



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra

**“Geología económica y geoquímica del yacimiento de
wollastonita en Villa Juárez, Hidalgo”**

T E S I S

Para obtener el título de
Ingeniero Minero Metalúrgico

Presenta:

Yaneri López Acosta

Asesor: Dr. Kinardo Flores Castro.



Pachuca de Soto, Hidalgo. Marzo, 2007.

Creación gracias por permitirme existir, haber elegido para mi este mundo, ubicarme en tiempo, espacio y *coincidir*.

Gracias a mi familia Hernán, Sonia, Magali, Jann Angel, Pamela Meily, y Michel; mamá por el apoyo en todos estos años, Magali nunca voy a olvidar la confianza depositaste en mi sin dudar ni un solo instante. Jann y Pamela, son maravillosas luciérnagas iluminando y atrayendo en la oscuridad total. Hernán no existen palabras para describir mi gratitud por tu confianza, estabilidad, lealtad, pasión, tranquilidad, sinceridad y amor.

Gracias a Kinardo por su tiempo, dedicación, confianza y pasión por el trabajo.

A mi abuela Eustolia Chavarria Roque **†**, me hubiese gustado que vieras mi crecimiento, mostrarte la otra manera de vivir.

Leo eres la figura que siempre busque, no olvidare el apoyo incondicional de tu parte.

Carmen agradezco que me haya mostrado el mundo, lo estricta y exigente que alguna vez fue conmigo, ahora entiendo que fue para formarme con cimientos sólidos, indestructibles.

Jaime y Gabriela agradezco la confianza y haberme abierto las puertas de su hogar.

María José gracias por tu amistad y por tener la música en común.

Alfredo, Rolando, Rebeca, Gustavo y Erica, gracias por alegrarme los días con su buen humor.

Gracias por la compañía a mis cibernautas preferidas Antelma y Samara, fue más ameno el trabajo de escritorio.

Flor de María gracias por tatuarme en la alma la visión de la vida, el mostrarme que realmente existen seres humanos en todo su esplendor, la preocupación por este trabajo y lo más importante... su amistad.

A Carmina, por su excepcional trabajo, por mi crecimiento personal y encontrar de vuelta mi tranquilidad.

Finalmente a ti gracias por escuchar todos los días tu voz y decirme Yaneri: *"Uno se mueve desde el convencimiento, desde su verdad y entonces es cuando ocurre la magia"*. Algún día estaré haciendo lo que tu.

Con toda mi pasión y amor para mi compañero de vida y mis sobrinos...

Índice

1	Resumen	1
2	Abstract	2
3	Introducción	3
3.1	Antecedentes de la investigación	3
3.2	Objetivo	4
3.3	Metas	4
3.4	Reseña histórica del área de estudio	5
4	Situación Geográfica	9
4.1	Localización y vías de acceso	9
4.2	Infraestructura	11
4.2.1	Caminos	11
4.2.2	Servicios	11
4.3	Situación Legal	11
4.4	Localización fisiográfica	12
4.4.1	Geomorfología	12
4.4.2	Clima	12
4.4.3	Vegetación	13
4.4.4	Hidrografía	13
5	Metodología	14
5.1	Preparación mecánica de muestras	15
5.2	Métodos de análisis	16
5.2.1	Análisis cualitativo	16
5.2.1.1	Difracción de rayos X	16
5.2.1.2	Microscopia electrónica de barrido (MEB)	17
5.2.2	Análisis cuantitativo	19
5.2.2.1	Espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado Inducidamente (ICP-MS)	20
5.2.2.2	Microanálisis por microsonda electrónica (EPMA)	21
6	Geología regional	23
6.1	Resumen	23
6.2	Precámbrico (PC)	24
6.2.1	Formación Huiznopala	24
6.3	Paleozoico	25
6.3.1	Formación Tuzancoa	27
6.4	Mesozoico	27
6.4.1	Triásico	27
6.4.2	Jurásico	28
6.4.3	Cretácico	29
6.5	Cenozoico	30
6.5.1	Sedimentario	30
6.5.1.1	Formación Chicontepec (Paleoceno – Eoceno)	30
6.5.1.2	Fanglomerado El Morro (Eoceno)	30

