (res.) En: Rubínovich Kogan, R., y Carrero, A.L., (ed.)

Memoria de la Convención sobre la evolución geológica de México; 1991. Congreso Mexicano de Mineralogía: SEP, Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica.

Ortega-Gutiérrez, F., 1978. Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca: UNAM, Inst. Geol., Rev. 2, p.315.

Ortega-Gutiérrez, F., 1983. Metamorphic belts of southern and their significance., Gofis. Inst., 20(3): 177-202.

Ortega-Gutiérrez, F., 1982. Evidence of Precambrian evaporites in the Oaxacan granulite Complex of southern México; UNAM, Ins. Geol., Internal. Geol. Correlation Program, Joint Meeting of Projects 157 and 160, pp. 377-392.

Ortega-Gutiérrez, F., 1977. Los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño

Park, F. and MacDiarmid, A.R., 1964, Ore Deposits: W. H. Freedman and Company. 3rd. Ed., pp.475.

Pedrazzini de Schlaapfer, C., 1961, Estudio geológico y petrológico de las pegmatitas de Batamote en la Sierra de Aconchi, Municipio de Baviacora, Edo. de Sonora, Mex.: Tesis Profesional, Fac. Ing., UNAM., 90 p.

PEMEX, Carta Geológica 1:50,000, Zimatlán de Alvarez, Oax.

Rufz, L., Patchett, J.P. y Ortega Gutiérrez, F., 1988. Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of Mexico from Nb isotopic studies: Geological Society of America Bulletin, v.100, pp.274-281.

Rufz-Marín, J. y Artega-Hernández, M., 1988, Proyecto Ejutla: PEMEX, Zona Sur., Informe Inedito.

Sinkankas, J., 1988, Field Collection Gemstone and Minerals: USA, Geosciens Press.

Sinkankas, J., 1988, Mineralogy: USA, Geosciens Press.

Shaw, D.M., 1960, The Geochemistry of Scapolite., Journal of Petrology, vol. 1, pp.218-260.

Schelley, D., 1985, Optical Mineralogy, USA, Elsevier Science publishers.

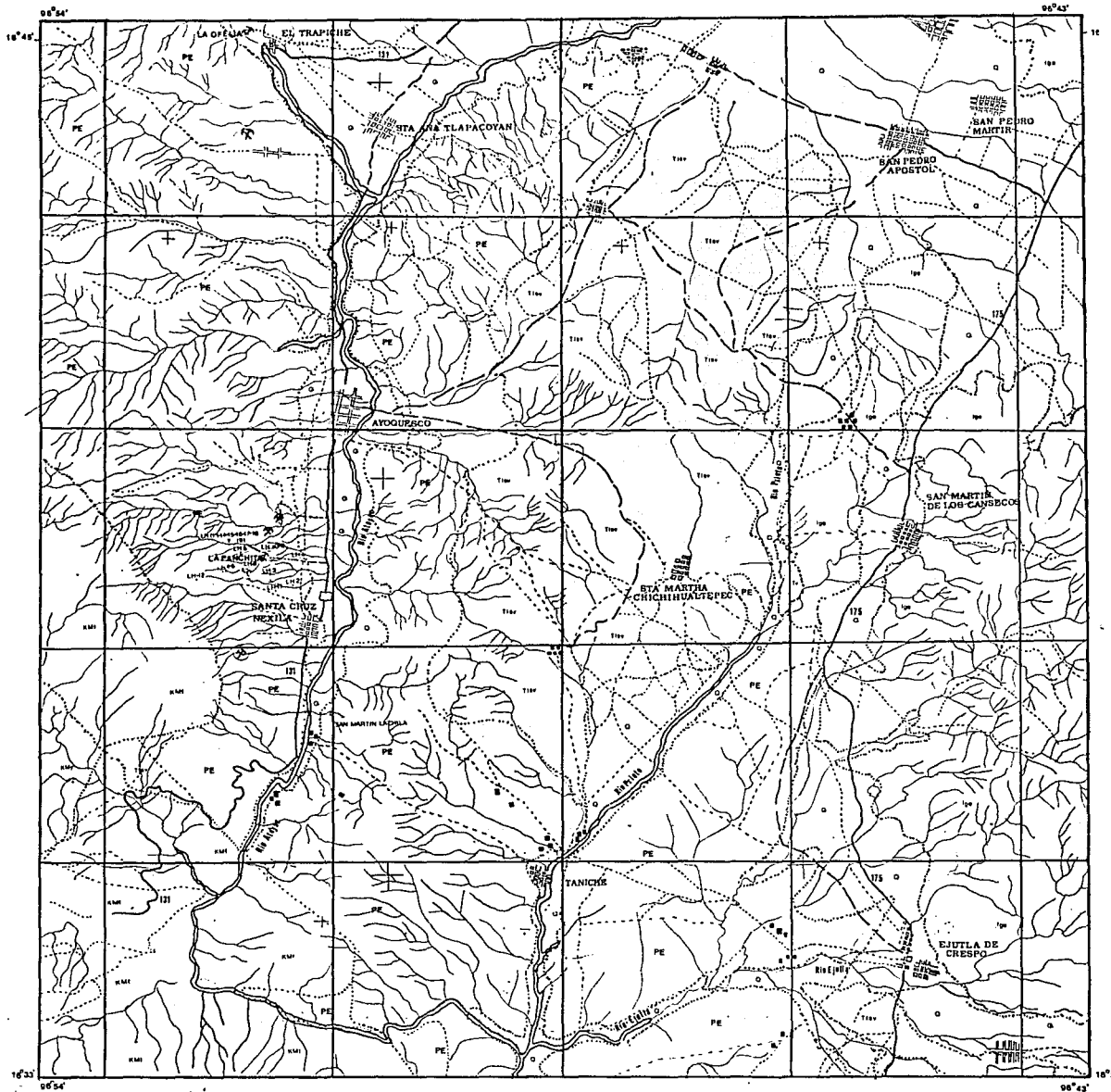
Spence S.H., 1930, Pegmatite Minerals of Ontario and Quebec: Am. Mineal. vol.15, pp.430-450, 474-496.

