

00364
1
19

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

MINERALOGIA Y GEOQUIMICA DEL ARSENICO
AL NOROESTE DE GOMEZ PALACIO, DURANGO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (GEOLOGIA)
PRESENTA

00364
1983.

RAQUEL RIOS GARCIA

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1983



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.

RESUMEN

Talmessita $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ de una nueva localidad, cercana a Gómez Palacio, Dgo., fué identificada en capas y vetillas en caliza de la Formación Aurora (Cretácico Inferior) y como cementante en una lente de arenisca encajonada en aquélla.

El mineral, blanco a crema, se presenta en cristales aciculares muy pequeños. En algunas drusas, se apreciaron de una longitud promedio de 20 micras, de forma prismática y estalactítica, con frecuencia en agregados radiales.

Una fracción purificada, cuyo análisis en por ciento fué:

As_2O_5 : 49.29, CaO : 25.15, MgO : 7.87, SiO_2 : 5.03, Al_2O_3 : 0.51, Fe_2O_3 : 0.16, SrO : 0.12 y trazas de Ti, V, Zn, Mn y Cu, permitió calcular, de acuerdo a la mineralogía determinada por rayos x, el siguiente contenido de minerales: Talmessita: 89.70, cuarzo: 3.53, montmorillonita: 3.02, calcita: 2.00 y hematita: 0.16%.

Las principales distancias interplanares medidas en el diagrama de rayos x fueron: 5.11(48), 4.62(33), 3.587(48), 3.348(41), 3.211(90), 3.076(100), 2.816(42), 2.777(77) y 2.740(28) Å, las que coinciden aceptablemente con las reportadas en la tarjeta A.S.T.M. 17-164, a excepción de que ésta no incluye los valores 2.816 y 2.740 Å, los que por estar presentes en algunos isomorfos de la talmessita, se considera que faltan en dicha tarjeta.

En el ATD se observaron tres endotermas, con máximos a 525, 712 y 1135 °C, causadas por deshidratación de talmessita, descomposición de calcita y fusión de la primera, respectivamente. La pérdida total de peso en el ATG fué de 11.25%.

Bandas de absorción de los grupos $(\text{AsO}_4)^{3-}$, $(\text{CO}_3)^{2-}$ y HO^- fueron identificadas en el espectro infrarrojo. Los espectros de los productos calcinados muestran la persistencia del grupo $(\text{AsO}_4)^{3-}$ hasta una temperatura de 800 °C.

Las impurezas íntimamente asociadas a la talmessita, sobre todo la calcita, impidieron comprobar la reacción exotérmica a 690°, reportada por algunos autores e, igualmente, tomar alguna decisión con respecto a si el agua en la talmessita es de oxhidrilos o de cristalización.

Por las características geológicas y climáticas del yacimiento de Durango, semejantes a las reportadas para la talmessita de Irán y la de Marruecos, se puede inferir que dicho mineral se originó por la lixiviación de arseniuros y arseniatos de la zona mineralizada de la Sierra de Mapimí y su posterior precipitación al neutralizarse las soluciones arsenicales por las calizas magnésicas regionales.

Se recomienda una exploración geoquímica detallada en la Comarca Lagunera, a fin de prevenir envenenamientos por arsénico en esa región y, paralelamente, se podrían localizar posibles minerales de explotación económica.

C O N T E N I D O

	página
INTRODUCCION.	1
Objetivos	1
Localización del área estudiada	2
Geología general	3
Caliza Aurora	4
Tronco El Sarnoso	5
Metamorfismo de contacto en la	
Formación Aurora	6
Aluvión	8
Yacimientos minerales	8
Arsénico y sus minerales	10
Antecedentes históricos de la talmessita .	12
Problemas de nomenclatura	12
Mineralogía de la talmessita	14
MATERIALES Y METODOS	19
Muestreo	19
Preparación de las muestras	20
Exámen megascópico	20
Análisis semicuantitativo por	
espectrografía de emisión	21
Análisis químico	21
Análisis por difracción de rayos x	22
Termoanálisis	23

	página
Espectrofotometría infrarroja	23
Petrografía	24
Microscopía electrónica de barrido	24
RESULTADOS EXPERIMENTALES	25
Exámen megascópico	25
Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión	25
Análisis químico	26
Mineralogía por difracción de rayos x	29
Caracterización de minerales de arsénico	31
Mineralogía de la fracción de arseniatos por rayos x	32
Difracción de rayos x de los productos de calcinación	35
Termoanálisis	37
Espectrofotometría infrarroja	38
Petrografía	42
Microscopía electrónica de barrido	44
DISCUSION DE RESULTADOS	46
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS CITADAS	54
APENDICE	59

ILUSTRACIONES

Figuras		entre páginas
1	Plano de localización del área de estudio	2 y 3
2	Columna estratigráfica de la Hoja Torreón	4 y 5
3	Difractograma de la talmessita de Durango	32 y 33
4	Análisis térmico diferencial y térmico gravimétrico	37 y 38
5	Espectro de absorción infrarroja de la talmessita de Durango	38 y 39
6	Espectros de absorción infrarroja de talmessita calcinada a 350, 600 y 800 °C	41 y 42
7-17	Fotomicrografías en el microscopio petrográfico	43 y 44
18-20	Fotomicrografías en el microscopio electrónico de barrido	45 y 46
21	Plano de localización de muestreo	BT
Tablas		página
1	Composición química de la talmessita	17
2	Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión sobre muestras de roca	27
3	Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión sobre residuos de las muestras de agua	28
4	Contenido de arsénico en las muestras	28
5	Mineralogía por difracción de rayos x	30
6	Composición química de la fracción de arseniatos	31

Tablas	página
7 Cálculo modal de la fracción de arseniato	32
8 Datos de difracción de rayos x de talmessita e isomorfos	34
9 Datos de difracción de rayos x de talmessita calcinada	36
10 Datos del termoanálisis	37
11 Bandas de absorción infrarroja de la talmessita de Durango	38
12 Bandas de absorción infrarroja del grupo $(AsO_4)^{3-}$	39
13 Bandas de absorción infrarroja del grupo $(CO_3)^{2-}$	39
14 Espectro de absorción infrarroja de la talmessita de Durango	40

INTRODUCCION

Objetivos

A mediados de 1976, la Comisión de Fomento Minero participó, junto con la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y otras dependencias oficiales, en el peritaje efectuado en relación a un caso de envenenamiento masivo de ganado que ocurrió en la Comarca Lagunera, en los estados de Durango y Coahuila.

La investigación puso en claro que se había mezclado un mineral fosforfítico, conteniendo arsénico, al alimento para el ganado.

Inicialmente se pensó que el arsénico había sido agregado intencionalmente, pero el muestreo efectuado en las dos minas de las que procedía el material y el análisis químico efectuado a las muestras, puso en evidencia que el causante era un arseniato - calcomagnésico natural, llamado talmessita, que se identificó en el mineral extraído de un socavón de las pequeñas obras mineras llamadas Mina San Luis, en las cercanías de Gómez Palacio, Dgo. y que se había incorporado a la roca fosfórica procedente de otra mina próxima a Dinamita, Dgo.

A finales del mismo año, se publicó en la Revista Proceso (Dic. 1976) un artículo sobre la alta incidencia de arsenicismo crónico en habitantes del Municipio Francisco I. Madero, Coah., causado aparentemente por la contaminación con arsénico de los pozos de agua en esa zona, especialmente en Finisterre, Coah.

Los hechos anteriores, que tienen un efecto socio-económico importante para esa región, motivaron que se hiciera una revisión

bibliográfica extensa sobre el mineral citado. En el curso de la misma, se encontró que los yacimientos reportados son muy escasos a nivel mundial y no existen referencias sobre su localización anterior en México. Además, hay una serie de controversias sobre su nombre, composición química, naturaleza del agua que contiene, etc., que hacen necesaria una investigación más profunda de sus características.

Los objetivos que se pretenden lograr con este estudio son, en primer lugar, efectuar una caracterización química-mineralógica lo más completa posible de la talmessita de esta nueva localidad; determinar si hay otros minerales de arsénico en esa área; la distribución de este elemento y, finalmente, tratar de establecer una hipótesis sobre su origen.

Localización del área estudiada

La región estudiada se localiza entre los $103^{\circ} 30'$ a $103^{\circ} 40'$ de longitud oeste y $25^{\circ} 34'$ a $25^{\circ} 44'$ de latitud norte, de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. hacia la Sierra de Mapimí, hasta el poblado de Dinamita, Dgo. (Fig. 1), quedando comprendida en la Hoja Torreón 13R-1 de Clemons y McLeroy (1965), así como en la Carta Geológica Torreón (G-13-D-25) de DETENAL.

De manera complementaria, se visitó parte del Municipio Francisco I. Madero para obtener algunas muestras de agua. Esta zona se encuentra al noreste de la Hoja Torreón, entre los $103^{\circ} 09'$ a $103^{\circ} 17'$ de longitud oeste y $25^{\circ} 46'$ a $26^{\circ} 00'$ de latitud norte.

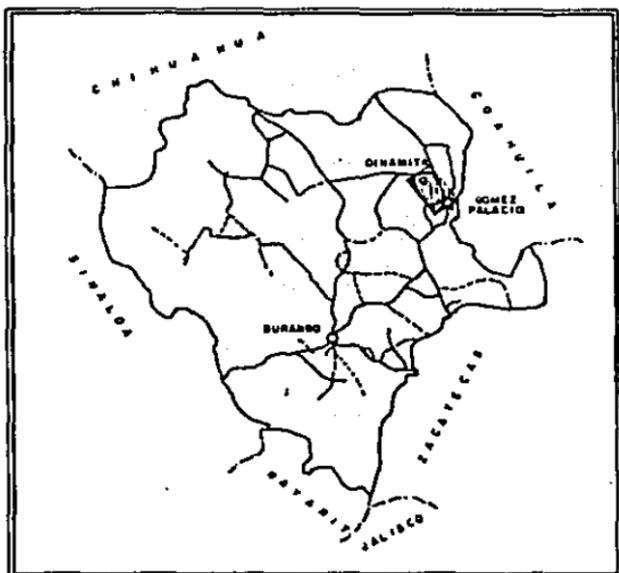
Geología general

La Sierra de Mapimí está situada en el noreste del Estado de Durango y suroeste del de Coahuila, sigue una dirección NW-SE y pertenece a la sección transversal de la Sierra Madre Oriental, en la parte meridional de las sierras que Humphrey (1956) agrupó dentro del término "Cuencas y Sierras". Estas sierras alargadas, constituidas por rocas sedimentarias mesozoicas, principalmente calizas, se formaron durante el intenso plegamiento laramídico - de finales del Cretácico y principios del Terciario y siguen una dirección paralela a la antigua Península de Coahuila, que actuó como contrafuerte (Kellum, 1936). Las sierras corresponden a anticlinorios erosionados, separados por sinclinorios rellenos de depósitos aluviales que forman los llamados "bolsones".

El Anticlinorio de Mapimí colinda al oeste con el Sinclinorio del Rosario y al este con el Sinclinorio de Mapimí, del cual forma parte la Comarca Lagunera.

La Sierra de Mapimí tiene alrededor de 40 km de longitud y una anchura media de 7.5 km, pero en su parte central se ensancha al doble debido a la intrusión del tronco granítico de El Sarnoso, que se emplazó al final de la orogénia. Otro pequeño tronco se localiza al noroeste del anterior, el del Dr. Lawrence. Estos y otros cuerpos intrusivos de la región están íntimamente relacionados a la etapa de mineralización.

En la región de la Sierra de Mapimí no afloran rocas del Paleozoico y la unidad estratigráfica más antigua es la Formación Nazas, de edad Triásico Tardía-Jurásico Temprana.



LOCALIZACION

ESCALA: 0 50 75 100
Kilometros.



ESCALA: 0 1 2 3 5 10
Kilometros.

UNAM		FACULTAD DE CIENCIAS	
PLANO DE LOCALIZACION DE AREA DE ESTUDIO			
TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS RAQUEL RIOS GARCIA			
FECHA: NOV. - 1982	FUENTE: HOJA TORREON 13R-1 (1) UNAM INST. GEO.	FIGURA: Nº 1	

La estratigrafía de las unidades que afloran en la Hoja Torreón de Clemons y McLeroy, se presenta en la Fig. 2.

En la región reconocida y muestreada en el presente estudio, únicamente afloran la Caliza Aurora, el tronco granítico de El Sarnoso, el mármol de contacto entre las unidades anteriores y el aluvión del Cuaternario y Reciente, por lo que la descripción detallada se limita a éstos.

Caliza Aurora.

Esta formación fué descrita por Burrows (1910, p. 96), quien la descubrió al estudiar los afloramientos cercanos a la Mina Aurora, en la Sierra de Cuchillo Parado, al norte de Chihuahua. Allí consiste de 186 a 465 m de caliza fosilífera en estratos gruesos, con abundantes concreciones y nódulos de pedernal y óxidos de fierro. Varía mucho su litología hacia el N-NE de Torreón, mostrando características post-arrecifales, con yeso y dolomita, pero en la zona que comprende la Hoja Torreón es relativamente uniforme y se encuentra representada por 300 a 600 m de caliza densa, caliza dolomítica y dolomita, en capas medianas a gruesas, con un espesor medio de 50 cm. En superficies frescas su color es gris claro a gris oscuro, intemperizando a gris muy claro y superficie acanalada. Los nódulos de pedernal gris oscuro y negro intemperizan en café rojizo a negro, siendo su diámetro más común de 5 a 8 cm. Los fósiles colectados en diferentes localidades incluyen Caprinula (?), Ostrea, Toucasia, Nerinea, Radio-lites (?), así como miliólidos y gasterópodos no determinables (Clemons y McLeroy, 1965). También se reportan tallos y placas de crinoides y posibles foraminíferos (Salas, 1971).

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA HOJA TORREON
FUENTE: CLEMONS Y McLEROY
(1965)

ERA	SISTEMA	SERIE	HOJA TORREON		
CENOZOICA	TERCIARIO	RECIENTE	ALUVION		
		PLEISTOCENO	ALUVION		
		PLIOCENO	FORMACION STA. INES		
		MIOCENO	ROCAS VOLCANICAS		
		OLIGOCENO	ROCAS VOLCANICAS		
		EOCENO	FORMACION AHUICHILA		
		PALEOCENO	FORMACION CARACOL		
		CRETACICO	SUPERIOR	FORMACION INDIDURA	FORMACION INDIDURA
				CALIZA CUESTA DEL CURA	CALIZA CUESTA DEL CURA
				CALIZA AURORA	CALIZA AURORA
FORMACION LA PERA	FORMACION LA PERA				
INFERIOR	FORMACION PARRITAS			FORMACION PARRITAS	
	FORMACION LAS VIGAS			FORMACION LAS VIGAS	
	FORMACION TALAISES			FORMACION TALAISES	
	FORMACION CARBONERA			FORMACION CARBONERA	
	FORMACION LA CASITA			FORMACION LA CASITA	
JURASICO	SUPERIOR			FORMACION LA GLORIA	FORMACION LA GLORIA
		FORMACION LA GLORIA	FORMACION LA GLORIA		
	MEDIO	FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		
		FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		
		FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		
TRIASICO	SUPERIOR	FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		
		FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		
		FORMACION NAZAS	FORMACION NAZAS		

RELLENO DE VALLE, DEPOSITO DE ACARREO Y TALUD.
 DISCORDANCIA (?).
 GRAVAS CEMENTADAS POR CALICHE.
 DISCORDANCIA.
 DERRAMES DE RIOLITA, LATITA, ANDESITA Y BASALTO.
 CON PRODUCTOS PIROCLASTICOS ASOCIADOS.
 DISCORDANCIA.
 CONGLOMERADO, ARENISCA, LIMOLITA, CALIZA DE AGUA
 DULCE Y TOBA.

DISCORDANCIA.

GRAUVACA, ARENISCA Y LUTITA.

CALIZA DELGADA Y LUTITA.

DISCORDANCIA (?).

CALIZA ARCILLOSA CON LENTES DE PEDERNAL.

CALIZA ARRECIFAL EN BANCOS GRUESOS Y DOLOMITA.

CALIZA.

CALIZA ARENOSA, ARENISCA Y LUTITA.

CALIZA.

LUTITA Y ARENISCA ARCILLOSA.

LUTITA CARBONOSA, ARENISCA, ARCOSA, CALIZA Y
 DOLOMITA ARCILLOSA.

ARENISCA, LIMOLITA, LUTITA Y CALIZA.

DISCORDANCIA

ARENISCA, LIMOLITA, Y ROCAS VOLCANICAS DE
 COMPOSICION RIOLITICA Y DACITICA.

FIGURA : 2

Algunos autores han subdividido la Formación Aurora en dos o tres unidades debido a que presenta cambios litológicos en ciertas localidades distantes, como Naica, Chih. y Concepción del Oro, Zac., pero en la región de la Sierra de Mapimí es bastante uniforme y Clemons y McLeroy (1965) la consideran una sola unidad. En el trabajo de Salas (1971) se describen cuatro tipos de rocas carbonatadas en esta región: Calcilutita a calcarenita fosilífera, dolomita ferrífera, calcilutita piritosa y calcilutita dolomítica. Este mismo autor, en base a estudios petrográficos y de campo, dice, respecto al origen de la Caliza Aurora, que las texturas observadas indican la depositación de material calcáreo en ambiente de baja energía y postula que capas individuales fueron dolomitizadas en la diagénesis temprana, porque son comunes las interestratificaciones de dolomita y caliza, habiéndose favorecido el reemplazamiento de calcita por dolomita en las partes de grano más fino, no fosilíferas, de las rocas carbonatadas.

El Tronco El Sarnoso

Del Eoceno al Oligoceno se emplazaron en las rocas estratificadas cuerpos ígneos como troncos, cuellos, diques y diquestratos, de los que el más importante por su magnitud es el Tronco El Sarnoso, que ha sido intensamente erosionado y tiene un afloramiento de unos 75 km², en forma circular, al poniente de Dinamita, Dgo. Son comunes los diques de composición felsítica y aplítica. Se menciona la alta proporción de sodio a potasio y el bajo contenido de magnesio. El granito gris a rosa intemperiza a café amari-

lento y cantos esferoidales (Clemons y McLeroy, 1965).

De acuerdo a determinaciones geocronométricas y observaciones de campo, Carrasco (1980, p.47) considera que las rocas ígneas intrusivas de esta provincia tienen una edad oligocénica temprana a oligocénica media.