ÍNDICE

6.5.2	Ígneo extrusivo	32
6.5.2.1	Formación Las Espinas (Eoceno – Mioceno)	32
6.5.2.2	Formación Atotonilco (Mioceno superior – Plioceno)	32
6.5.3	Ígneo intrusivo	33
6.6	Pleistoceno y reciente	33
7	Geología local	35
7.1	Cretácico Inferior	35
7.2	Cretácico Superior	35
7.3	Generalidades de los granitoides de La Encarnación	36
7.3.1	Rocas Metamórficas	39
7.4	Cartografía geológica de detalle y muestreo selectivo	40
8	Mineralogía, petrología y geoquímica	44
8.1	Mineralogía	44
8.1.1	Roca plutónica - endoskarn - aureola de contacto - exoskarn - mármol caliza	44
8.2	Petrología	45
8.2.1	Petrología del granitoide	45
8.2.1.1	Textura	47
8.2.1.1.1	Minerales esenciales	47
8.2.1.1.2	Minerales accesorios	49
8.2.1.1.3	Minerales secundarios	50
8.2.1.2	Análisis modal de la cuarzomonzodiorita (granitoide Villa Juárez)	50
8.2.2	Petrología del contacto	53
8.2.3	Petrología de la aureola	54
8.2.4	Resultados del análisis de microscopía electrónica de barrido	58
8.3	Geoquímica	61
8.3.1	Difracción de rayos X	63
9	Geología económica y cálculo de reservas	64
9.1	Empleo	64
9.1.1	Industria Cerámica	64
9.1.2	Industria de la Construcción	68
9.1.3	Fricción	70
9.1.4	Industria metalúrgica	71
9.1.5	Industria de pinturas y recubrimientos	72
9.1.6	Industria polimérica	73
9.2	Producción mundial	74
9.2.1	Wollastonita en el mundo	78
9.3	Producción nacional	79
9.3.1	Wollastonita en México	80
9.3.1.1	Sonora	80
9.3.1.2	Zacatecas	80
9.3.1.3	Durango	81
9.3.1.4	Hidalgo	81
9.4	Cotizaciones	82

ÍNDICE

9.5 Composición química	83
9.6 Normatividad Ambiental	84
9.6.1 Disposiciones ambientales	85
9.6.1.1 Marco normativo federal	85
9.6.1.2 Marco normativo estatal	86
9.7 Cálculo de reservas	87
9.8 Cemento expansivo	90
10 Conclusiones	95
11 Recomendaciones	98
Glosario	101
Referencias bibliográficas	111
Anexo A Clasificación de los depósitos de skarn	122
Anexo B Tablas mineralógicas	125
Anexo C Curvas de isoconcentración	135
Anexo D Resultados de la difracción de rayos X	151
Anexo E Producción mundial y principales empresas de wollastonita	156
<i>Anexo cartográfico</i>	

Índice de figuras fotomicrografías, gráficas, ilustraciones, imágenes y Tablas

Figuras

Figura 5.1	Diagrama de flujo de la investigación	14
Figura 9.1	Diagrama usos de wollastonita a nivel industrial	65