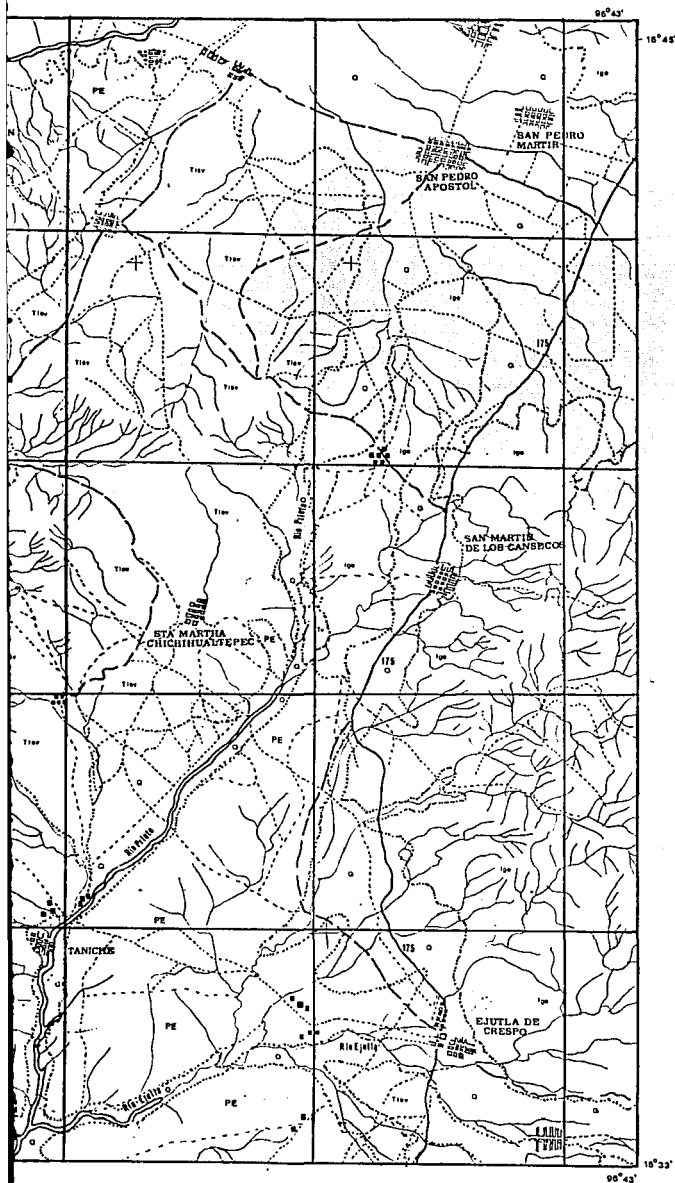
Symes, R., 1990, Illustrated Encyclopedia of Minerals: New York, The Hamlyn Publishing Group Limited.

Turner, F. C., 1968, Metamorphic Petrology: New York, Mac Graw-Hill, pp. 63-75.

Woodhead, J. A., Rossman, G. R., y Silven, L.T., 1991, The metamictization of Zircon: Radiation dose-dependent structural characteristics: American Mineralogyst, vol. 76, pp.76-82.

Yardley, Bruce, W. D., 1989, An introduction to metamorphic petrology: New York, Longman Scientific and Technical. pp. 127-137.





SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

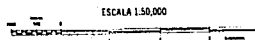
| | |
|-------------------------|--|
| CIUDAD O POBLADO | |
| RANCHO O CONGREGACION | |
| CARRETERA PAVIMENTADA | |
| CARRETERA DE TERRACERIA | |
| VEREDA O BRECHA | |
| RIO | |
| ARROYO | |

SIMBOLOS GEOLOGICOS

| | |
|------------------------|--|
| YACIMIENTO PEGMATITICO | |
| CONTACTO GEOLOGICO | |
| MUESTRA LITOLOGICA | |

UNIDADES LITOLOGICAS

| | | |
|-------------|--------|--|
| CUATERNARIO | Q | ALUVION |
| | Tisv | FORM. SOLA DE VEGA: Depositos clasicos continentales |
| TERCIARIO | IQS-TV | FORM. SUCHILQUITONGO: Rocas igneas extrusivas |
| | KMI | FORM. TEPOSCOLULA: Calizas y Dolomitas de plataforma |
| CRETACICO | KMy | FORM. YUSHE : Calizas de ambientes de baja energia |
| | PE | COMPLEJO METAMORFICO OAXAQUEÑO |
| | | |



UNAM

FACULTAD DE
INGENIERIA

PLANO GEOLOGICO
AREA ZIMATLAN, OAXACA

TESIS PROFESIONAL E. L. HAGHENBECK COLPENA

ESCALA 1:50 000

ENFRE 1993