La composición de las rocas del Tronco El Sarnoso es muy variada. Salas (1971) determinó veinte subdivisiones texturales, encontrando que tres son las principales: El granito El Sarnoso, que constituye la masa del tronco y que se caracteriza por su textura gráfica, color gris claro a crema, teniendo como componentes esenciales plagioclasa sódica, perfitita y cuarzo, como accesorios aegirina-augita, riebeckita, biotita y menores fluorita, epidota, esfena, apatita y pirita. Los otros dos tipos de roca rodean al granito y forman un escudo de monzonita y diorita en el contacto con las rocas carbonatadas circundantes. Dicho autor también señala que los episodios de actividad magmática fueron de cinco a siete, siendo los tres tipos de roca mencionadas del primer episodio. Infiere que dos o tres episodios fueron intrusiones de magma granítico, seguido por diques apífticos, diques de alaskita y el emplazamiento de diques pegmatíticos cuarcíferos.

Metamorfismo de contacto en la Formación Aurora

Por efecto de los fluidos y el calor generado por el emplazamiento de los cuerpos ígneos, se originó una serie de rocas metamórficas de contacto. Las más abundantes fueron los mármoles,

en los que Salas (1971) reconoció tres texturas principales: Amboidal, dactilítica (en las simplectitas o mármoles de intercrecimiento calcita-dolomita) y poligonal, las que aparentemente corresponden a diferencias de temperatura en la aureola, siendo la poligonal la más cercana al tronco, luego la dactilítica y la más alejada la amboidal. Alrededor del Tronco El Sarnoso hay una extensa zona de brechas de mármol color café rojizo, conteniendo hematita. Dentro de las brechas se encuentran fragmentos de caliza gris obscura a negra, no recristalizada, con estiroilitas separando la caliza de la brecha. En lugares adyacentes al intrusivo se formaron skarns que se extienden a distancias hasta de 100 m del contacto. Hay varios tipos de skarn, siendo los más abundantes los calcáreos y magnésicos.

Existen evidencias de actividad hidrotermal, como son la presencia de arcillas en los contactos de falla entre la roca ígnea y la caliza, las que reemplazaron al diópsido y parte de la calcita. En los mármoles también se observaron efectos hidrotermales (rehidratación) hasta unos 250 m del tronco. Estos efectos son más claros en los mármoles que contienen granate y dolomita, - pues aquél se alteró a clorita.

Se encuentran depósitos de fierro y manganeso cuyo origen también está asociado a los intrusivos. El primero se presenta como magnetita, hematita y limonita, ya sea en las brechas de mármol, en cuerpos masivos con mineralización de alto grado o diseminados en los skarns y el mármol. Parecen haberse formado por metasomatismo y segregación del fierro hacia arriba, al enfriar-

se la fusión de silicatos que estaba asimilando calizas. Los principales minerales de manganeso son pirolusita y psilomelano, su posible origen es el reemplazamiento de rocas carbonatadas cuando soluciones hidrotermales ascendentes, ricas en manganeso, se encontraron con aguas meteóricas descendentes. Otra posibilidad es que sean depósitos supergénéticos (Salas, 1971).

Aluvión

Los depósitos aluviales recientes que se encuentran rellenando valles y en abanicos aluviales a lo largo de las sierras, están indicados en la Hoja Torreón (Clemons y McLeroy, 1965) como aluvión. Se cree que su máximo espesor es de unos 150 m. En el Bolsón de Mapimí, el aluvión arrastrado por los ríos Nazas y Aguanaival cubre capas lacustres antiguas.

Yacimientos minerales

Merece una especial mención la Mina Ojuela, situada en la base del acantilado nororiental de la Sierra de Mapimí, a unos 8 km al oriente del poblado de Mapimí, Dgo. Esta mina llegó a ser una de las más importantes de México. Se comenzó a explotar superficialmente desde 1600, pero la etapa más intensa de trabajos mineros se realizó entre finales del siglo pasado hasta alrededor de 1938, habiéndose extraído aproximadamente 4 millones de toneladas de mineral con ensayos promedio de 3.7 g/ton de oro, 462 g/ton de plata y 14.9% de plomo (Mrose et al., 1948). Las operaciones fueron disminuyendo a partir de esa fecha, debido principalmente al agotamiento de sus minerales y en la actualidad es trabajada a pequeña escala por una cooperativa local.

La Mina Ojuela adquirió celebridad por la gran variedad de especies minerales allí encontradas, algunas bastante raras, como - las citadas a continuación.

Adamita	:	$Zn_2(OH)AsO_4$
Arsenosiderita:		$Ca_3Fe(AsO_4)_3 \cdot 3Fe(OH)_3$
Carminita	:	$Pb_3(AsO_4)_2 \cdot 10FeAsO_4$
Dussertita	:	$Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 3Fe(OH)_3$
Escorodita	:	$FeAsO_4 \cdot 2H_2O$
Mimetita	:	$3Pb_3(AsO_4)_2 \cdot PbCl_2$
Hemimorfita	:	$H_2Zn_2SiO_5$
Plattnerita	:	PbO_2
Wulfenita	:	$PbMoO_4$

Los minerales de Ojuela son depósitos de reemplazamiento en calizas y consisten de galena, esfalerita, pirita y arsenopirita en una matriz de cuarzo, dolomita y fluorita. La arsenopirita es abundante, formando a veces cuerpos considerables. Los minerales oxidados se caracterizan por la abundancia de arseniatos - (Foshag, 1937), siendo ejemplos los primeros seis minerales de la lista anterior.

Otros recursos de la región lo constituyen depósitos de fierro y manganeso que se han explotado en el área de Dinamita, Dgo., especialmente éste último, desde aproximadamente 1942, pero cuyas actividades fueron disminuyendo por baja en el precio del manganeso. Ayub (1960) considera que podría ser una región importante en producción de manganeso si se hace más trabajo de ex-

ploración y se instala una planta concentradora. Este mismo autor menciona que en la región se explotan, además, fluorita, -estroncio, oro, plata, plomo, zinc, mármoles y caolín. Actualmente se observa una explotación intensa de calizas y mármoles. La mineralización, como ya se había mencionado, está íntimamente ligada a las intrusiones del Oligoceno, por lo que se infiere que su edad es aproximadamente la misma. Ocurre principalmente en calizas de la Serie Comancheana (Caliza Aurora, Caliza Cuesta del Cura y Formación La Peña). Es una área atractiva - para explorar por la posibilidad de encontrar depósitos minerales económicos (Carrasco, 1980).

Arsénico y sus minerales

El arsénico es un elemento calcófilo que se combina fácilmente con el azufre para formar sulfoarseniuros de cobre, níquel, hierro y cobalto y sulfosales de cobre, plata y plomo. Se asocia a otros radicales y puede substituírse por $(PO_4)^{3-}$, por lo que es igualmente un elemento oxífilo, ya que el radical $(AsO_4)^{3-}$ entra en la composición de muchos minerales (Barland et al., 1978).

El arsénico es de los últimos elementos que se enriquecen en las etapas postreras de cristalización magmática, separándose a partir de la etapa pegmatítica, seguido por el bismuto y el antimonio. En esta etapa se separan cantidades notables de arsenopirita ($FeAsS$) y loellingita ($FeAs_2$); sin embargo, la mayor parte de minerales independientes no aparece hasta las fases neumatolítica e hidrotermal (Rankama y Sahama, 1954).

La arsenopirita es el más abundante de los minerales de arsénico, siendo menores el oropimente (As_2S_3) y el rejalgár (AsS). A la primera se le encuentra sobre todo ligada a intrusiones ácidas e hiperácidas. Al alterarse los arseniuros y sulfosales, el arsénico oxidado al estado As^{5+} puede reprecipitar bajo la forma de arseniátos de cobre, fierro, zinc, plomo, etc., pero también puede ser absorbido por los hidróxidos de fierro, de allí su presencia en ciertos minerales de fierro de origen sedimentario.

Los minerales de arsénico oxidados, o sea los arseniátos, son muy numerosos y para los objetivos de este estudio, únicamente se mencionarán los cálcicos, magnésicos y calcimagnésicos. Estos minerales se presentan normalmente en las zonas de oxidación de yacimientos ricos en arsénico. Por lo general, tienen características semejantes y es difícil identificarlos sin efectuarles un análisis por difracción de rayos x. Comunmente son incoloros o blancos, con lustre brillante, nacarado u opaco, presentándose en eflorescencias, costras, capas o drusas de cristales aciculares. Son poco estables, a excepción de la vladimirita y la talmessita, por lo que casi no se les encuentra cerca de la superficie. Los reportados por Pierrot (1964) son los siguientes:

Ortoarseniátos bicálcicos

Farmacolita : $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Haidingerita : $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Weillita : $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2$

Ortoarseniato tricálcico



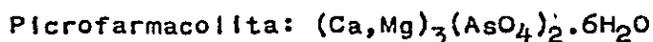
Biarseniatos pentacálcicos



Ortoarseniato trimagnésico



Arseniatos calcomagnésicos



Antecedentes históricos de la talmessita

Problemas de nomenclatura

En 1953 E. I. Nefedov llama belovita a un arseniato de calcio y magnesio hidratado, procedente de Tuvinskaya, Siberia. Lo asocia a los minerales del grupo de la roselita $\text{Ca}_2(\text{Co}, \text{Mg})(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dándole la fórmula $\text{Ca}_2(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y reporta su dureza, densidad y propiedades ópticas, no así las cristalográficas.

En 1954, L. S. Borodin y M. E. Kasakova le dan el mismo nombre de belovita a un mineral del grupo de la apatita, con estroncio predominante y tierras raras.

C. Frondel definió, en 1955, la beta roselita $\text{Ca}_2(\text{Co}, \text{Mg})(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, triclinica, dimorfa de la roselita monoclinica. Incluye el diagrama de polvos, análisis químico, propiedades físicas y ópticas de este mineral de Schneeberg, Sajonia (Alemania). Un se-

gundo yacimiento en Bou Azzer, Marruecos, fué reportado en 1956 por F. Permingeat.

L.K. Yakhontova y G. A. Sidorenko (1956) publicaron un nuevo estudio de la belovita de Nefedov, considerándola isoestructural de la roselita monoclinica y, además, trataron de relacionarla con la belovita de Borodin y Kasakova atribuyéndole la fórmula $H_2Ca_2Mg(AsO_4)(OH,F)_2$. Propusieron, para distinguir los dos minerales, los nombres de arsenato-belovita (Nefedov) y fosfato-belovita (Borodin y Kasakova).

P. Barland y P. Herpin (1960) describieron un arseniato calcomagnésico hidratado de la mina Talmessi, en Anarak, Irán Central, isomorfo de la beta roselita y le dieron el nombre de talmessita, con la fórmula $Ca_2(Mg,Ba,Ni)H_2(AsO_4).(OH)_2$. Estos autores admiten la existencia de una serie isomorfa beta roselita-talmessita. Los estudios cristalográficos les permitieron determinar la red triclinica de dichos minerales.

En 1964, R. Pierrot, después de estudiar los materiales tipo proporcionados por diferentes museos e investigadores, demostró que la belovita de Nefedov (1953) y la talmessita de Barland y Herpin (1960) son la misma especie mineral, señalando que se debe utilizar un solo nombre. Propone, además, que se exprese con la fórmula $Ca_2Mg(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$, considerando como impurezas o substituciones poco importantes los elementos adicionales que reportan otros autores. También comprobó que la talmessita es isomorfa de la beta roselita y, por lo tanto, triclinica.

En 1965, la Comisión de Minerales Nuevos y Nombres de Minerales

del IMA aprobó, en razón de su prioridad, el nombre de belovita para este mineral. Posteriormente, en 1976, la misma Comisión autorizó el de talmessita.

Este problema de nomenclatura se ha reflejado en la publicación de fichas de datos para difracción de rayos x de la A.S.T.M. - (actualmente su subdivisión J.C.P.D.S.), ya que primeramente la talmessita aparecía en la tarjeta 13-396 con los datos de Bariand y Herpin (1960), que después se substituyó por la tarjeta 17-164 con los datos de Pierrot (1964) y esta misma tarjeta aparece con el nombre de arsenato-belovita en la edición de 1981 para fichas de minerales.

En el presente estudio se utilizará el término talmessita, que es el más ampliamente aceptado por los mineralogistas y que por su originalidad no causa confusión.

Mineralogía de la talmessita

Propiedades físicas

La talmessita es normalmente incolora, blanca o crema, aunque se reporta verde claro en las variedades níquelíferas (Bariand y Herpin, 1960; Cesbron et al., 1972) y rosa en las variedades cobaltíferas (Cesbron et al., 1972; Catti et al., 1977).

Se presenta en agregados cristalinos, formando costras, masas globulares, drusas o vetillas, generalmente asociados a una matriz calcárea y a otros arseniatos como vladimirita, conicalcita, etc. Sus cristales con frecuencia son muy pequeños, prismáticos, menores de 1 mm de longitud, aunque se menciona un ejemplar de

Marruecos donde sobrepasan 1 cm (Pallix, 1978). Los cristales individuales son transparentes y de lustre diamantino, pero las masas de pequeños cristales aparecen opacas. Su peso específico varía de 3.4 a 3.6, dureza de 4 a 5 en la escala de Mohs.

Los ejemplares de la mina Talmessi, en Irán, presentan siempre una fluorescencia amarilla limón bajo la luz ultravioleta - (Barland, 1963), pero en los de otras localidades no se ha reportado esta característica.

Propiedades ópticas y cristalográficas

Los datos de Barland y Herpin (1960) son los más aceptados y se anotan a continuación.

Indices de refracción: n_p : 1.672
 n_m : 1.686
 n_g : 1.698

2V : bastante abierto

Signo óptico : negativo

Sistema cristalino : triclinico P_1

Celda unitaria : a : 5.89 , b : 7.69 , c : 5.56 A
 α : 112°38', β : 70°49', γ : 119°25'

Los índices de refracción reportados por Nefedov (1953) son muy semejantes a los anteriores, variando en el signo óptico, que lo anota positivo. Este autor no determinó la cristalografía.

Catti et al. (1977) calcularon por difracción de rayos x - algunos parámetros diferentes:

Sistema cristalino : triclinico P_1

Celda unitaria : a : 5.874, b : 6.943, c : 5.537 A
 α : 97.3 , β : 108.7 . γ : 108.1 °

Propiedades químicas

La fórmula química más aceptada para la talmessita es: $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, pero algunos autores, basándose en la alta temperatura de deshidratación de este mineral (alrededor de 500 °C) consideran que debe ser $\text{Ca}_2\text{MgH}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$, correspondiendo el agua a oxhidrilos y no a agua de cristalización. Se han reportado Ni, Co, Ba, Sr en su composición, que substituyen a parte del Ca y Mg. Análisis químicos de talmessita de varios yacimientos se presentan en la Tabla 1.

Bariand y Herpin (1960) hablan ya señalado la existencia de una serie isomorfa triclinica, de fórmula general $\text{Ca}_2^{+2}\text{R}^{+2}\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$, donde R sería Co en la beta roselita y Mg en la talmessita, encontrando composiciones intermedias. Posteriormente, Cesbron et al. (1972) indican la posibilidad de una serie ternaria, con la misma fórmula general, pero donde R representaría Mg, Co y Ni. El extremo con únicamente níquel aún no ha sido reportado, pero estos autores suponen su existencia basándose en la variedad níquelífera que ellos caracterizaron (Tabla 1, columna 4).

Recientemente, Sturman y Dunn (1980) dieron a conocer una nueva especie mineral, la gaitita $\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Zn}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$, de Tsumeb, Namibia (Africa), para la cual señalan que es isomorfa de la talmessita, con la que constituye una serie en solución sólida, lo cual es comprobado por un fuerte zoneamiento Mg-Zn en los cristales, incrementándose el zinc hacia el centro de los mismos. La talmessita es estable en medio acuoso y soluble en ácidos.

Tabla 1. Composición química de la talmessita (%).

Compuesto	1	2	3	4	5
As ₂ O ₅	47.70	54.76	54.90	51.30	54.95
CaO	29.50	26.97	26.70	26.60	26.81
MgO	7.50	8.81	9.50	4.90	9.63
NiO	0.80	-	-	7.30	-
CoO	-	-	-	0.30	-
BaO	3.20	-	-	-	-
SrO	-	-	0.20	-	-
CO ₂	-	-	-	(1.00)	-
H ₂ O	6.70	9.55	(8.70)	8.20	8.61
Total	95.40	100.09	100.00	99.60	100.00

1-Talmessi, Irán; analizada por métodos químicos (Bariand y Herpin, 1960).

2-Tuvinskaya, Siberia; métodos químicos (Pierrot, 1964).

3-Talmessi, Irán; microsonda electrónica (Pierrot, 1964).

4-Bou-Azzer, Marruecos; métodos químicos. El CO₂ se calculó a partir del ATG. (Cesbron et al., 1972).

5-Composición teórica.

Yacimientos, asociaciones y origen de la talmessita.

Las localidades conocidas de este mineral ya se han mencionado anteriormente, pero se insistirá indicando que son cuatro:

Tuvinskaya, Siberia, U.R.S.S. (Nefedov, 1953)

Talmessi, Anarak, Irán (Bariand y Herpin, 1960)

Irhtem, Bou-Azzer, Marruecos (Bonnici y Pierrot, 1965)

Lucéram, Alpes Marítimos, Francia (Féraud et al., 1976)

Si se incluye la variedad de Zn (gaitita) de Sturman y Dunn (19-80) de Tsumeb, Namibia, se podrían considerar cinco localidades. Examinando las características de los yacimientos, se puede generalizar que: Se encuentran en zonas de oxidación de distritos mineros de plomo, zinc, cobre, etc., donde existen minerales hipogénicos de arsénico, como arseniuros de fierro, cobalto, níquel, cobre, etc. Las rocas encajonantes son calizas y dolomías, presentándose con frecuencia barita, fluorita y yeso entre los minerales de ganga. Aparentemente, el clima seco y árido, además de la estructura geológica con pliegues recientes y formaciones lagunares en cuencas cerradas, han condicionado un tipo metalogénico definido, propicio a la formación de estas asociaciones minerales (Bariand, 1963). Este autor describe para el yacimiento de Anarak, Irán, condiciones semejantes a las encontradas en la Comarca Lagunera y sierras circundantes, inclusive su latitud es parecida y él mismo señala la similitud de la mineralización en esa región con zonas del norte de México y sur de los Estados Unidos. Sobre la génesis de la talmessita y otros arseniatos de calcio y magnesio, Pierrct (1964) indica que probablemente la oxidación de los minerales primarios de arsénico causa la liberación del ácido arsénico (H_3AsO_4), cuya lixiviación pone en circulación aguas ácidas. Las sales del ácido arsénico únicamente precipitan cuando la acidez es casi neutralizada. Esto se favorece si la ganga es carbonatada y, en ausencia de metales pesados, especialmente cobre y plomo, precipitarán arseniatos de calcio. Una ganga dolomítica favorecerá la formación de arseniatos dobles Ca-Mg.