Fotomicrografías

Fotomicrografía 8.1	Imagen de nícoles cruzados de la cuarzomonzodiorita. Escala gráfica 100 μm	48
Fotomicrografía 8.2	Luz paralela. Cuarzo (Cz), plagioclasa (Pl), feldespato potásico (Fk), horblenda (Hb), biotita (Bt) y titanita (Tit). Escala gráfica 100 μm	48
Fotomicrografía 8.3	Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos, del contacto. Escala gráfica 1000 μm .	55
Fotomicrografía 8.4	Luz paralela a 40 aumentos. Cuarzo (Cz), calcita (Cc), diópsido (Dp), granate (Gr) y titanita (Tit). Escala gráfica 1000 μm .	55
Fotomicrografía 8.5	Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos del contacto. Escala gráfica 1000 μm .	56
Fotomicrografía 8.6	Luz paralela a 40 aumentos. Cuarzo (Cz), calcita (Cc), diópsido (Dp) y wollastonita (Wo). Escala gráfica 1000 μm .	56
Fotomicrografía 8.7	Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos de la aureola. Escala gráfica 1000 μm .	57
Fotomicrografía 8.8	Luz paralela a 40 aumentos. Wollastonita (Wo), titanita (Tit), Cuarzo (Cz), y calcita (Cc). Escala gráfica 1000 μm .	57
Fotomicrografía 8.9	Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 1000 aumentos en MEB. Escala gráfica de 10 μm	59
Fotomicrografía 8.10	Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 2500 aumentos en MEB. Escala gráfica de 10 μm	59
Fotomicrografía 8.11	Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 1600 aumentos, mostrando fractura frágil, en MEB. Escala gráfica de 10 μm	60
Fotomicrografía 8.12	Imagen de wollastonita de Hermosillo, Son. (<i>NYCO Minerals</i>) a 1600 aumentos, en MEB. Escala gráfica de 100 μm	60
Fotomicrografía 8.13	Imagen de wollastonita de Hermosillo, Son. (<i>NYCO Minerals</i>) a 1900 aumentos, que muestra fractura frágil, en MEB. Escala gráfica de 10 μm	61

Gráficas

Gráfica 9.1	Muestra la demanda de minerales de carga en el mercado de los polímeros	73
Gráfica 9.2	Muestra la producción en el mundo para la década de los 80's	75
Gráfica 9.3	Muestra la producción en el mundo para el año 2000	77
Gráfica 9.4	Producción mundial de wollastonita, periodo 1990-2000	78
Gráfica 9.5	Muestra del país en años recientes	79
Gráfica 9.6	Muestra las variaciones de los precios de wollastonita en los años de 2003 al 2005	83
Gráfica 1C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Al_2O_3 del primer banco	135
Gráfica 2C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de CaO del primer banco	136
Gráfica 3C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Fe total del primer banco	137
Gráfica 4C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 del primer banco	138
Gráfica 5C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs Al_2O_3 del primer banco	139
Gráfica 6C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs CaO del primer banco	140
Gráfica 7C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs SiO_2 , normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del primer banco	141
Gráfica 8C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs Al_2O_3 normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del primer banco	142
Gráfica 9C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Al_2O_3 del segundo banco	143
Gráfica 10C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de CaO del segundo banco	144
Gráfica 11C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Fe total del segundo banco	145
Gráfica 12C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 del segundo banco	146
Gráfica 13C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs Al_2O_3 del segundo banco	147
Gráfica 14C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs CaO del segundo banco	148
Gráfica 15C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs SiO_2 , normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del segundo banco	149

ÍNDICE

Gráfica 16C	Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO ₂ Vs Al ₂ O ₃ , normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del segundo banco	150
-------------	--	-----

Ilustraciones

Ilustración 4.1	Mapa de carretera del Estado de Hidalgo	9
Ilustración 4.2	Mapa de vía de acceso a Villa Juárez	10
Ilustración 5.1	Microscopio electrónico de barrido	18
Ilustración 6.1	Columna litoestratigráfica del Estado de Hidalgo y La Encarnación. Modificado de MMAJ – JICA., 1982	26
Ilustración 6.2	Mapa de síntesis geológica del Estado de Hidalgo	31
Ilustración 7.1	Mapa geológico a detalle del primer banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.	40
Ilustración 7.2	Mapa geológico a detalle del segundo banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.	41
Ilustración 8.1	Diagrama de clasificación de rocas plutónicas de Streckeisen (1976) aplicado al granitoide de Villa Juárez	46
Ilustración 9.1	Descapote del banco	90
Ilustración 9.2	Perforación del banco para extraer con cemento expansivo	91
Ilustración 9.3	Vaciado del cemento expansivo en los barrenos	91
Ilustración 9.4	Fracturamiento del bloque por fraguado del cemento expansivo	92
Ilustración 9.5	Generación del bloque minado	93
Ilustración 9.6	Empleo de los cartuchos del cemento expansivo	93
Ilustración 1D	Difractograma de rayos X	154
Ilustración 2D	Interpretación de difractograma de rayos X	155

Imágenes

Imagen 3.1	Fotografía del tamaño de los cristales del yacimiento	8
Imagen 5.1	Fotografía del pulverizador PULVERISSETTE 2	15
Imagen 7.1	Depósito de Wollastonita: 1. Wollastonita, 2. Caliza recristalizada (parcialmente marmorizada), 3. Mármol, 4. Masas de calcita de relleno de cavidad, 5. Intrusivo Cuarzomonzodiorítico	37
Imagen 7.2	Detalle del contacto de wollastonita (Wo) y con masas de calcita (Cc), granate (Gr) y diópsido (Diop)	38
Imagen 7.3	Imagen del tamaño de los cristales de wollastonita del depósito de Villa Juárez, Hgo.	39
Imagen 8.1	Muestra del skarn. Granate (Gr), diópsido (Di), Calcita (Cc), Wollastonita (Wo) y cuarzo.	52

Tablas

Tabla 7.1	Simbología de los mapas geológicos de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.	42
Tabla 7.2	Descripción de muestras de mano de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.	42
Tabla 7.3	Descripción de muestras de mano de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.	43
Tabla 8.1	Análisis de roca total de la cuarzomonzodiorita	46
Tabla 8.2	Microanálisis por microsonda electrónica (EPMA) del cotaje de 1485 puntos en lámina delgada del granitoide de Villa Juárez. * ρ = densidad	51
Tabla 8.3	Cálculo de la norma CIPW. Normalizado al 100%	51
Tabla 8.4	Descripción petrográfica de la lamina 1 de la muestra A-8	53
Tabla 8.5	Descripción petrográfica de la lamina 2 de la muestra A-8	54
Tabla 8.6	Descripción petrográfica de la lamina 3 de la muestra Wo-3	58
Tabla 8.7	Análisis de roca total	62
Tabla 9.1	Precios del mercado de wollastonita	82
Tabla 9.2	Composición química de la wollastonita nacional	84
Tabla 9.3	Toneladas potenciales de wollastonita en Villa Juárez, Hgo.	88
Tabla 1A	Clasificación de los depósitos de Skarn en base al metal económico dominante	124
Tabla 1B	Mineralogía de los principales minerales de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez	125
Tabla 2B	Mineralogía de los minerales accesorio de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez	127
Tabla 3B	Mineralogía del mineral secundario de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez	129
Tabla 4B	Mineralogía del skarn (endoskarn) de Villa Juárez	130
Tabla 5B	Mineralogía de la wollastonita	132
Tabla 6B	Mineralogía del skarn (exoskarn) de Villa Juárez	133
Tabla 1D	Datos generados de la difracción de rayos X	151
Tabla 1E	Producción a nivel mundial de wollastonita en toneladas	156
Tabla 2E	Principales compañías mineras productoras de wollastonita año 2003	157