MATERIALES Y METODOS

Muestreo

El trabajo de campo se realizó en dos etapas. La primera, efectuada en diciembre de 1978, consistió en un reconocimiento somero y muestreo en el Cerro El Fénix, situado junto al poblado San Ignacio, a unos 2 km al noroeste de Gómez Palacio, Dgo. (Fig. 21), en cuya cima existen unas pequeñas obras mineras de donde se extrajo el material con alto contenido de arsénico que motivó este estudio. También se obtuvieron muestras de agua de los pozos cercanos. Al efectuar los análisis mineralógicos y químicos de las muestras anteriores, se decidió ampliar el área de estudio hacia el NW, con la idea de tener más datos sobre la distribución y tendencia del arsénico y su posible relación con la mineralización en la Sierra de Mapimí. Para tal fin, en la segunda etapa, llevada a cabo en diciembre de 1980, se continuó con el reconocimiento geológico y muestreo de la región, a partir del Cerro de la Pila, al extremo oeste de Gómez Palacio, Dgo., continuando hacia la Sierra de Mapimí por la carretera estatal B-4 y brechas transitables, terminando en el poblado de Dinamita, Dgo. (Apéndice y Fig. 21).

Para complementar el estudio se obtuvieron muestras de agua en algunas tomas públicas y pozos de poblados en el Mpio. Francisco I. Madero, Coah., al noreste de las ciudades de Gómez Palacio, Dgo. y Torreón, Coah.

Se seleccionaron para esta investigación 25 muestras de roca y 8 de agua.

Preparación de las muestras.

Una fracción representativa de cada muestra de roca se pulverizó a -100 mallas (0.149 mm), para utilizarla en los análisis químicos, de espectrografía de emisión y de difracción de rayos x. El resto del material, constituido por "muestras de mano", se empleó para la descripción megascópica, preparación de láminas delgadas, superficies pulidas y para aislar al microscopio este reoscópico una fracción, de aproximadamente dos gramos, del mineral de las vetillas blancas y cremas de la muestra RR-6c, en las que previamente se había identificado un mineral de arsénico. A esta fracción se le efectuó una separación con tetrabromometano (TBE, $d: 2.97 \text{ g/cm}^3$), en centrífuga, para purificarla. Esta muestra, a la que se llamó "fracción de arseniatos", se utilizó para análisis químicos, termoanálisis, difracción de rayos x y espectrofotometría infrarroja.

En cuanto a las muestras de agua, se analizaron por arsénico y una alícuota de 100 ml se evaporó a 100-110 °C, a sequedad y peso constante, para efectuar en el residuo su análisis por espectrografía de emisión.

Exámen megascópico.

Las observaciones se hicieron tanto visualmente como con un microscopio estereoscópico, empleando aguja de disección y ácido clorhídrico diluido.

Análisis semi-cuantitativo por espectrografía de emisión.

Se utilizó para este análisis un espectrógrafo de emisión ARL, de 1.5 m de distancia focal, dispersión de 7Å/mm, rejilla de 1000 líneas/mm y el sistema de arco de corriente directa. La región usada fué la ultravioleta (2200 a 4600 Å). El método analítico empleado fué el de Harvey (1964), con electrodos de grafito de 6.4 mm de diámetro, colocando 10 mg de la muestra mezclados con 10 mg de grafito en polvo en la copa del electrodo que funciona como cátodo, siendo el ánodo de sección plana. Las condiciones durante la excitación con el arco eléctrico formado entre los electrodos fueron 250 V. y 6-9 A y el tiempo requerido para volatilizar las muestras fué de 3 a 4 minutos cada una. El tramo de película de 35 mm donde se registraron los espectros fué revelado y luego interpretado en un comparador donde se identificaron los elementos presentes y su contenido fué estimado visualmente, basándose en la densidad fotográfica de las líneas espectrales.

Análisis químico.

Las muestras con bajo contenido de arsénico (menor de 0.1%) y en las que no fué detectado en el análisis espectrográfico, se analizaron por el método colorimétrico del dietilcarbamato de plata Ag-DDTC (A.S.T.M., 1979), por el cual la arsenamina AsH_3 generada en el ataque de la muestra, forma un complejo de color rosa a rojo con dicho reactivo, el que es medido espectrométricamente.

Las muestras con alto contenido de arsénico se analizaron por el método de destilación (Comisión de Fomento Minero, 1977), - que consiste en la producción de cloruro arsenioso mediante el ataque y reducción de la muestra, el que se destila y recibe en solución alcalina, valorándolo por yodometría.

La "fracción de arseniatos" se analizó por espectrometría de - energía dispersiva de rayos x (EDAX) para As, Ca, Fe y Sr y por espectrofotometría de absorción atómica (AA) para Mg, Si, Al, - Mn, Cu, Ti y V. Con estos resultados se calcularon los contenidos aproximados de los minerales (análisis modal).

Análisis por difracción de rayos x.

La mineralogía de las muestras se determinó por difracción de - rayos x, usando un difractómetro Philips PW-1010, con monocromador de LiF para eliminar la radiación beta y la fluorescente. Los registros se corrieron de un ángulo de Bragg 2θ de 70° a 2° . Las condiciones de operación fueron:

radiación	:	Cu K-alfa
voltaje tubo	:	40 KV
corriente tubo	:	20 mA
detector	:	centelleo
voltaje detector	:	900 V
escala	:	400 cps
rejillas	:	1° , 0.1° , 1°
constante tiempo	:	2
vel. goniómetro	:	$1^\circ/\text{min}$

Las especies minerales se identificaron por comparación con los valores d_{hkl} del archivo de datos para difracción de rayos x - (J.C.P.D.S., 1974) y referencias consultadas.

Termoanálisis.

Análisis térmico diferencial (ATD) y térmico gravimétrico (ATG) se hicieron en un termoanalizador Rigaku Thermoflex, simultáneamente, sobre la "fracción de arseniatos". Se utilizaron 20 mg de muestra, portamuestras de platino, alúmina calcinada como inerte, en aire y termopar de Pt-Pt.Rh (10%),

Las condiciones de operación fueron:

vel. calentamiento	:	10 ^o /min
temp. máxima	:	1200 °C
intervalo ATD	:	25 μ V
" ATG	:	10 mg
" temperatura	:	1500 °C
velocidad papel	:	2.5 mm/min

Espectrofotometría infrarroja.

Espectros de absorción de radiación infrarroja se obtuvieron en un espectrofotómetro Shimadzu IR-440, de rejilla y de doble haz, en la región de frecuencia de longitud de onda 5000 a 300 cm^{-1} . Se utilizaron pastillas de KBr prensadas, constituyendo la muestra el 0.5% en peso. Se efectuó este análisis sobre la fracción de arseniatos y los productos de calcinación a 350, 600 y 800 °C.

Petrografía.

Láminas delgadas de las muestras consolidadas se prepararon, omitiendo las deleznable. Se utilizó un microscopio petrográfico Leltz Ortho-Lux para hacer una observación somera de las láminas, exceptuando las de rocas directamente relacionadas con el mineral de arsénico que se estudiaron con mayor detalle y se fotografiaron.

Microscopía electrónica de barrido.

La microscopía electrónica de barrido se aplicó exclusivamente a las muestras con mayor contenido de arsénico para observar la forma y tamaño de los cristales de talmessita, determinar su composición química y efectuar barridos por los elementos detectados en el mineral de arsénico y minerales asociados.

El equipo utilizado es un microscopio electrónico de barrido (SEM), JEOL JSM-35, con dos espectrómetros de rayos x, constituyendo en conjunto una microsonda electrónica. Se emplearon potenciales de 20 y 25 KV, amplificaciones relativamente bajas y un evaporador para sombrear las preparaciones con carbón.

Para apreciar las formas cristalinas se seleccionaron pequeños fragmentos (menores de 8 mm de diámetro y 4 de altura), donde aparecían cavidades con agregados drusiformes y en las vetillas de arseniatos de la muestra RR-6c. En el caso de las fracciones para análisis cualitativo y barrido de distribución de elementos, se prepararon cortes y superficies pulidas.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Exámen megascópico

La mayoría de las muestras es caliza de color gris, que intemperiza a ocre. Las calizas presentan vetillas de calcita recristalizada y de limonita y, en algunos casos, huellas de disolución, estilolitas y nódulos de pedernal. Existen variaciones en la textura, encontrando calizas de grano fino, medio, brechoídes, algunas sin fósiles aparentes y otras muy fosilíferas, habiéndose observado principalmente gasterópodos, rudistas y amonitas. Difieren de la descripción general anterior, algunas de las muestras colectadas en las pequeñas obras mineras del Cerro El Fénix, donde se encontraron rocas clásticas (RR-6a y RR-7a) - constituidas por fragmentos de cuarzo, pedernal, feldespatos, minerales arcillosos, óxidos de fierro, etc., la primera cementada por un mineral no identificado megascópicamente y la otra por calcita. La RR-6c, con capas ricas en arsénico. La RR-17 que es un mármol de contacto, cercano al intrusivo El Sarnoso. La RR-18 corresponde a la roca ígnea del intrusivo granítico y las RR-19a y RR-19b que son rocas metamorfoseadas de otro contacto con el intrusivo, en las cercanías de Dinamita, Dgo. Las descripciones individuales de las muestras aparecen en el Apéndice y su localización en la Fig. 21.

Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2 para las muestras de roca y en la Tabla 3 para los residuos de agua.

En concordancia con los tipos de rocas mencionadas, muchas de las muestras contienen calcio en abundancia, con un contenido menor de magnesio, silicio, aluminio y fierro. En las muestras RR-11a y RR-17 el magnesio está en alta proporción, denotando una composición dolomítica. Otros elementos menores, que por lo general están presentes, son: Sodio, bario, titanio, manganeso, plomo, cobre y estroncio, además de trazas de azufre, zirconio, etc. Los elementos observados en las muestras cuyo principal constituyente es el calcio, coinciden bastante con los reportados para calizas por Huang (1968).

En las rocas clásticas (RR-6a y RR-7a), en los nódulos de peder-
nal (RR-11b), en la roca ígnea (RR-18), en la roca cloritizada (RR-19b), el silicio está en mayor proporción y en la brecha de mármol (RR-19a) el fierro es el elemento más abundante.

En tres de las muestras (RR-6a, -6b y -6c) el arsénico es mayor del 1%, en algunas otras se apreció en menor proporción y en el resto no se detectó. Cabe señalar que el límite de sensibilidad para el arsénico, con el método utilizado, es de 0.03%, lo cual es más bien una sensibilidad baja.

Análisis químico

Los datos de los análisis de arsénico aparecen en la Tabla 4. Las cifras marcadas con asterisco corresponden a las muestras analizadas por el método de destilación (Comisión de Fomento Mi-
nero, 1977) y el resto lo fueron por el método colorimétrico de Ag-EDDTC (A.S.T.M., 1979).

Tabla 2. Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión sobre muestras de roca.

MUESTRA	ELEMENTOS				
	Más de 10%	1 a 10%	0.1 a 1%	0.01 a 0.1%	menos de 0.01%
RR- 1	Ca	Mg	Al, Si, Fe	Ti, Na, Cu, Sr, Pb, Mn	Ba, Ag, Cr
- 2	Ca	Mg	Si, Fe, Al	Ba, Sr, Cu	Mn, <u>As</u>
- 3	Ca	Si	Al, Mg, Fe, Na, Ba	Ti, Mn, Pb, Sr	Cu
- 4	Ca	Si, Mg, Al	Fe, Na	Ti, Cu, Mn, Sr	Ba, Cr
- 5	Ca	Si, Mg, Al	Fe, Na	Mn, Ti, Cu, Sr, Pb	Ba, Cr
- 6a	Si, <u>As</u>	Al, Ca, Mg	Fe, Na, K, Sr, Ba, Ti	V, Cu	Mn, Zr, Mo
- 6b	Ca	<u>As</u> , Si, Mg	Al, Fe, Ba	Pb, Sr, Ti, Cu	Mn, V
- 6c	Ca	<u>As</u> , Si, Al, Mg	Sr, Ti, Na, Ba, Fe	Pb, Mn, V, Cu	Cr, Zr
- 7a	Ca, Si	Al, Na, Fe, Mg	Ti, Ba, K	Sr, Mn, Zr, Pb, V	Cr, Cu
- 7b	Ca	Si, Mg, Al	Ba, Na, Fe, Sr	Ti, Pb, Mn, <u>As</u>	Cu, Zr, V, Cr
- 8	Ca	Si, Mg, Ba	Al, Fe, Sr	Na, Ti, Pb	Cu, Mn, V
- 9	Ca	Mg	Si, Fe, Ba	Al, Sr, Pb	Cu, Mn, Ti, V
-10a	Ca	Si, Mg	Al, Fe, Ba	Pb, Sr, Ti, Cu, <u>As</u>	Mn
-10b	Ca	Mg	Al, Fe, Si	Pb, Ba, Sr, <u>As</u>	Mn, Cu, Cr
-11a	Ca, Mg	- -	Si, Al, Fe	Na, Sr, Mn, Pb, Cu	Ti, Cr
-11b	Si	Ca, Fe	Mg, Al	Mn, Cu, Sr	Ti, Ba, Cr
-12	Ca	Si, Mg	Al, Fe	Sr, Na, Cu, Mn, Pb	Ti, Cr
-13	Ca	Si, Mg	Al, Fe	Sr, Na, Cu	Mn, Ti, Cr
-14	Ca	Mg	Si, Fe, Al, Sr	Mn	Ti, Cu, Ag
-15	Ca	Mg	Si, Al, Fe, Sr	- -	Mn, Ti
-16	Ca	Mg, Si, Al	Fe	Na, Sr, Ti, Mn, Pb	Cu
-17	Ca, Mg	- -	Si, Al, Fe	Sr, Na, Mn, Pb	Cu
-18	Si, Al	Na, Ca, K, Fe	Mg	Sr, Ti, Mn, Pb, Zr, Cu	Ba, Be, Y
-19a	Fe, Ca	Si, Al	Mg, <u>As</u> , Sb	Mn, Sr, Cu, Ti, Mo, Sn, Pb	Ba, V, Be
-19b	Si, Ca	Al, Fe, Mg	Ti	Ba, Zr, Mn	<u>As</u> , Cu, Sn, Be

Tabla 3. Análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión sobre residuos de las muestras de agua.

MUESTRA	ELEMENTOS				
	Más de 10%	1 a 10%	0.1 a 1%	0.01 a 0.1%	menos de 0.01%
N-1	Ca, Mg	Na, Si	Sr	Fe, B, Mo	Ba, Cu
-2	Ca, Mg	Na, Si	Sr	Fe, Pb, B, Ba	Cu, Mo
-3	Ca, Mg	Na	Si, Sr	Fe, Pb, B, Al, Ba	Cu
-4	Ca, Na	Mg, Si, K	Sr	Fe, Cr, Al, Cu, Pb, B	- -
-5	Ca, Na	Si, Mg	- -	Mn, Sr, Al	B, Fe, Cu, V
-6	Na	Ca, Si	Al, Mg	Fe, Sr	B, V, Cu, Mn
-7	Na	Ca, Si, Al	Mg, Fe	Sr, Mn, Ti, B	V, Mo, Cu, As, Ag
-8	Na	Ca, Mg	Si	Sr, B	Fe, Al, Mo, Cu

Tabla 4. Contenido de arsénico en las muestras *

MUESTRA	As ppm	MUESTRA	As ppm
RR- 1	18	RR-13	43
- 2	300	-14	4
- 3	100	-15	8
- 4	84	-16	8
- 5	44	-17	3
- 6a	87,000 **	-18	33
- 6b	22,000 **	-19a	2,100 **
- 6c	35,000 **	-19b	420
- 7a	102	N- 1	tr
- 7b	450	- 2	tr
- 8	100	- 3	tr
- 9	100	- 4	0
-10a	400	- 5	tr
-10b	150	- 6	tr
-11a	14	- 7	0.7
-11b	8	- 8	tr
-12	7		

* Análisis hechos por los Quím. Raquel Flores y Francisco Balderas de la C.F.M.

** Método de destilación

Mineralogía por difracción de rayos x

La mineralogía determinada por rayos x confirma las observaciones hechas anteriormente: Una gran parte de las muestras contiene principalmente calcita, presentándose en dos abundante dolomita. Como minerales accesorios contienen cuarzo, feldespatos, arcillas y, algunas, hematita, yeso, basanita, dolomita, barita y micas.

Las muestras que difieren son, en primer lugar, las de alto contenido de arsénico, donde se identificó talmessita, que en la muestra RR-6a se encuentra asociada a abundante cuarzo y en menor proporción montmorillonita, feldespatos, caolinita, calcita y zeolita no identificada. En las muestras RR-6b y -6c, la talmessita se encuentra con calcita y cantidades menores de cuarzo, montmorillonita y hematita. Las otras muestras son: La del nódulo de pedernal (RR-11b), que es principalmente cuarzo, con calcita y dolomita; la del intrusivo granítico (RR-18) con cuarzo, feldespatos y micas; la de la brecha de mármol (RR-19a) con abundantes hematita y calcita y menores cuarzo, micas y dolomita y, finalmente, la roca metamorfoseada verdosa (RR-19b) en contacto con la anterior, que contiene principalmente clorita, además de calcita y micas.

Los resultados detallados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Mineralogía por difracción de rayos x.

MUESTRA	PROPORCION RELATIVA DE MINERALES			
	MAYOR	MEDIANA	MENOR	PEQUEÑA
RR- 1	C	--	--	Q
- 2	CC	--	Q, F	--
- 3	CC	--	--	Q
- 4	CC	--	--	Q, D
- 5	CC	--	Q	Mo
- 6a	QQ	T, K, Mo	F, Z	C
- 6b	CC	--	T, Q	H
- 6c	CC	T, Q	Mo	--
- 7a	CC	Q	F, Mo	--
- 7b	CC	--	Q	--
- 8	CC	--	Q, Y, Ba	B
- 9	CC	--	--	--
- 10a	CC	--	Q	--
- 10b	CC	--	--	Q
- 11a	CC, D	--	Q	--
- 11b	QQ	C	DD	--
- 12	CC	--	QQ	--
- 13	CC	--	QQ	--
- 14	CC	--	QQ	--
- 15	CC	--	QQ	--
- 16	CC	--	Q	Mi, K
- 17	C, D	--	--	Q
- 18	Q, F	Mi	--	--
- 19a	H, C	--	Q, Mi	D
- 19b	Cl, C	Mi	--	--

B: Basanita, Ba: Barita, C: Calcita, Cl: Clorita, D: Dolomita, F: Feldespatos, H: Hematita, K: Caolín, Mi: Micas, Mo: Montmorillonita, Q: Cuarzo, T: Talmessita, Y: Yeso, Z: Zeolitas.

Caracterización de minerales de arsénico

Los análisis descritos hasta el inciso anterior permitieron conocer la composición química y mineralógica, así como el contenido de arsénico, de todas las muestras colectadas. Los siguientes estudios se enfocaron a la caracterización del mineral de arsénico, no descartando la posibilidad de que exista más de uno.

Con excepción de los estudios microscópicos, se trabajó con la fracción aislada y purificada por separación en tetrabromoetano, o sea la fracción de arseniatos.

A fin de tener un conocimiento previo sobre la composición de esta muestra, se efectuó un análisis semicuantitativo por espectrografía de emisión. Los elementos que se identificaron fueron analizados por métodos químicos y sus resultados se presentan en la Tabla 6. El contenido de minerales, calculado a partir de éstos, aparece en la Tabla 7.

Tabla 6. Composición química de la fracción de arseniatos.

COMPUESTO	CONTENIDO %
As ₂ O ₅	49.29
CaO	25.15
MgO	7.87
SiO ₂	5.03
Al ₂ O ₃	0.51
Fe ₂ O ₃	0.16
SrO	0.12
TiO ₂	0.067
V ₂ O ₅	0.018
ZnO	0.0075
MnO ₂	0.0063
CuO	0.0025
Suma:	88.2313

Análisis hechos por la Quím.
Gloria Avila, del ININ y por Bufete Químico, S.A.

Tabla 7. Cálculo modal de la fracción de arseniatos

MINERALES	%
Talmessita	89.70
Cuarzo	3.53
Montmorillonita	3.02
Calcita	2.00
Hematita	0.16
Suma :	98.41

Mineralogía de la fracción de arseniatos por rayos x.

El difractograma obtenido (Fig. 3) presenta reflexiones que concuerdan con los valores de distancias interplanares reportadas para la talmessita: $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (tarjeta 17-164 del archivo - del J.C.P.D.S., 1974), sin embargo, se observó que las reflexiones 5.16 Å, 3.29, 2.81, 2.74, 2.60, 2.30, 2.13, 1.80, 1.55 y las menores a 1.52 Å, no están incluidas en dicha tarjeta, siendo importantes sobre todo la 2.81 y 2.74 Å, por su alta intensidad.

En la revisión bibliográfica se encontraron los datos originales para ese mineral (Bariand y Herpin, 1960), así como los de la beta roselita: $\text{Ca}_2(\text{Co}, \text{Mg})(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. (Fronde!, 1955) y la gaitita: $\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Zn}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$ (Sturman y Dunn, 1980), ambos isomorfos de la talmessita. Considerando que por la similitud de su celda unitaria deben tener distancias interplanares semejantes, se compararon sus valores con los del mineral investigado, encontrando que coinciden bastante con las reflexiones faltantes en la tarjeta mencionada.

Esta comparación es más clara se se observa la Tabla 8.

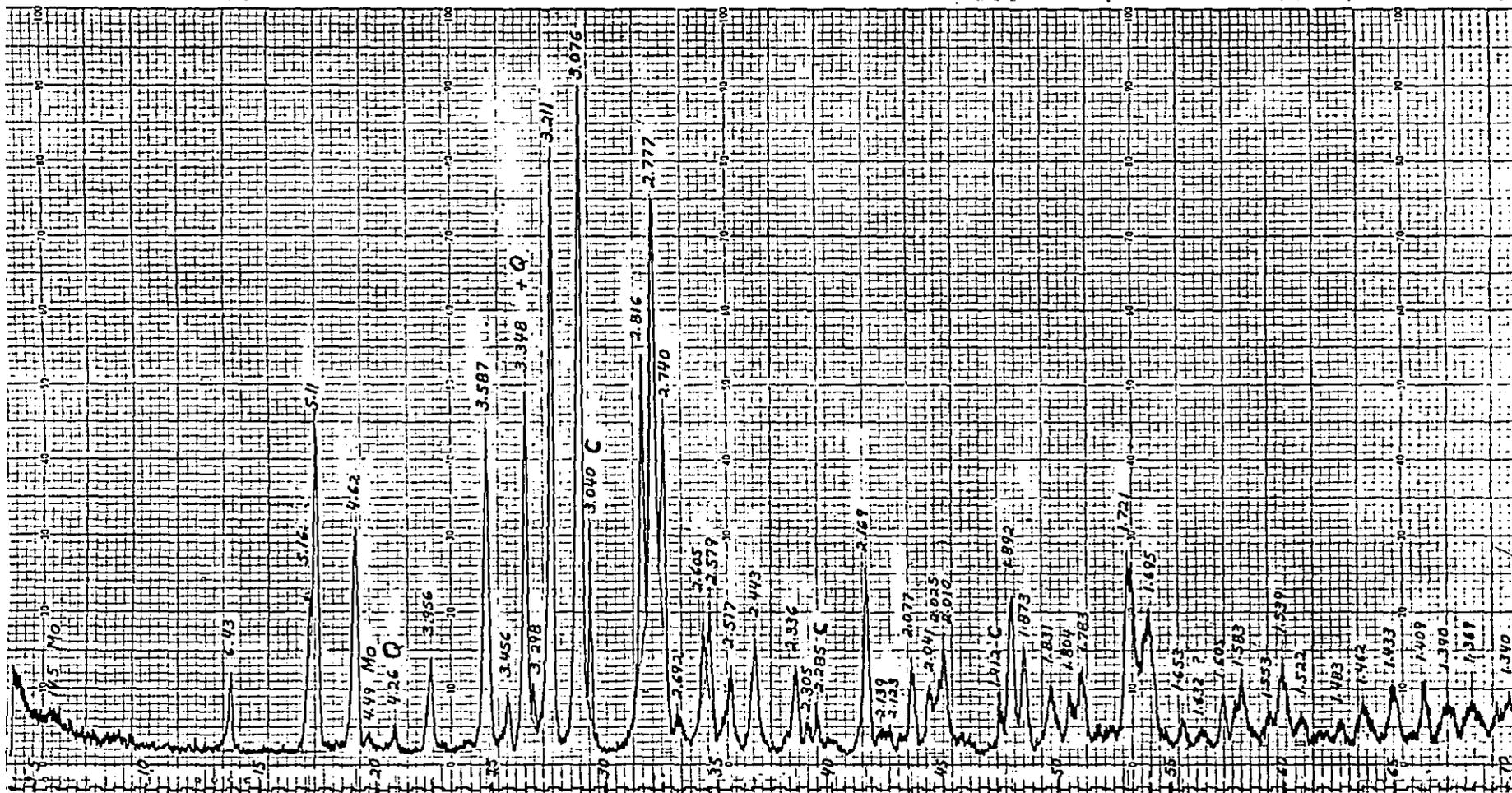


Figura 3. Difractograma de la talc de Durango. C: Calcita; Q: Cuarzo; Mo: Montmorillonita. (Radiación de Cu).

Tabla 8.

- (1) Talmessita de Gómez Palacio, Durango.
- (2) " de Anarak, Irán (Pierrot, 1964).
- (3) " " " " (Bariand y Herpin, 1960).
- (4) Beta roselita de Sajonia, Alemania (FrondeI, 1955).
- (5) Gaitita de Namibia, Africa (Sturman y Dunn, 1980)
- (6) Planos cristalinos para la talmessita de Irán (Bariand y Herpin, 1960).

Las distancias interplanares subrayadas fueron identificadas en la talmessita de Durango, pero están ausentes en la tarjeta A.S.T.M. 17-164 (columna 2).

Tabla 8. Datos de difracción de rayos x de talmessita e isomorfos.

T A L M E S S I T A						B-ROSELITA		GAITITA		(6)
(1)	(2)		(3)		(4)		(5)			
d(A)	1/I ₁	d(A)	1/I ₁	d(A)	1/I ₁	d(A)	1/I ₁	d(A)	1/I ₁	hkl
6.43	11	6.43	5	6.43	50	6.40	20	6.40	20	010
5.16	9			5.15	10	5.66	10			010
5.11	48	5.09	60	5.06	80	5.12	30	5.08	10	001
				5.03				5.05	40	100
4.62	33	4.62	40	4.61	60	4.68	10	4.64	20	111
3.956	13	3.95	10	3.94	40	3.98	40	3.958	5	101
3.587	48	3.56	60	3.57	80	3.59	60	3.581	40	121
								3.570	30	011, 110
3.456	9	3.44	5	3.44	70					T20
3.348	41	3.34	40			3.38	30	3.350	50	110
3.298	7			3.29	10			3.306	5	10T
3.211	90	3.21	80	3.19	70	3.22	40	3.208	50	020
				3.10	100			3.098	30	021
3.076	100	3.07	100	3.07	100	3.08	90	3.080	80	T11
								2.838	5	11T
2.816	42			2.82	70			2.815	30	210
2.777	77	2.77	100	2.77	90	2.75	100	2.781	100	221, 111
2.740	28							2.750	70	1T2
2.692	4	2.67	5							
2.605	11			2.60	50	2.61	20	2.607	30	122, 012
2.579	14	2.58	20	2.57	50			2.582	10	220
2.517	12	2.51	5	2.52	30	2.52	10	2.520	10	200
2.443	17	2.44	20	2.44	50	2.45	10	2.445	10	102, 021
								2.356	5	
2.336	12	2.32	5	2.32	20	2.33	10	2.335	20	222, 022
2.305	3			2.30	20			2.303	5	120
2.169	27	2.16	40	2.16	10	2.17	20	2.165	40	211, 012
2.139	3			2.13	10	2.13	10	2.135	5	030
2.123	2	2.12	5					2.118	5	230
2.077	13	2.07	10	2.06	40	2.08	20	2.071	30	210
2.041	6	2.04	5	2.03	30			2.039	10	112
2.025	3			2.02	10	2.02	10	2.022	10	121
2.010	11	2.01	20	2.00	40			2.010	20	112
1.892	21	1.89	20	1.88	60	1.894	40	1.892	30	141, 131
1.873	10	1.86	20	1.85	40	1.875	10	1.870	10	032
1.831	9	1.829	20	1.82	30			1.829	10	1T3, 221
1.804	6							1.801	10	031
1.783	9	1.782	20	1.79	30	1.790	10	1.782	15	022
				1.77	40					
1.721	23	1.717	60	1.71	70	1.719	40	1.721	60	240
								1.712	20	330
1.695	13	1.697	40	1.69	60	1.701	30	1.700	30	003, 300
1.653	4			1.656	10			1.688	5	202, 212
1.605	7	1.608	5			1.606	10	1.601	5	
1.583	9	1.584	10					1.581	20	
1.553	3							1.555	10	
1.539	11	1.538	20					1.538	10	
1.522	3							1.521	5	
1.483	3							1.492	5	
1.462	6							1.461	10	
1.433	8							1.432	5	
1.409	9							1.407	10	

Difracción de rayos x de los productos de calcinación

A 350 °C.

Disminuye la intensidad de las reflexiones de talmessita, apareciendo una reflexión amplia y poco intensa a 2.928 Å. Cuarzo y calcita permanecen y desaparece la reflexión 14.5 Å de la montmorillonita.

A 600 °C.

Se incrementa la intensidad de la reflexión a 2.919 Å; aparecen nuevas reflexiones y desaparecen otras. El compuesto con valores más parecidos a los de este diagrama es el biarseniato pentacálcico anhidro $5\text{CaO} \cdot 2\text{As}_2\text{O}_5$ (tarjeta 17-442 de I J.C.P.D.S.). El cuarzo permanece, pero ya no se observa el pico 3.03 de calcita.

A 800 °C.

Aparentemente la fase $5\text{CaO} \cdot 2\text{As}_2\text{O}_5$ persiste, aunque con menor intensidad y aparece otra con su reflexión más intensa a 2.82 Å; no se encontraron referencias que permitieran identificar con seguridad este compuesto, aunque algunas de sus reflexiones coinciden con las del ortoarseniato de calcio $3\text{CaO} \cdot \text{As}_2\text{O}_5$ (tarjeta 1-0933). Así como lo mencionan Cesbron et al. (1972) no se encontró concordancia con los productos esperados: Piroarseniato de calcio, CaO y MgO.

En la Tabla 9 aparecen los valores encontrados para las distancias interplanares y sus intensidades relativas, considerando que hay cierto grado de orientación preferente.

Tabla 9. Datos de difracción de rayos x de talmesita calcinada

TALMESSITA		T E M P E R A T U R A °C					
		350		600		800	
d(A)	I/I ₁	d(A)	I/I ₁	d(A)	I/I ₁	d(A)	I/I ₁
6.43	11	6.48	11	8.42	4	8.54	2
5.16	9	5.13	24	6.67	8	6.65	10
5.11	48	4.64	15	6.32	3	6.32	3
4.62	33	4.48	9	5.38	19	5.67	3
4.49	3	4.27	15	4.98	2	5.40	11
4.26	4	3.96	11	4.85	3	4.88	3
3.956	13	3.59	30	4.51	45	4.53	26
3.587	48	3.50	6	4.43	4	4.41	16
3.456	9	3.46	8	4.28	5	4.28	14
3.348	41	3.350	67	4.187	17	4.185	29
3.298	7	3.217	100	4.073	12	4.002	11
3.211	90	3.097	73	3.735	7	3.840	16
3.076	100	3.040	22	3.608	7	3.661	30
3.040	28	2.928	10	3.500	31	3.630	7
2.816	42	2.824	27	3.350	57	3.503	34
2.777	77	2.780	36	3.291	27	3.360	17
2.740	28	2.744	24	3.240	13	3.294	12
2.692	4	2.696	15	3.165	7	3.251	32
2.605	11	2.612	14	3.097	20	3.195	10
2.579	14	2.583	10	2.919	100	3.100	28
2.517	12	2.526	7	2.860	3	2.996	35
2.443	17	2.443	8	2.786	43	2.928	40
2.336	12	2.336	6	2.676	72	2.896	15
2.305	4	2.174	15	2.638	7	2.820	100
2.285	7	2.098	8	2.574	18	2.688	28
2.169	27	2.069	7	2.463	7	2.661	26
2.077	13	2.047	4	2.413	8	2.586	6
2.041	6	2.027	10	2.348	3	2.576	8
2.010	11	1.897	11	2.302	11	2.473	4
1.912	7	1.875	12	2.199	4	2.415	4
1.892	21	1.833	5	2.127	4	2.336	6
1.873	10	1.786	5	2.081	4	2.307	10
1.831	9	1.743	6	2.045	5	2.220	9
1.804	6	1.719	11	1.971	15	2.144	5
1.783	9	1.691	7	1.928	10	2.049	8
1.721	23	1.609	6	1.851	5	1.992	11
1.695	13	1.540	8	1.820	8	1.935	5
1.653	4			1.746	14	1.884	7
1.632	3			1.668	6	1.854	6
1.605	7			1.646	6	1.829	9
1.583	9			1.590	5	1.798	4
1.553	3					1.741	13
						1.704	8
						1.674	13
						1.629	8

Termoanálisis

En la curva del análisis térmico diferencial (ATD) se observan - tres reacciones endotérmicas, con máximos a 525, 712 y 1135^o C, - respectivamente (Figura 4). La primera y más intensa es asimétrica, presentando en su lado de menor temperatura una ligera inflexión que podría esbozar otra endoterma. Esta reacción se asocia a la deshidratación de la talmessita. La de 712^o, de baja intensidad, se interpretó como descomposición de la calcita. La reacción a 1135^o se atribuye a la fusión de la talmessita.

En el registro del análisis térmico gravimétrico (ATG), se aprecia una ligera y continua pérdida de peso, casi desde que se inicia el calentamiento, atribuyendo la anterior a 120^o al agua absorbida. La pérdida se acelera a partir de 400^o, terminando hacia - 580^o. Casi inmediatamente comienza otra etapa que finaliza en - 740^o. Después ya no hay variación hasta 930^o, donde se inicia otra pérdida de peso que se interrumpe en 1200^o, al terminar la prueba. La pérdida total de peso a esta temperatura fué de 11.25%. El resumen de resultados se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Datos del termoanálisis.

Intervalo temperatura ^o C.	Máximo ^o C.	Pérdida de peso %	Reacción	Efecto
15- 120	-	0.15	endotérmica	Evaporación del agua absorbida.
120- 577	525	7.35	"	Deshidratación de la talmessita.
577- 739	712	2.00	"	Descomposición de la calcita.
930-1200	1135	1.75	"	Fusión de la talmessita.

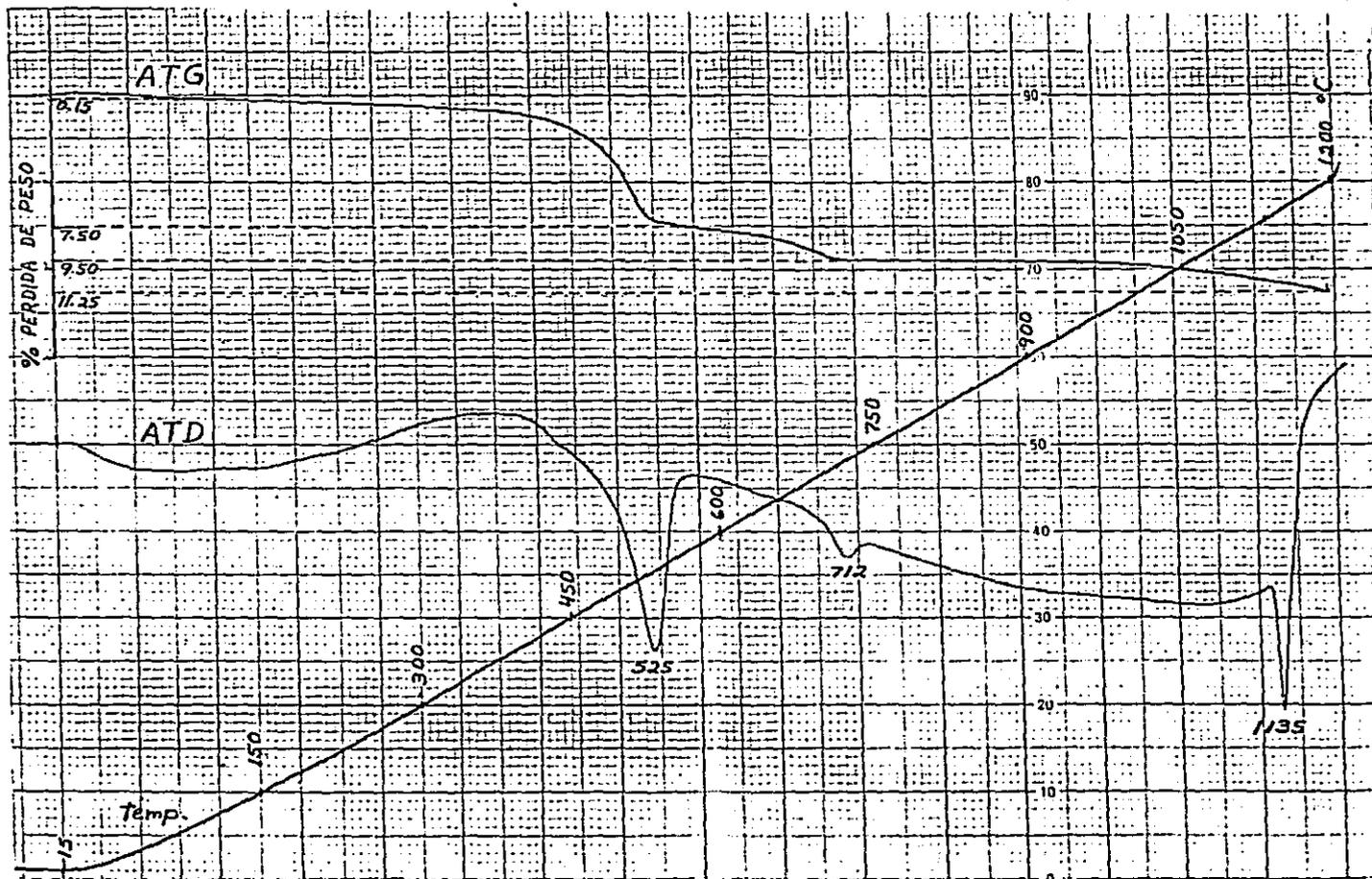


Figura 4. Análisis Térmico diferencial y Térmico gravimétrico.