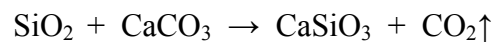
Lista de abreviaturas

°C	Grados centígrados
µm	Micrómetro
An	Anortita
Cc	Calcita
cm	Centímetros
Di	Diópsido
G	Peso específico
Gr	Granate
H	Dureza
ICP-MS	Espectrometría de plasma de masas
K/Ar	Potasio-argón
Km	Kilómetro
KV	Kilovolts
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LOI	Perdidas por ignición (Loss On Ignition)
m	Metro
mÅ	Miliamstrong
MEB	Microscopio Electrónico de Barrido
min	Minuto
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
No.	Número
PC	Precámbrico
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SMO	Sierra Madre Oriental
ton	Tonelada
Torr.	Torriceili
USD\$/ton	Dólares por tonelada
UV	Ultra violeta
V	Volumen
Wo	Wollastonita
x	Aumentos
θ	Ángulo
ρ	Densidad
≥	Mayor o igual
Σ	Promedio

1 Resumen

La wollastonita es un mineral industrial de mucha demanda, sobre todo por la industria del vidrio de alta calidad. En este trabajo se realiza cartografía geológica, geoquímica, petrología y cálculo de reservas de un yacimiento ubicado en Villa Juárez, municipio de Nicolás Flores, en el estado de Hidalgo.

El yacimiento de wollastonita se presenta como producto del metamorfismo de contacto de rocas plutónicas terciarias con calizas cretácicas, bajo la reacción:



En el contacto se desarrolla una aureola de morfología irregular que incluye minerales de la paragénesis de *skarn*: cuarzo-calcita-wollastonita-granate-diópsido.

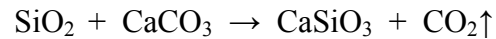
Los resultados arrojan un potencial de 2'064,287.7 ton; reservas probadas por 412,857.5 ton, probables de 619,286.3 ton y posibles de 1'032,143.887 ton. Se documentan los principales usos, aplicaciones industriales y las principales compañías que la comercializan.

Es importante mencionar que México es uno de los cuatro principales productores de wollastonita en el mundo, y que la mayor parte de esta producción se destina a la exportación.

2 Abstract

Wollastonite is an important industrial mineral, e.g. high quality glass, refractory ceramics. In this work we realized geological cartography, geochemistry, petrology and economic geology of an Ore deposit located at Villa Juarez, municipality of Nicolas Flores, Hidalgo, Mexico.

The wollastonite deposit has been produced by the contact metamorphism of Tertiary plutonic rocks with cretaceous limestones by the following reaction:



The contact zone has been developed an irregular aureole that include minerals within the *skarn* paragenesis: quartz-calcite-wollastonite-garnet-diopside.

The results of this study interpreted an economically potential resource of 2'064,287.7 ton. Reserves proof for 412,857.5 ton, probably reserves by 619,286.3 ton and possibles for 1'032,143.887 ton. We included data related with the industrial applications and also a list of the main companies that commercializing the mineral around the world.

It is important to mention that Mexico is one of the fourth wollastonite production countries in the world and the major part of this production is designated to exportation.

3 INTRODUCCIÓN

3.1 Antecedentes de la investigación

Con base en el informe geológico de la Zona Mineralizada Maconí-Zimapán-Pachuca. (Galicia-Fernández, 1973) realizado por personal técnico del Servicio Geológico Mexicano, se reportan afloramientos de cuerpos plutónicos de composición granodiorítica en las localidades de La Encarnación, Nicolás Flores, Maguey Verde, Jacala y Pisaflores; en él se describen la petrología granítica y los yacimientos asociados tipo skarn, así como los resultados de muestreos de sedimentos de arroyo y estructuras que contienen mineralizaciones metálicas y no metálicas, relacionadas a intrusión ígnea. Describieron cuerpos minerales de minas de la región con tonelajes y leyes calculadas. Con respecto a los minerales no metálicos, describe el afloramiento cercano a Villa Juárez de wollastonita, objeto de este estudio.