Espectrofotometría infrarroja

El espectro de absorción infrarroja de la talmessita se presenta en la Fig. 5, con sus correspondientes frecuencias en la Tabla II.

Tabla II. Bandas de absorción infrarroja de la talmessita de Durango

FRECUENCIA cm ⁻¹	INTENSIDAD RELATIVA
3400	M
2920	F
2440	D
2250	D
1640	D
1545	M
1420	D
1387	D
1165	D
1090	D
1030	D
970	M
910	D
870	F
842	F
820	F
802	F
715	D
607	D
530	D
437	F
400	D
360	D
342	M

F: Intensa; M: Mediana; D: Débil

La falta de datos publicados sobre el espectro IR de la talmessita y las limitadas referencias sobre arseniatos minerales, obligaron a interpretar dicho espectro por comparación con los correspondientes a adamita $Zn_2(AsO_4)OH$ (Sumin, 1974; Hill, 1976);

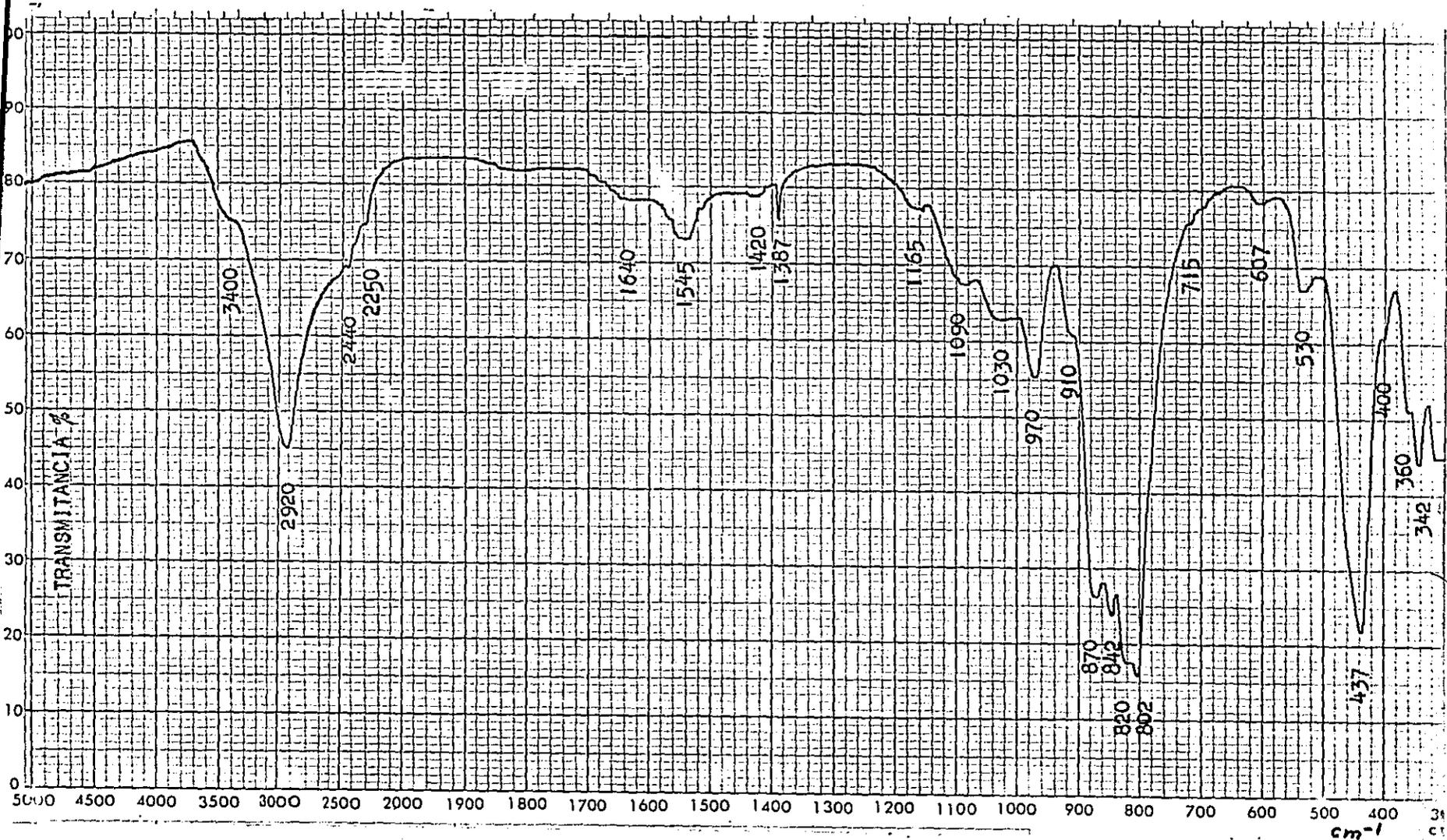


Figura 5. Espectro de absorción infrarroja de la talmessita de Durango.

conicalcita $\text{CaCu}(\text{AsO}_4)\text{OH}$ y austinita $\text{CaZn}(\text{AsO}_4)\text{OH}$ (Sumin, 1974), arseniatos (Nakamoto, 1963; Povarennykh, 1978) y carbonatos - (Nakamoto, 1963; Gulbrandsen et al., 1966; Povarennykh, 1978).

Tabla 12. Bandas de absorción infrarroja del grupo $(\text{AsO}_4)^{3-}$

Radical o mineral	Frecuencias de absorción (cm^{-1})				Referencia
	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4	
Arseniatos	837	349	878	463	Nakamoto, 1963
Arseniatos	-	-	760-900	310-420	Povarennykh, 1978
Adamita	740	-	800-830 860	400-485	Sumin, 1974
Conicalcita	740	-	795-820 840-865	410-430 460	" "
Austinita	750	-	800-845	410-430 465	" "
Adamita	730	-	795-820 880	470-510 530	Hill, 1976

Tabla 13. Bandas de absorción infrarroja del grupo $(\text{CO}_3)^{2-}$

Radical o minera	Frecuencias de absorción (cm^{-1})				Referencia
	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4	
Carbonatos	-	-	1390-1475 1500-1570	675-765	Povarennykh, 1978
Calcita	-	879	1429-1492	706	Nakamoto, 1963
Calcita	-	865	1430-1454	-	Gulbrandsen <u>et al.</u> , 1966

En el espectro de la talmessita de Durango (Fig. 5) una amplia e intensa banda, con máximo a 2920 cm^{-1} y otra menor a 3400 cm^{-1}

sugieren oxhidrilos; generalmente, absorciones a 3200-3550, - 1600-1630 y 300-600 cm^{-1} se atribuyen, respectivamente, a estiramiento ("stretching"), doblado ("bending") y varios ("librational") en HO^- (Nakamoto, 1963). El mismo autor sugiere corrimientos según sea HO^- estructural o asociado al agua.

El grupo arseniatos $(\text{AsO}_4)^{3-}$ se manifiesta con alta intensidad a frecuencias de 800 a 950 cm^{-1} , no habiendo podido definir el modo de vibración de manera definitiva.

Otra banda, amplia y de menor intensidad, se presenta entre - 960 y 1200 cm^{-1} y el hecho de que persista en los productos de calcinación de la talmessita (Fig. 6) sugiere que está asociada al grupo $(\text{AsO}_4)^{3-}$ al igual que la aguda señal a 437 cm^{-1} . Un pequeño pico a 1545 cm^{-1} se atribuye a carbonatos.

En la Tabla 14 se tipifica el espectro de absorción de la talmessita de Durango. Es conveniente señalar que finos cristales de talmessita fueron separados ópticamente de su matriz calcárea, por lo que su pureza no es absoluta.

Tabla 14. Espectro de absorción infrarroja de la talmessita de Durango.

Grupo	Modo	Frecuencia (cm^{-1})
OH	<u>stretching</u>	3400
OH...O	-	2920
OH	-	970
H-O-H	<u>bending</u>	1620
CO_3	ν_3	1545
AsO_4	ν_3	870-842-820-802
	ν_1	715 (?)
	ν_4	437
	ν_2	342

Con el propósito de estudiar el comportamiento de la talmessita y el efecto de la temperatura sobre su estructura y composición, fracciones calcinadas a 350, 600 y 800^o, según el análisis térmico, fueron analizadas por infrarrojo. Los espectros que se presentan en la Fig. 6 sugieren que a 350^o todavía hay HO⁻ en el cristal (región de 2200 a 3600 cm⁻¹) aunque de intensidad notablemente menor, apuntando hacia una asociación estructural de preferencia a agua de adsorción. Las pequeñas bandas en 600 y 800^o corresponden a humedad absorbida por el vehículo bromuro de potasio. Las bandas a frecuencias menores de 1300 cm⁻¹ confirman la estabilidad del grupo (AsO₄)³⁻, si bien hay cambios en la localización e intensidad de los máximos.

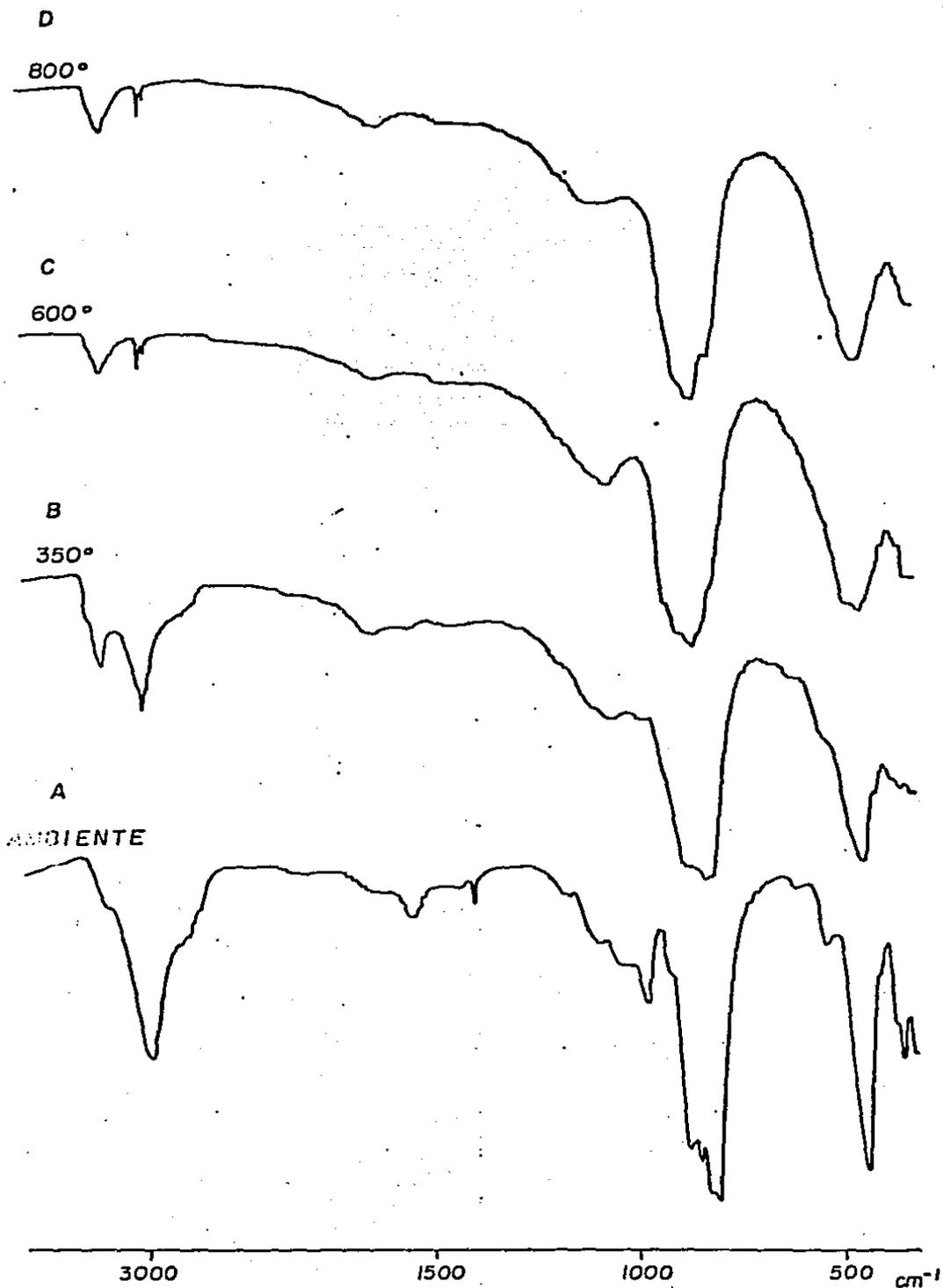


Figura 6. Espectros de absorción infrarroja de talmessita calcinada a 350, 600 y 800 $^{\circ}\text{C}$

Petrografía.

Las rocas dominantes en la zona estudiada son calizas de variada textura y contenido de aloquímicos (fósiles, intraclastos, etc.), encontrándose en la muestra colectada más hacia el este de la Sierra de Mapimí (RR-1) una caliza de grano muy fino con microfósiles (Fig. 7 y 8), que correspondería a una biomicrita (Folk, 1962) o a un "Mudstone" (Dunham, 1962). Hacia la sierra se encontraron calizas de grano fino a medio sin fósiles aparentes, otras con intraclastos y cemento espático, calizas dolomíticas (Fig. 9) y calizas arrecifales con abundantes macrofósiles, todas ellas mostrando vetillas de calcita recristalizada y de óxidos de fierro.

Las rocas con alto contenido de arsénico (RR-6a, b y c) fueron estudiadas con mayor detalle, describiéndose enseguida.

Muestra RR-6a

Arenisca conglomerática de color crema, textura clástica incluida; constituida por fragmentos subangulosos a subredondeados, tamaño arena, de cuarzo, frecuentemente corroídos (Fig. 11), escasos fragmentos de feldespatos, aglomerados de cristales radiales de estructura esferulítica de óxidos de fierro y partículas de otros minerales opacos, incluidos todos en una matriz de cristales escamosos a aciculares, en partes en arreglo coliforme (Fig. 10 y 11). Este cementante fué identificado como talmessita en el estudio por microsonda electrónica. Los bordes corroídos indican, desde el punto de vista textural, un reem-

plazamiento por la talmessita.

Muestra RR-6b

"Packstone" (Dunham, 1962), de color gris claro con vetillas de calcita, textura incluída, constituido por fragmentos subangulosos a subredondeados, de tamaño arena fina a gránulo, de micrita y aparentemente restos de organismos. Las vetillas de calcita en partes contienen el arseniato (Fig. 12 y 13).

Muestra RR-6c

"Packstone" (Dunham, 1962), de color crema rosáceo, con vetas blancas a cremas entrecruzadas, algunas con drusas. La roca es de textura incluída y está constituída por intraclastos y fragmentos angulosos de cuarzo, unidos por espatita. Las vetillas, cuyo espesor varía de aproximadamente 1 mm a 1 cm, están compuestas por calcita recristalizada y talmessita en disposición paralela y, en ocasiones, enmedio de capas de calcita microcristalina (Fig. 14 y 15). También se observó talmessita en agregados coliformes (Fig. 16 y 17).

El arreglo textural entre calcita y talmessita parece indicar un reemplazamiento de aquélla por ésta, sin dirección preferencial, sin embargo, la presencia de drusas de calcita y talmessita hacen suponer que hubo un depósito de ambas posterior al reemplazamiento, por recristalización.

Figuras 7 y 8 - Muestra RR-1

Restos de foraminíferos y otros microfósiles en fina matriz calcárea, con vetillas de calcita recristalizada. Luz polarizada, 80X.

Figura 9 - Muestra RR-11a

Mosaico de cristales subedrales y euedrales de dolomita en una matriz de calcita criptocrystalina. Luz polarizada, 80X.