Posteriormente, se generó un proyecto de cartografía geológica e inventario de recursos minerales por el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el área: La Encarnación - San Nicolás y Nicolás Flores, incluida en la hoja topográfica San Nicolás, clave F14C59 escala 1:50,000 editada por la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática de la Secretaría de Programación y Presupuesto (1983). Actualmente emitida por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); en donde se originaron datos geológicos, geoquímicos y mineralógicos del skarn del área de La Encarnación, municipio de Zimapán.

A continuación, Flores-Castro, 2001, realiza estudios cartográficos, geoquímicos y petrológicos de detalle de los granitoides de la región noroccidental del Estado de Hidalgo.

La información recopilada permite establecer las bases de esta investigación que aporta nuevos datos geológico–económicos y geoquímicos del yacimiento de wollastonita de Villa Juárez, además de usos y aplicaciones del mineral industrial.

3.2 Objetivo

El objetivo primordial de esta investigación se sujeta a la interpretación de la geología económica, cartografía de los bancos y la geoquímica del depósito de wollastonita, ubicado en Villa Juárez, Hidalgo.

3.3 Metas

- ④ Recopilación bibliográfica sobre yacimientos de skarn, donde la wollastonita es parte de la mineralización de mena.
- ④ Investigar las condiciones termodinámicas de formación del mineral calcosilicatado de interés industrial.
- ④ Caracterización química y mineralógica de las distintas zonas del depósito: endoskarn, aureola y exoskarn.
- ④ Realizar la cartografía de los bancos mineralizados con wollastonita.
- ④ Estimación de reservas probadas, probables y posibles, así como el estudio de mercado y el impacto social de iniciar la explotación (geología económica).

3.4 Reseña histórica del área de estudio

La actividad minera de exploración y explotación, desarrollada en la región de La Encarnación del Distrito Minero de Zimapán y zonas aledañas datan desde la Época Colonial.

Flores-Castro (2001) menciona que para 1579 los españoles hacia ya 4 años que tenían trabajos en las minas de Tulimán (denominada actualmente como Tolimán, ubicadas en la barranca con el mismo nombre), según los informes que describían las Indias por Alejo de Murgia: *las minas son de plata, de metales de fundición y sobre todo de plomo y hay algunas de sólo plomo*; elaborados para el gobierno de la Nueva España a cargo del Capitán General de las Fuerzas Armadas Españolas Don Miguel Enríquez.

En el siglo XVI la corona española impulsó el desarrollo de la minería descubriéndose importantes yacimientos de plata en Zacatecas, Guanajuato y Pachuca, junto con el desarrollo tecnológico del siglo XVIII colocaron a la Nueva España como el principal productor de plata.

Julis Guillermin relata en 1918, que a mediados del siglo XIX en el área La Encarnación iniciaban las actividades de exploración y explotación de la mina “El Tejocote”. En 1965 dicha zona llegó a ser la más importante productora de hierro conocido como *Hierro de Zimapán*.

Otra mina importante fue la de “El Cambio” operando de 1850 hasta 1910; y en 1911 inicia sus actividades de explotación la mina “Santo Tomás”; pero la escasez de carbón de aquel entonces y la Revolución Mexicana (1910 ≈ 1917) hicieron que cesaran las actividades económicas.

INTRODUCCIÓN

En 1966 se reabrió la mina “Santo Tomás”, más tarde otras minas cercanas: “Dulces Nombres”, “San Francisco” y “Las Delicias”, juntas tuvieron una gran participación en el desarrollo del área.

La mina “El Águila Roja” en 1973 inicia sus operaciones, ubicada a 1.7 Km al E-SE de La Encarnación, siendo una de las más importantes productoras de hierro-cobre en el país; el tipo de explotación a diferencia de que las minas aledañas eran a cielo abierto, era subterránea con un sistema de explotación de tumba sobre carga con pilares. En los inicios de los 80's fue cerrada El Águila Roja por la escasez de mineral. Aun se aprecian ruinas de las instalaciones como el horno, la chimenea y algunos vestigios del molino a las afueras de La Encarnación. (MMAJ-JICA, 1982)

A mediados de la década de los 80, se inicio la explotación de mármol en el área del parque nacional Los Mármoles, debido a que para entonces el precio de los minerales metálicos había caído drásticamente hasta ponerse en mínimos históricos. Esto trajo consigo la considerable pérdida económica y muchas pequeñas, medianas y hasta grandes empresas mineras del país cerraran.