Figura 7

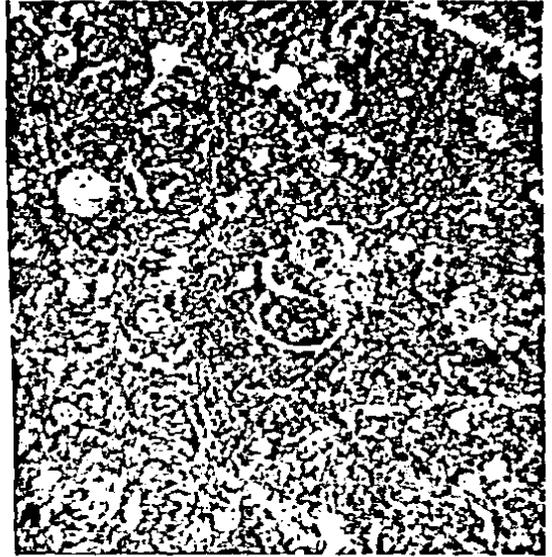


Figura 8

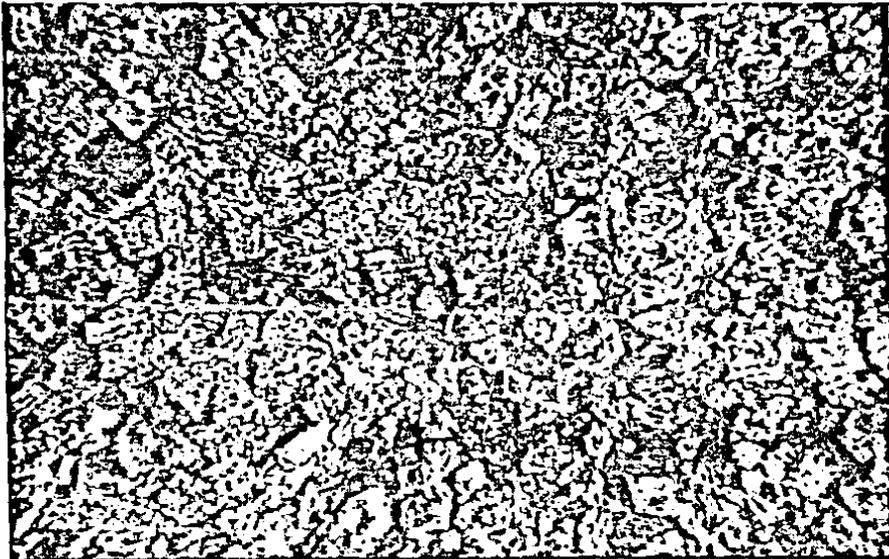


Figura 9

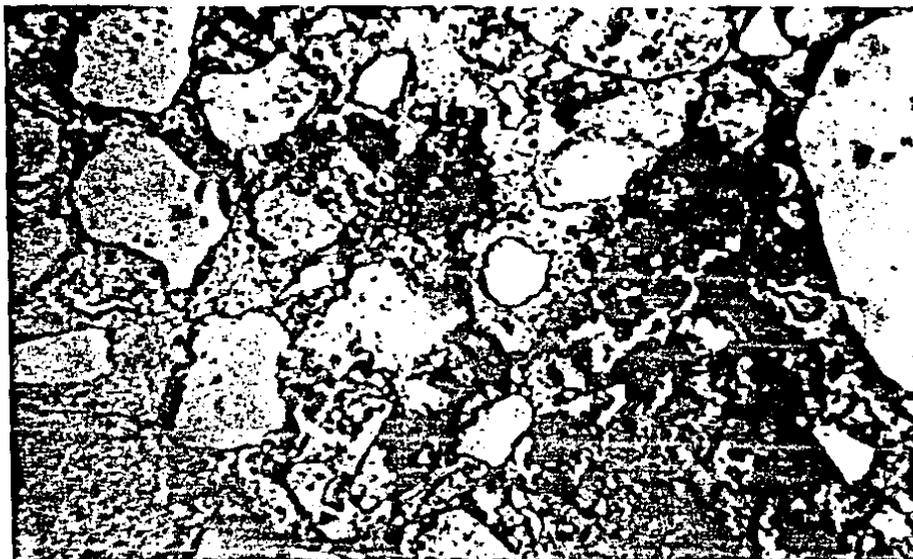


Figura 10 - Muestra RR-6a
Fragmentos subangulosos a subredondeados de cuarzo y minerales opacos en matriz de un mineral birrefringente (talmessita). Luz polarizada, 80X.



Figura 11 - Muestra RR-6a
Fragmentos de cuarzo mostrando corrosión por la talmessita de la matriz. En la parte inferior aglomerado de limonita. Luz polarizada, 160X.

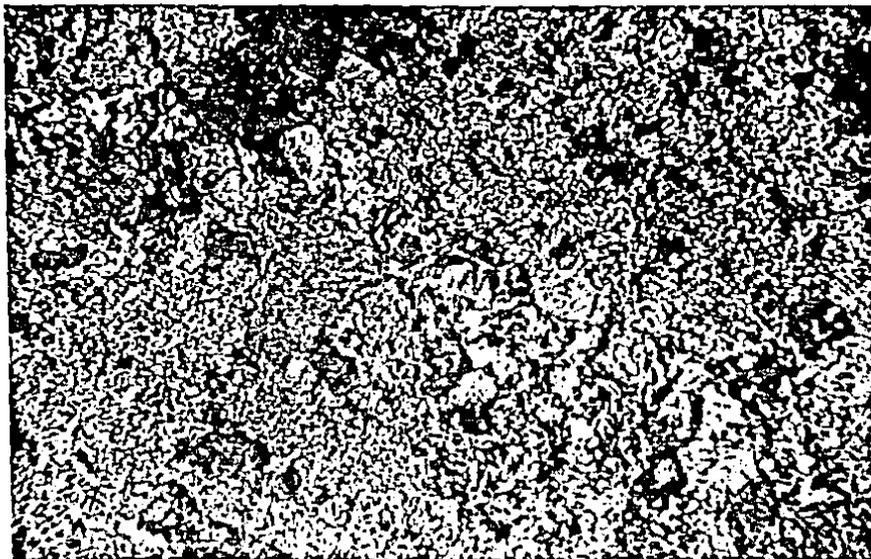


Figura 12 - Muestra RR-6b
Vetilla con cristales radiales de talc
en una matriz de caliza microfítica. Luz polari-
zada, Nicols cruzados, 204X.

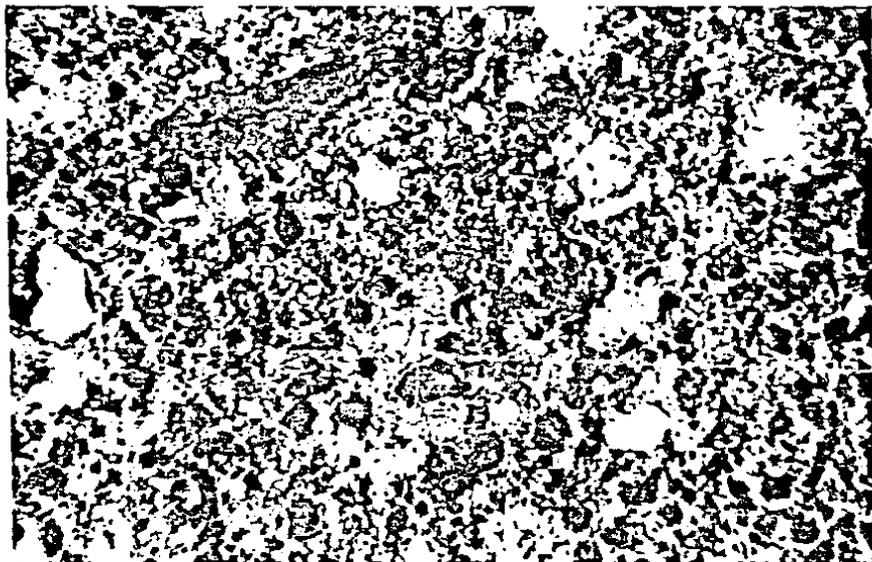


Figura 13 - Muestra RR-6b
Fragmentos subredondeados de micrita y proba-
blemente de fósiles, en una matriz de calcita
parcialmente recristalizada. Luz polarizada, 51X.



Figura 14 - Muestra RR-6c
Dos agregados de cristales de talc se observan en el contacto entre calcita recristalizada (a) y la matriz de caliza microcristalina (b).
Luz polarizada, Nícoles cruzados, 80X.

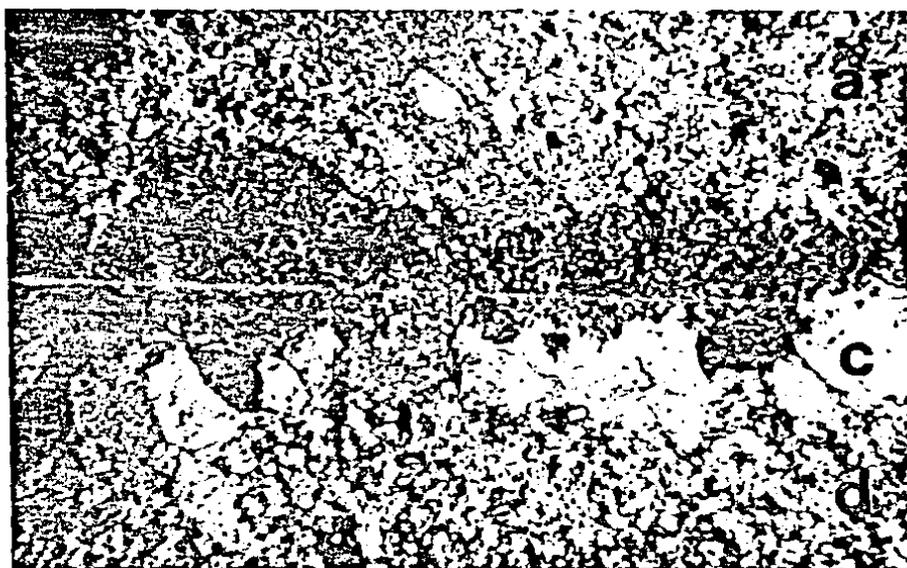


Figura 15 - Muestra RR-6c
Capas subparalelas de caliza microcristalina (a), talc (b), calcita recristalizada (c) y caliza microcristalina (d). Nícoles cruzados, 80X.



Figura 16 - Muestra RR-6c
Agregado de cristales radiales de talcossita,
de textura coloforme, en un contacto de cali-
za micrítica (arriba) y calcita recristaliza-
da (abajo). Luz polarizada, 80X.

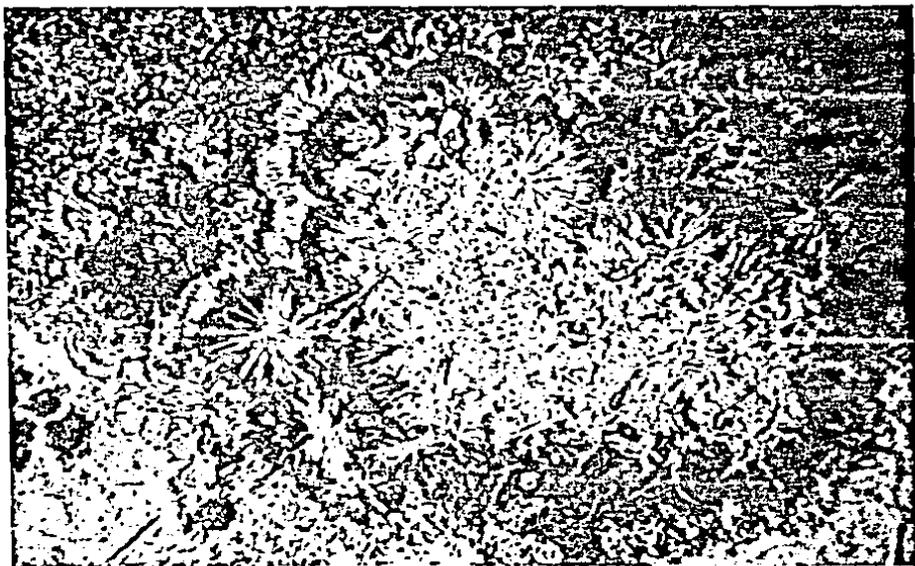


Figura 17 - Muestra RR-6c
Igual a la Fig. 16. Luz polarizada, Nícoles
cruzados, 80X.

Microscopía electrónica de barrido

Formas cristalinas. Muestra RR-6c.

En las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido, con electrones secundarios, se aprecian drusas en cavidades de las preparaciones, cuya composición química es Ca-Mg-As, por lo que corresponden al arseniato investigado. En algunos campos estos cristales aparecen con estructura estalactítica o prismática (Fig. 18A, B y C), en ocasiones son radiales (Fig. 18D) y con frecuencia terminan en punta piramidal (Fig. 18E). Su tamaño es pequeño, considerando que su largo promedio es alrededor de 20 micras.

Muestra RR-6a.

En este material, que corresponde a una arenisca, ya se tenían evidencias de que el cementante de los granos es principalmente talmessita y, en escasos lugares, calcita. El análisis general de un campo seleccionado (Fig. 19A) indicó As, Ca, Mg, Si, Fe, Ti, Al y K, de los que se obtuvieron mapeos de su distribución. (Fig. 19B a I). Esta permitió inferir que hay fragmentos de cuarzo, ilmenita y feldespatos, incluidos en una matriz de talmessita con algo de óxidos de hierro y arcillas.

Muestra RR-6c.

Los fragmentos seleccionados corresponden a un corte transversal de la caliza con capas y vetillas de arseniatos. El mineral de arsénico es bastante poroso en la zona de contacto con la caliza (Fig. 20A), presentando numerosas cavidades con dru-

sas de talmessita. Se observaron abundantes inclusiones de -
cuarzo (Fig. 20E) y calcita en el mineral de arsénico y de -
talmessita, cuarzo y escasas de zircón en la caliza, minerales
inferidos en base a su composición química.

La distribución de Ca, Mg, As y Si en un campo escogido de es-
ta muestra, aparecen en la secuencia fotográfica de la Fig. 20.

Figura 18 - Formas cristalinas en la talmessita de Durango. Microscopía electrónica de barrido, electrones secundarios, detector de Si/Li, 20 KV.

(A) Cavidad con drusa, 832X.

(B) Agregado de cristales prismáticos aparentemente truncados, 1250X.

(C) Cristales prismáticos, 507X.

(D) Agregado de cristales radiales de talmessita sobre calcita, 490X.

(E) Cristales prismáticos con extremo piramidal, 1040X.

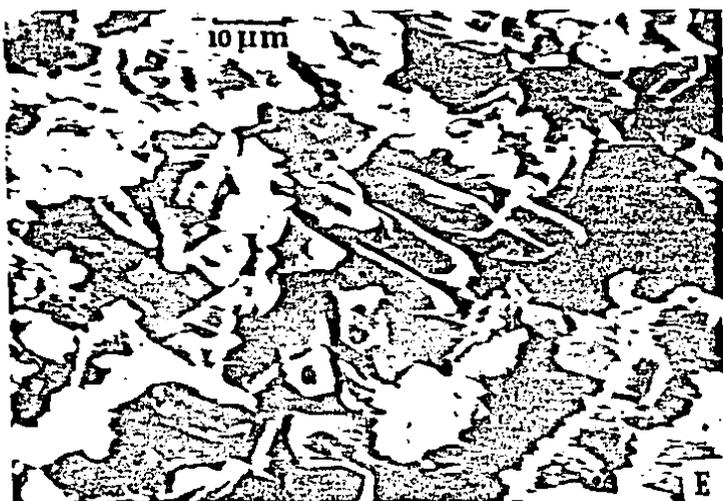
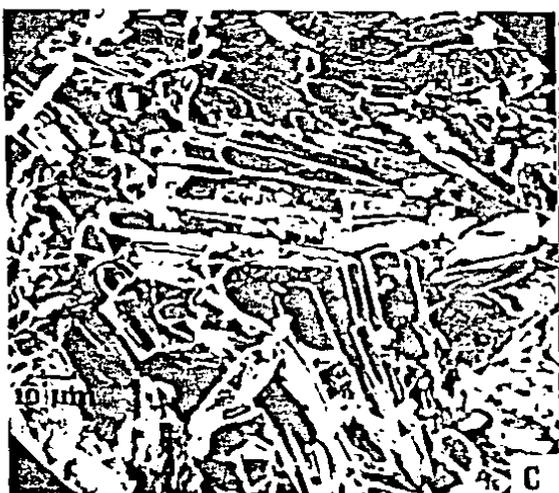
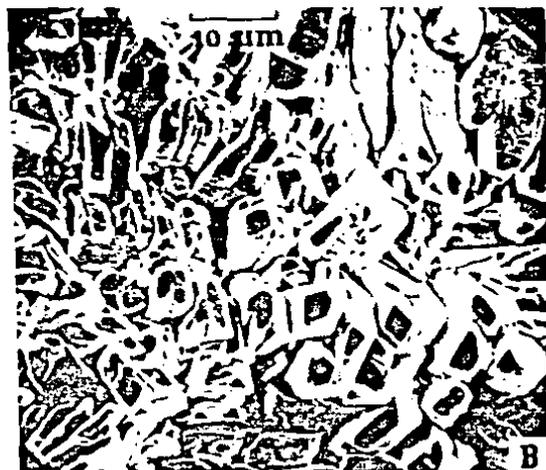
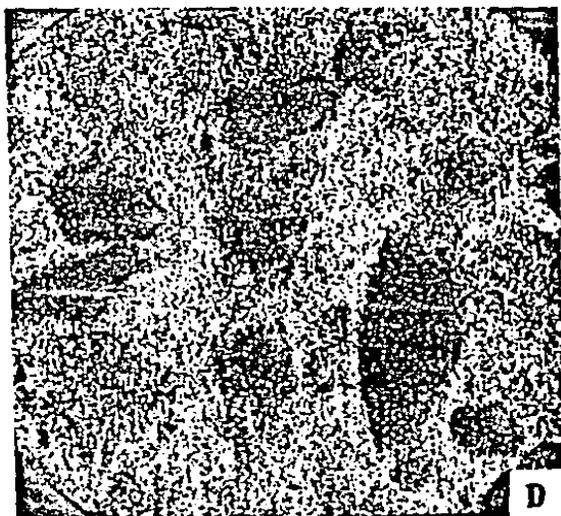
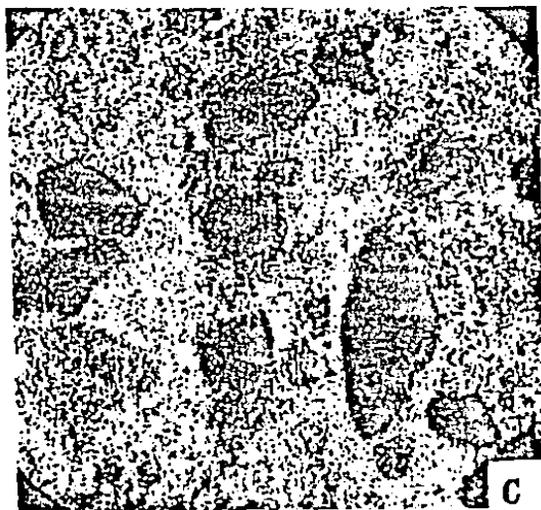
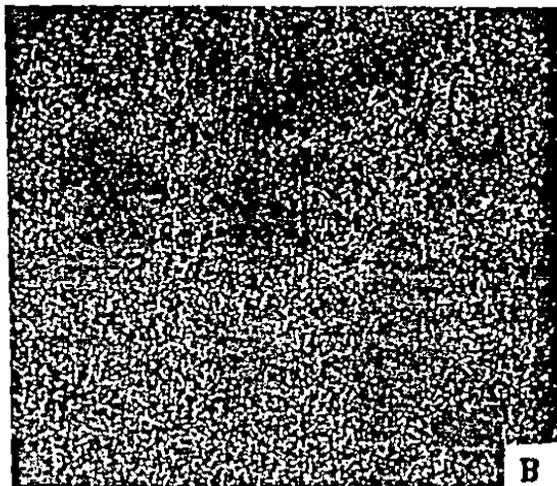


Figura 19 (A) - Muestra RR-3a

La talmessita, con óxidos de fierro y aparentemente una arcilla, sirve como cementante de - fragmentos subangulosos de cuarzo, ilmenita y feldespatos. Microscopía electrónica de barrido, electrones secundarios, detector Si/Li, 20KV, 100X.

- (B) - Distribución del arsénico
- (C) - " " calcio
- (D) - " " magnesio
- (E) - " " silicio
- (F) - " " fierro
- (G) - " " titanio
- (H) - " " aluminio
- (I) - " " potasio



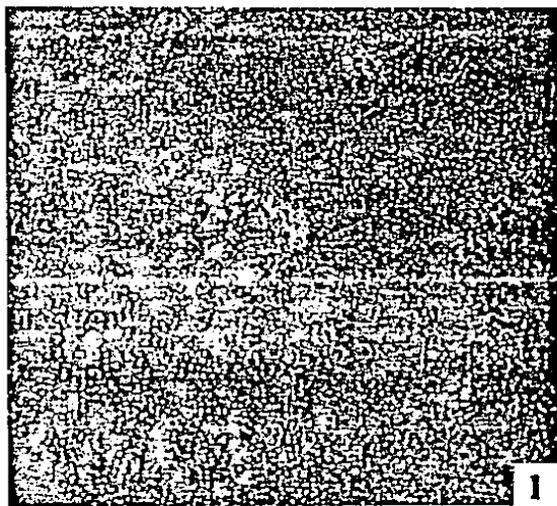
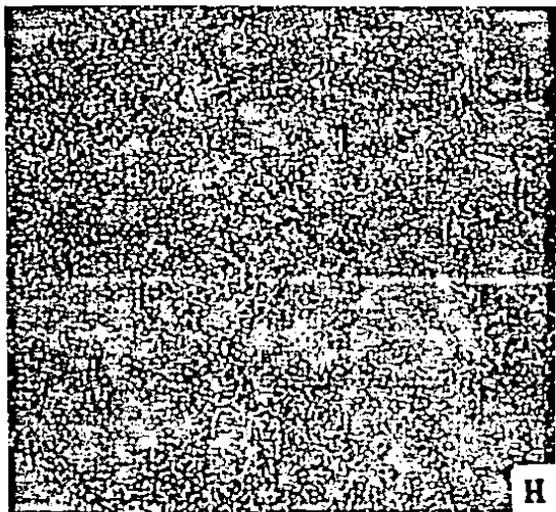
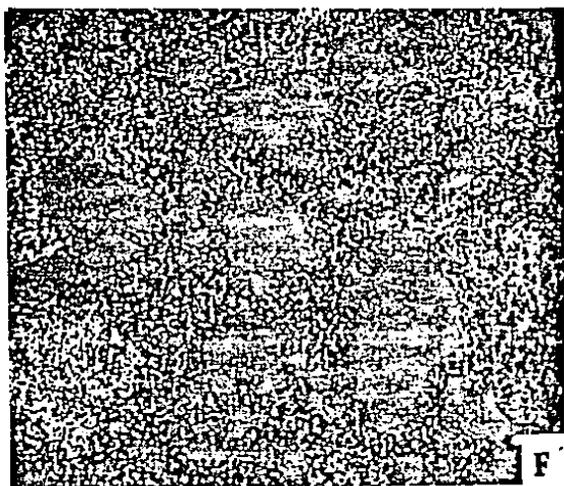
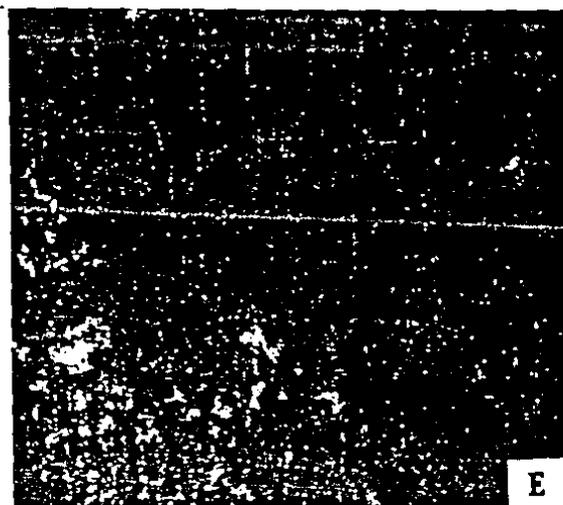
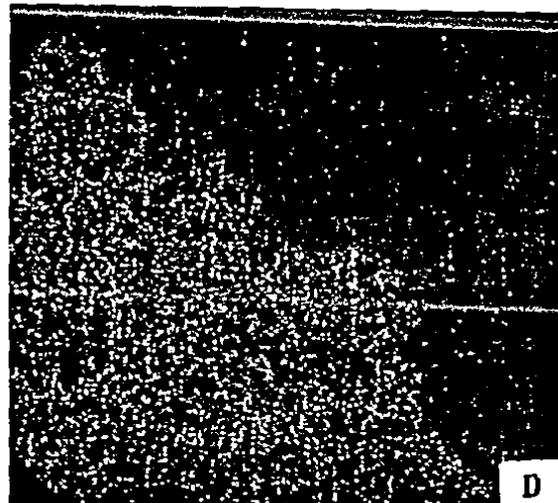
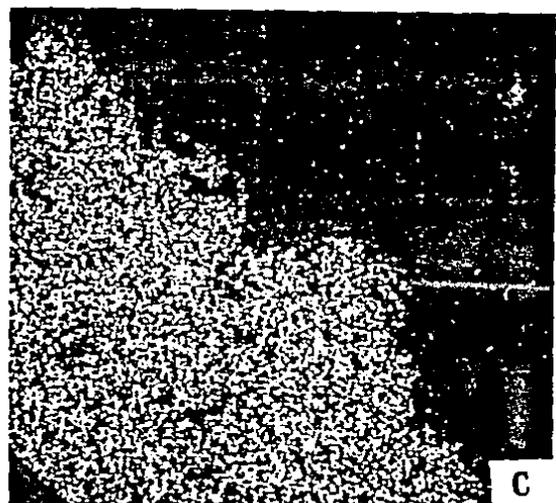


Figura 20 (A) - Muestra RR-6c

Talmessita (áreas claras y grisáceas) en contacto con la caliza de la matriz (área negra). Microscopía electrónica de barrido, electrones secundarios, detector Si/Li, 20 KV, 172X.

- (B) - Distribución del calcio
- (C) - " " " magnesio
- (D) - " " " arsénico
- (E) - " " " silicio



DISCUSION DE RESULTADOS

El contenido medio de arsénico en rocas ígneas y sedimentarias es alrededor de 4 a 5 ppm (Rankama *et al.*, 1954), por lo que es evidente que la proporción que existe en gran parte de las muestras colectadas entre Gómez Palacio y Dinamita, Dgo. (Fig. 21), es anormalmente alta. Los análisis de arsénico (Tabla 4) indican que las calizas de los cerros El Fénix y Dolores (La Borrega), situados al oeste de Gómez Palacio, Dgo., tienen la proporción más alta, variando de 44 a 450 ppm. Muestras colectadas en las pequeñas obras mineras de la cima del cerro El Fénix, ensayaron hasta 8.70% por su concentración en minerales de arsénico. En la brecha de mármol (RR-19a) y en la roca cloritizada (RR-19b) de un contacto de la caliza regional con el intrusivo granítico El Sarnoso, en Dinamita, Dgo., el arsénico fué 2100 y 420 ppm, respectivamente y parece estar en solución sólida con el fierro que contienen. Una muestra de roca ígnea dió un análisis de 33 ppm (RR-18).

No es posible generalizar sobre la distribución del arsénico en la región, por haberse analizado un número limitado de muestras, pero el presente estudio es un primer paso para que en el futuro se efectúe una exploración más detallada al respecto.

La talmessita $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fué el único mineral de arsénico identificado por difracción de rayos x. Se encontró como cemento en una arenisca (RR-6a) y en vetillas y capas en la caliza que la encajona (RR-6b y -6c). Es probable que las otras - -

muestras con proporción anómala de arsénico también contengan ese mineral, pero en niveles abajo de los que pueden detectarse por rayos x. La talmessita y la vladimirita $5CaO \cdot 2As_2O_5 \cdot 6H_2O$ - son los únicos arseniados cálcicos o calcimagnésicos estables al medio acuoso (Pierrot, 1964) y que serían factibles de encontrarse en o cerca de la superficie, pero es probable que a mayor profundidad existan otros arseniados de ese grupo que, al solubilizarse por aguas meteóricas o acuíferos, contaminen mantos freáticos y corrientes superficiales.

El diagrama de rayos x de la talmessita de Durango (Fig. 3) presenta reflexiones definidas que coinciden con las reportadas para la talmessita tipo, procedente de la mina Talmessi, en Anarak, Irán. Sin embargo, cierto número de reflexiones en aquél no aparecen en los datos de Pierrot (1964) (Tabla 8, columna 2), siendo importantes la 2.816 y 2.740 Å por ser bastante intensas. Por otra parte, en los datos de Barland y Herpin (1960) (Tabla 8, columna 3) no se incluyen las reflexiones 3.348 y 2.740 Å, además de otras de menor intensidad. Se considera que para la beta-röselita de Frondel (1955) (Tabla 8, columna 4), mineral isomorfo de la talmessita, también faltan valores; en cambio, en los reportados por Sturman y Dunn (1980) para la gaitita, otro isomorfo (Tabla 8, columna 5), aparece la mayoría de las reflexiones que presenta la talmessita de Durango, además de otros adicionales. Por lo anterior, se supone que en los registros de rayos x de la talmessita de Irán no hubo tan buena resolución como en la gaitita.

El comportamiento de la talmessita durante la calcinación en el termoanálisis (ATD y ATG), indica que pierde la mayor parte del agua entre 400 a 550 °C. (Fig. 4). La reacción endotérmica, con máximo a 712°, se atribuyó a la descomposición de la calcita y la endoterma a 1135° a la fusión del mineral. Respecto a la naturaleza del agua en este mineral, Barland y Herpin (1960), Cesbron et al. (1972) y otros autores, la consideran como oxhidrilos por la temperatura tan alta a que la pierde. Sin embargo, la investigación de Catti et al. (1977) sobre la estructura de la talmessita, parece demostrar que corresponde a moléculas de agua cuyos enlaces de hidrógeno están fuertemente ligados, por ser muy cortos y requieren de tan alta temperatura para disociarse. El único trabajo de los consultados que presenta un termograma de ATD completo de la talmessita es el de Cesbron et al. (1972), en él aparece una reacción exotérmica, con máximo a 690°, que ellos interpretan como debida a recristalización. En la muestra de Durango, en análisis repetidos, sigue apareciendo una reacción endotérmica alrededor de esa temperatura, asociada a una pérdida de peso en el ATG. Estos autores registraron también una pérdida de 1% entre 600 a 900° y la consideraron causada por la descomposición de calcita, presente como impureza en su muestra. En el presente estudio, la pérdida de peso en ese intervalo fue de 2% y la mayor magnitud de la reacción endotérmica puede haber enmascarado a la exotérmica que ellos observaron. La calcita normalmente se disocia entre 900 a 1000° (Mackenzie, 1957) y la causa por la que podría hacerlo a menor temperatura Cesbron et

al. (1972) suponen que podría deberse a la interacción con el anhídrido arsénico liberado por la destrucción de la red de la talmessita, antes de su fijación por recristalización. Tratando de interpretar con mayores evidencias las reacciones que ocurren y los productos formados, se efectuó una calcinación por pasos a 350, 600 y 800°, obteniendo el registro de rayos x respectivo (Tabla 9). En el primero aún aparecen las reflexiones de talmessita, con menor intensidad y una fase incipiente a 2.92 Å. A 600° este producto es el dominante (2.919 Å es la reflexión más intensa) y aunque coincide algo con el biarseniato pentacálcico anhidro $5CaO \cdot 2As_2O_5$, no hay una completa seguridad en su identificación. Lo mismo ocurre a 800°, donde hay cierta similitud con valores del orto-arseniato de calcio $3CaO \cdot As_2O_5$, pero no una concordancia. Cesbron et al. (1972) mencionan que no pudieron identificar el producto calcinado. Probablemente por el momento faltan los datos respectivos en el archivo de fichas para difracción de rayos x.

En el espectro de absorción infrarroja (Fig. 5 y Tabla 11) se identificaron las bandas de absorción de los grupos $(AsO_4)^{3-}$, $(CO_3)^{2-}$ y HO^- , éste último puede corresponder tanto a oxhidrilos como a moléculas de agua. No se encontró ninguna referencia sobre el espectro de talmessita, pero los de otros arseniats hidratados sirvieron como base para interpretar la de Durango (Tabla 14). Sumin (1974) menciona que la ausencia de bandas en la región $1500-1700\text{ cm}^{-1}$ de los arseniats indica que no hay moléculas de agua. No se pudo comprobar esto por la presencia

en esa región de una banda producida por calcita. En los espectros de absorción de los productos calcinados (Fig. 6), persisten las bandas de $(AsO_4)^{3-}$ con menor definición e intensidad y cierto corrimiento a frecuencias más altas, en especial de 800 a 1000 cm^{-1} , a medida que aumenta la temperatura. Continúan apareciendo bandas pequeñas en la región $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$; causadas por rehidratación del KBr (vehículo).

En el estudio petrográfico, un mineral birrefringente se presenta, en cristales pequeñísimos, como matriz de fragmentos de cuarzo, feldespatos y minerales opacos (Fig. 10 y 11) en una muestra (RR-6a) de un pequeño cuerpo de arenisca. En la caliza que la sobreyace (RR-6b y c), ese mineral se concentra en vetillas y capas, con frecuencia paralelas a capas de calcita de grano grueso (Fig. 14 y 15). Este mineral, identificado previamente por rayos x como talmessita, se confirmó por microscopía electrónica. Los bordes corroídos en granos de cuarzo (Fig. 11); su relación con calcita recristalizada (Fig. 14 y 15) y la textura coliforme (Fig. 16 y 17), sugieren que la talmessita ha reemplazado a la calcita como cementante en la arenisca y ha cristalizado, casi simultáneamente con calcita, en fracturas y huecos de disolución en la caliza.

Por microscopía electrónica de barrido se observaron cristales prismáticos y estalactiformes, de un largo promedio de 20 micras, cuyo análisis cualitativo mostró una composición As-Ca-Mg que corresponde a la talmessita (Fig. 18). Como cementante en la arenisca la talmessita está asociada a arcillas y óxidos de

fierro (Fig. 19) y la de las capas y vetillas en la caliza, - contiene abundantes inclusiones de calcita y cuarzo (Fig. 20). Esto explica que aún con la separación en tetrabromoetano, la fracción de talmessita aislada de dichas capas, no alcanza una alta pureza (Tabla 7), llegando solo a 89.70%.

Sobre el origen de la talmessita en la Comarca Lagunera (Durango-Coahuila) se puede establecer, basándose en su similitud - con otros yacimientos, que minerales hipogénicos de arsénico, especialmente arsenopirita, se formaron durante la etapa de - mineralización ocasionada por la intrusión de magma de composición ácida en las calizas de la Sierra de Mapimí, Dgo.. Al oxidarse, estos minerales formaron arseniatos de los metales más - afines y accesibles, como fueron plomo, zinc, fierro, etc., los que han sido encontrados abundantemente en esa región (Mina - Ojuela). Al lixiviarse por aguas meteóricas, se puso en circulación ácido arsénico (H_3AsO_4) el que al ser neutralizado por las calizas y calizas dolomíticas regionales, precipitó arseniato calcimagnésico, o sea talmessita. Es posible que se hayan formado y existan en el subsuelo, arseniatos de calcio y de - magnesio, pero por su inestabilidad no se encuentran cerca de la superficie.

CONCLUSIONES

Talmessita, arseniato de calcio y magnesio hidratado - -
 $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, procedente del cerro El Fénix, a 2 km al oeste de Gómez Palacio, Dgo., se presenta como cementante en una -
lente de arenisca y en capas y vetillas en la caliza magnésica
sobreyacente de la Formación Aurora (Cretácico Inferior).

Sus cristales son muy pequeños, aciculares, encontrándose también en agregados radiales de textura coliforme. Únicamente en -
cavidades con drusas se observaron cristales individuales, estalactíticos y prismáticos, de una longitud media de 20 micras.

La talmessita se presenta íntimamente asociada a calcita, cuarzo y arcillas, principalmente. Su color es blanco a crema.

La caracterización del mineral se efectuó sobre una fracción -
purificada, cuyo análisis en por ciento fué: As_2O_5 : 49.29, -
 CaO : 25.15, MgO : 7.87, SiO_2 : 5.03, Al_2O_3 : 0.51, Fe_2O_3 : 0.16
y trazas de Ti, V, Zn, Mn y Cu. Esta composición, de acuerdo a
la mineralogía determinada por rayos x, permitió calcular el -
porcentaje aproximado de minerales en dicha fracción: talmessita: 89.70, cuarzo: 3.53, montmorillonita: 3.02, calcita: 2.00 y hematita: 0.16.

Las principales distancias interplanares de los cristales de la talmessita de Durango fueron: 5.11(48), 4.62(33), 3.587(48), 3.348(41), 3.211(90), 3.076(100), 2.816(42); 2.777(77) y 2.740(28) Å, los que coinciden aceptablemente con los reportados en la tarjeta 17-164 de la A.S.T.M. para el mineral de Talmessi, Irán, a excepción de que ésta no incluye las de 2.816 y 2.740 Å,

lo que se atribuye a baja resolución en su diagrama de rayos x. El registro del análisis térmico diferencial presenta tres endotermas, con máximos a 525, 712 y 1135 °C, causadas por deshidratación de talmessita, descomposición de calcita y fusión de la primera, respectivamente. La pérdida total de peso en el análisis termogravimétrico fué de 11.25%.

Bandas de absorción de los grupos $(AsO_4)^{3-}$, $(CO_3)^{2-}$ y HO^- fueron identificadas en el espectro infrarrojo y la presencia de carbonatos interfirió en determinar si el agua en la talmessita es de oxhidrilos o de cristalización. Los espectros de los productos calcinados muestran la persistencia del grupo $(AsO_4)^{3-}$ hasta una temperatura de 800 °C.

Características geológicas y climáticas semejantes a las de otros yacimientos de talmessita, especialmente los de Anarak, Irán y Bou-Azzer, Marruecos, permiten suponer que la talmessita de Durango se originó por la lixiviación de arseniados metálicos de la zona mineralizada de la Sierra de Mapimí y precipitación del arseniato calcimagnésico al neutralizarse la solución al contacto con las calizas magnésicas regionales.

Se recomienda efectuar en la zona estudios de exploración geoquímica que tendrían por objetivos localizar posibles cuerpos mineralizados de explotación económica y determinar la distribución del arsénico, a fin de que se tomen medidas preventivas que eviten en el futuro riesgos a la salud y vida de los habitantes y a la producción agropecuaria de la Comarca Lagunera.

REFERENCIAS CITADAS

- American Society for Testing and Materials, Editor (1979) - Annual Book of A.S.T.M. Standards, 31, p. 260-267.
- Ayub, M.A.R. (1960) Minerales de Manganeso en los Estados de Durango, Zacatecas y San Luis Potosí. C.R.N.N.R., V. 49, p. 87-96.
- Bariland, P. y Herpin, P. (1960) Un arséniate de calcium et de magnésium, isomorphe de la beta rosélite. Bull. Soc. franc. Minéral. Crist., 83, 118-121.
- Bariland, P. (1963) Contribution á la minéralogie de l'Iran. - Bull. Soc. franc. Minéral. Crist., 86, 41.
- Bariland, P., Cesbron, F. y Geffroy, J. (1978) Les Minéraux, leur Gisements, leur Associations. Minéraux et Fossiles, France, V. 3, p. 326-333.
- Bonnici, J.P. y Pierrot, R. (1965) Bélovite et vladimirite d'Irthem. Notes Serv. Géol. Maroc, 24 (40), 828-833.
- Borodin, L.S. y Kasakova, M.E. (1954) Bélovite - a new mineral from an alkaline pegmatite. Doklady Akademia Nauk, U.R.S.S., 96, 613-616.
- Burrows, R.N. (1910) Geology of Northern Mexico. Bol. Soc. Geol. Mex., 7, 85-103.

- Carrasco, M.L. (1980) Carta y Provincias Metalogénicas del -
Estado de Durango, México. Consejo de Recursos Minerales,
p. 43-48.
- Catti, M., Ferraris, G. e Ivaldi, G. (1977) Hydrogen bonding in
the crystalline state. Structure of talmessite, $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Co})$
 $(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, and crystal chemistry of related minerals. Bull.
Soc. franc. Minéral. Crist., 100, 230-236.
- Cesbron, F., Pallix, G., Permingeat, F. y Vachey, H. (1972) Une
nouvelle variété de talmessite: la talmessite nickélique -
d'Arhbar (district de Bou-Azzer, Anti-Atlas). Notes Serv. -
Géol. Maroc, 32 (241), 67-72.
- Clemons, E.R. y McLeroy, F.D. (1965) Hoja Torreón 13 R-1 con Re-
sumen de la Geología de la Hoja Torreón, Estados de Coahuila
y Durango. Inst. Geol. U.N.A.M., 1 hoja con resumen.
- Comisión de Fomento Minero, Editor (1977) Análisis de Minerales:
Métodos Químicos, 5a. Edición, p. 30-31.
- Dunham, R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according
to depositional texture. Classification of Carbonate Rocks.
A Symposium, Memoir 1, Am. Ass. Petr. Geol., p. 108-121.
- Féraud, J., Pillard, F. y Vernet, J. (1976) La talmessite Ca_2Mg
 $(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ du karst anté-albien á baritine de Lucéram (Al-
pes Maritimes). Bull. Soc. franc. Minéral. Crist., 99, 331-
333.

- Folk, R.L. (1962) Spectral subdivision of limestone types. Classification of Carbonate Rocks. A Symposium, Memoir 1, Am. Ass. Petr. Geol., p. 62-84.
- Foshag, W.F. (1937) Carminite and associated minerals from Mapi-mi, Mexico. Am. Mineral., 22, 479-484.
- Fron-del, C. (1955) Neomesselite and beta-rosé-lite: two new members of the fairfieldite group. Am. Mineral., 40, 828-833.
- Gulbrandsen, R.A., Kramer, J.R., Beatty, L.B. y Mays, R.E. (1966) Carbonate bearing apatite from Faraday, Townships Ontario, - Canada. Am. Mineral., 51, 819-911.
- Harvey, Ch.E. (1964) Semiquantitative Spectrochemistry. Applied Research Laboratories, Glendale, Calif. U.S.A., 187 p.
- Hill, R.J. (1976) The crystal structure and infrared properties of adamite. Am. Mineral., 61, 979-986.
- Huang, W.T. (1968) Petrología. Unión Tipográfica Editorial His-pano Americana. México. p. 311.
- Humphrey, W.E. (1956) Tectonic framework of Northeast Mexico. Trans. Gulf Coast Ass. Geol. Soc. Am. Bull., 6, 25-35.
- J.C.P.D.S. (1974) Selected Powder Diffraction Data for Minerals, 1st. Edit. Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Philadelphia, Pa., U.S.A., 833 p.

- Kellum, L.B. (1936) Geology of the mountains west of the Laguna District. Geol. Soc. Am. Bull., 47, 1039-1090.
- Mackenzie, R.C. (1957) Differential Thermal Investigation of - Clays. Ed. Mineralogical Society. London, p. 329-334.
- Mrose, M.E., Maejers, D.E. y Wise, F.A. (1948) Adamite from the Ojuela Mine, Mapimi, Mexico. Am. Mineral., 33, 449-457.
- Nakamoto, K. (1963) Infrared Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. John Wiley & Sons. New York, U.S.A., p. 82, 92, 107 y 155-158.
- Nefedov, E.I. (1953) Conférence sur les nouveaux minéraux. Bull. Soc. russe Minéral., 82 (4), 311-317. Abstr.: Am. Mineral., 40, 55 (1955).
- Pallix, G. (1978) Famous mineral localities: Bou-Azzer, Morocco. The Mineralogical Record, march-april, 69-73.
- Permingeat, F. (1956) Beta rosélite de Bou-Azzer. Notes et Mém. Serv. Geol. du Maroc, 14, 133.
- Pierrot, R. (1964) Contribution á la minéralogie des arséniates calciques et calcomagnésiens naturels. Bull. Soc. franc. Minéral. Crist., 87, 169-211.
- Povarennykh, A.S. (1978) The use of infrared spectra for the determination of minerals. Am. Mineral., 63, 956-959.

- Rankama, K. y Sahama, Th. G. (1954) Geoquímica. Aguilar S.A., Ediciones Madrid, p. 686-690.
- Salas, G.A. (1971) Contact Metamorphism in Sierra de Mapimí, - Durango, México. Tesis, Standford University, U.S.A., 127 p.
- Sturman, B.D. y Dunn, P.J. (1980) Gaitite, $H_2Ca_2Zn(AsO_4)_2(OH)_2$, a new mineral from Tsumeb, Namibia (South West Africa). Can. Mineral., 18, 197-200.
- Sumin de Portilla, V.I. (1974) Infrared spectroscopic investigation of the structure of some natural arsenates and the nature of H-bonds in their structures. Can. Mineral., 12, 262-268.
- Yakhontova, L.K. y Sidorenko, G.A. (1956) A new mineral: Arsenate belovite. Bull. Soc. russe Minéral., 85 (3), 297-302. - Abstr.: Am. Mineral., 42, 583 (1957).

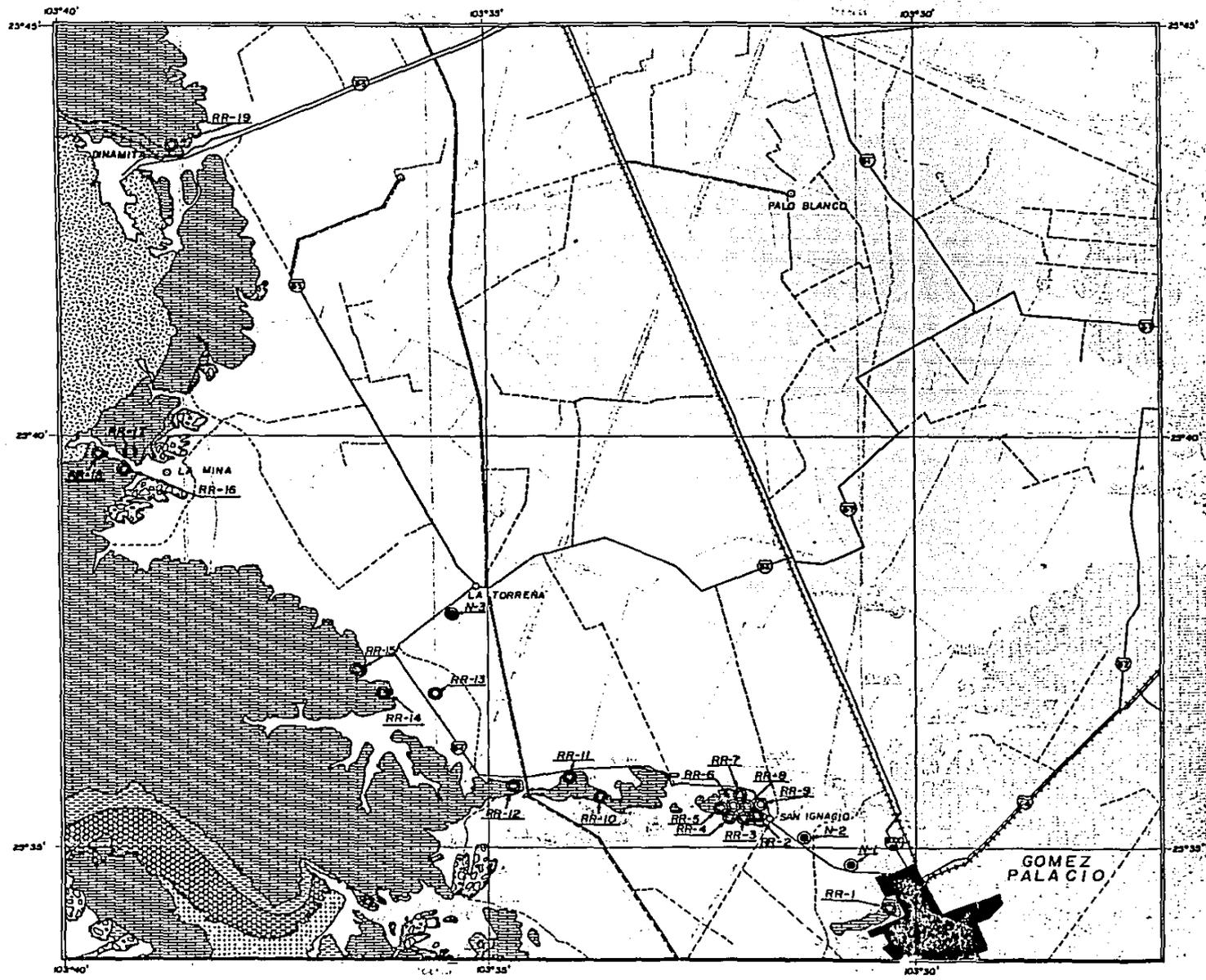
APENDICE

Relación de muestras y descripción megascópica.

- RR-.1 Cerro de la Pila, altura media del cerro, al oeste de -
Gómez Palacio, Dgo.
Caliza de grano fino, gris rosácea, compacta, con veti-
llas de calcita recristalizada y algo de limonita.
- 2 Sur del Cerro El Fénix, cantera, al SO. del km 2 de la ca-
rretera estatal B-4.
Caliza brechoide, compacta, gris clara, con fragmentos de
caliza micrítica, vetillas de calcita y de limonita.
- 3 Sur del Cerro El Fénix, parte alta de la cantera, al SO.
del km 2 de la carretera estatal B-4.
Caliza, ligeramente deleznable, color crema rosáceo.
- 4 Del mismo afloramiento de las dos anteriores, parte alta
de la cantera, extremo derecho.
Caliza, ligeramente deleznable, color crema amarillento.
- 5 Sur del cerro El Fénix, altura media, afloramiento en el
cauce de un arroyo.
Material calcáreo, deleznable, color crema, que rellena
fracturas en la caliza regional.
- 6a Cima del Cerro El Fénix, primer socavón de SE a NO. de la
Mina San Luis, parte inferior del socavón.
Roca de color crema rosáceo, textura clástica, delezna-
ble en partes. Se le aprecian fragmentos de cuarzo, pe-
dernal, minerales arcillosos y óxidos de fierro, cemen-
tados por un material no identificado y por calcita.
- 6b De la parte media inferior del socavón anterior.
Caliza gris clara, compacta.
- 6c De la parte media a superior del primer socavón.
Caliza gris rosada, con capas blancas a cremas interes-
tratificadas y rellenando fracturas. Según análisis pre-
vios dichas capas contienen arsénico en alta proporción.
- 7a Cima del Cerro El Fénix, segundo socavón de la Mina San
Luis, parte inferior.
Calcarenita de color rosáceo, textura clástica brechoide,
porosa y deleznable. Constituida por fragmentos angulosos
de cuarzo, calcita y feldespatos alterados a arcillas, -
incluidos en una matriz calcárea.
- 7b De la parte superior del segundo socavón de la Mina San
Luis.
Caliza de color rosáceo, textura clástica incluida, delez-
nable, formada por fragmentos de calcita, caliza y esca-
sos de cuarzo, incluidos en una matriz calcárea.

- 8 Cima del Cerro El Fénix, cata de 1 m profundidad al NO. de los dos socavones mencionados.
Caliza de color rosáceo, textura clástica y estructura deleznable, constituida por fragmentos de calcita y caliza en una matriz calcárea. Presenta vetillas de calcita recristalizada, color café y limonita diseminada.
- 9 Cima del Cerro El Fénix.
Caliza color gris claro, de estructura acanalada, que corona el cerro; presenta vetillas de calcita y limonita.
- 10a Cerro Dolores (La Borrega), cantera, al sur del km 5 de la carretera B-4.
Caliza gris clara, de grano fino, compacta, con vetillas de calcita recristalizada y limonita.
- 10b Cerro Dolores (La Borrega), cantera, al sur del km 5 de la carretera B-4.
Material calcáreo, color crema, poroso y deleznable; rellena fracturas en la roca anterior.
- 11a Cerro Dolores (La Borrega); al sur del km 7.5 de la carretera B-4.
Caliza de grano medio, color gris rosáceo, compacta, con nódulos de pedernal y huellas de disolución.
- 11b Cerro Dolores (La Borrega), al sur del km 7.5 de la carretera B-4.
Nódulo de pedernal, color café rojizo.
- 12 Sierra de Mapimí (Sierra El Sarnoso), al sur del km 9 de la carretera B-4, frente al Cañón de Tlahualilo.
Caliza de grano fino, color gris, compacta, con abundantes nódulos de pedernal color café y estilolitas.
- 13 Colina junto al rancho Los Jacalitos, al este del km 11.5 de la carretera B-4.
Caliza color gris rosáceo, compacta, muy fosilífera.
- 14 Sierra de la Luz (parte de la Sierra de Mapimí), al oeste del km.12 de la carretera B-4.
Caliza color gris claro, de textura brechoide, fosilífera.
- 15 Sierra de La Luz, cerca del poblado La Luz, al oeste del km 12.5 de la carretera B-4.
Caliza color gris claro, compacta, fosilífera y con escasos nódulos de pedernal.
- 16 Sierra de Mapimí, a la entrada del Cañón El Sarnoso, - frente al poblado La Mina.
Caliza de grano fino, de color gris oscuro, compacta.
- 17 Sierra de Mapimí, Cañón El Sarnoso, cantera a la derecha.
Mármol de contacto, de color blanco.

- 18 Sierra de Mapimí, Cañón El Sarnoso, intrusivo a la izquierda del arroyo, probablemente dique o apófisis del Tronco El Sarnoso.
Granito, de grano fino a mediano, color gris que intemperiza a ocre. Se identifican cristales de cuarzo, feldspatos, biotita y hornblenda.
- 19a Cerro rojizo, al noreste de Dinamita, Dgo., intrusivo. Brecha de mármol, constituida por fragmentos blancos de calcita en una matriz rojo oscuro de hematita.
- 19b Cerro rojizo, al noreste de Dinamita, Dgo., intrusivo. Roca verdosa no identificada, untuosa, deleznable, en contacto con la brecha de mármol y la roca ígnea.
- N-1 Pozo cercano al km 1 de la carretera B-4.
Muestra de agua.
- 2 Pozo junto al establo La Borbolla, cercano al km 2 de la carretera B-4 y el más próximo al Cerro El Fénix.
Muestra de agua.
- 3 Pozo en la Granja San Martín, km 13.7 de la carretera B-4.
Muestra de agua
- 4 Toma domiciliaria en Torreón, Coah.
Muestra de agua.
- 5 Pozo en el ejido Las Vegas, Mpio. Francisco I. Madero, Coah.
Muestra de agua.
- 6 Pozo en Lequeitío, Coah., Mpio. Francisco I. Madero.
Muestra de agua.
- 7 Pozo en Finisterre, Coah., Mpio. Francisco I. Madero.
Muestra de agua.
- 8 Toma pública en Soffa, Coah., Mpio. Francisco I. Madero.
Muestra de agua.



SIMBOLOGIA

ROCAS SEDIMENTARIAS

-  ALUVIUM - RELLENO DE VALLE, DEPOSITOS DE ACARREO Y TALUD.
-  FORMACION AMUICHILA - CONGLOMERADO.
-  FORMACION AURORA - CALIZA ARRECIFAL EN BANCOS GRUESOS Y DOLOMITA.
-  SERIE COAHUILIANA - LUTITAS Y ARENISCAS ARCILLOSAS.
-  FORMACION LA CASITA - LUTITA CARBONOSA Y ARENISCA.
-  FORMACION LA GLORIA - ARENISCA Y LIMOLITA.

CUERPOS INTRUSIVOS

-  TRONCO DE ROCAS GRANITICAS.

FALLA

-  ANTICLINAL

-  SINCLINAL

-  RUMBO Y ECHADO

-  CARRETERA PAVIMENTADA

-  VIA DE FERROCARRIL.

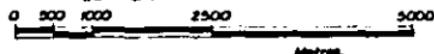
-  BRECHA

MUESTRAS RECOLECTADAS EN

-  AFLORAMIENTO

-  NORIA

ESCALA:



UNAM

FACULTAD DE CIENCIAS

PLANO DE LOCALIZACION DE MUESTREO

TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS:

RAQUEL RIOS GARCIA

FECHA:
NOV. - 1982

FUENTE:
HOJA TORREON
GIS D25 CETENAL

FIGURA:
Nº 21