La explotación del mármol y otros minerales industriales, en esa época, supera con creces a la de los minerales metálicos. Sin embargo, los pobladores de la región que son la mano de obra barata, son los menos beneficiados por esta actividad económica y recordando que es una de las regiones que presenta uno de los más altos índices de emigración del país, sobre todo a la Ciudad de México y a los Estados Unidos de América.

Cuando estuvo en auge la explotación de mármol se obtenían tres calidades para comercialización: de primera, denominado “blanco”, de segunda, el “azul” y de tercera el “combinado”.

INTRODUCCIÓN

A principios de la década de los 90, aparentemente el precio internacional de los minerales metálicos tiene un repunte en el mercado internacional y algunas empresas pequeñas reanudan operaciones, como por ejemplo: las minas La Trinidad y Santa Eleonora en el arroyo de Flojonales, ambas con capital de particulares.

En 1995 empieza la operación de la mina de hierro La Esmeralda, ubicada en la zona más profunda de la Barranca de los Mármoles. Esta mina agotó rápidamente su mineral, debido a que el cuerpo mineralizado resulto ser de pequeñas dimensiones, aunque no se desestima que en esta localidad se ubiquen más de estos cuerpos aislados.

El yacimiento de wollastonita, objeto de este estudio, se localiza en las cercanías del poblado de Villa Juárez, al sureste de La Encarnación. Este calcosilicato es el segundo mineral no metálico de importancia económica en el área y se empezó a extraer en 1997; sin embargo, se trabajo algunos meses y ceso sus operaciones poco tiempo después debido al desacuerdo que existe entre los colonos y el propietario de la concesión minera y además, la ubicación del depósito en cuestión dentro del Parque Nacional Los Mármoles, los cuales clausuraron estos yacimientos en el 2002, situación que continúa.

Se espera que se reanuden operaciones de extracción próximamente, ya que el área de influencia del parque nacional será redefinida para impulsar la actividad minera y forestal de la región. Actualmente existe extracción en la zona de manera ilícita de minerales no metálicos.

La wollastonita es un mineral muy cotizado en la industria del vidrio de alta calidad, la industria cerámica para fabricar materiales refractarios, entre otras aplicaciones.

INTRODUCCIÓN

La Wollastonita es un mineral común en skarns, pero muy poco frecuente encontrar bancos de estas dimensiones y con esta calidad, se llegan a encontrar cristales que alcanzan el metro de longitud, dato mineralógico de mayor relevancia.



Imagen 3.1 Fotografía del tamaño de los cristales del yacimiento

4 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

4.1 Localización y vías de acceso

El yacimiento de wollastonita se encuentra próximo a la comunidad de Villa Juárez, municipio de Nicolás Flores, en el Estado de Hidalgo y está delimitada por las coordenadas geográficas 20° 52' 47" de Latitud Norte y 99° 11' 52" de Longitud Oeste.



Ilustración 4.1 Mapa de carretera del Estado de Hidalgo

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

A la zona se llega a través de la Carretera Federal n. 85 (vía México-Laredo), con recorrido de 258 Km, partiendo desde la Ciudad de México, con rumbo a la capital del estado de Hidalgo Pachuca. Se prosigue en dirección Actopan, Ixmiquilpan, Tasquillo, Zimapán, Las Trancas, Barranca de Los Mármoles e inmediatamente después, se continúa por el camino de terracería que conduce a la bifurcación con el poblado de La Encarnación y Villa Juárez, distando cinco kilómetros de dicho troncal. El camino es transitable todo el año.

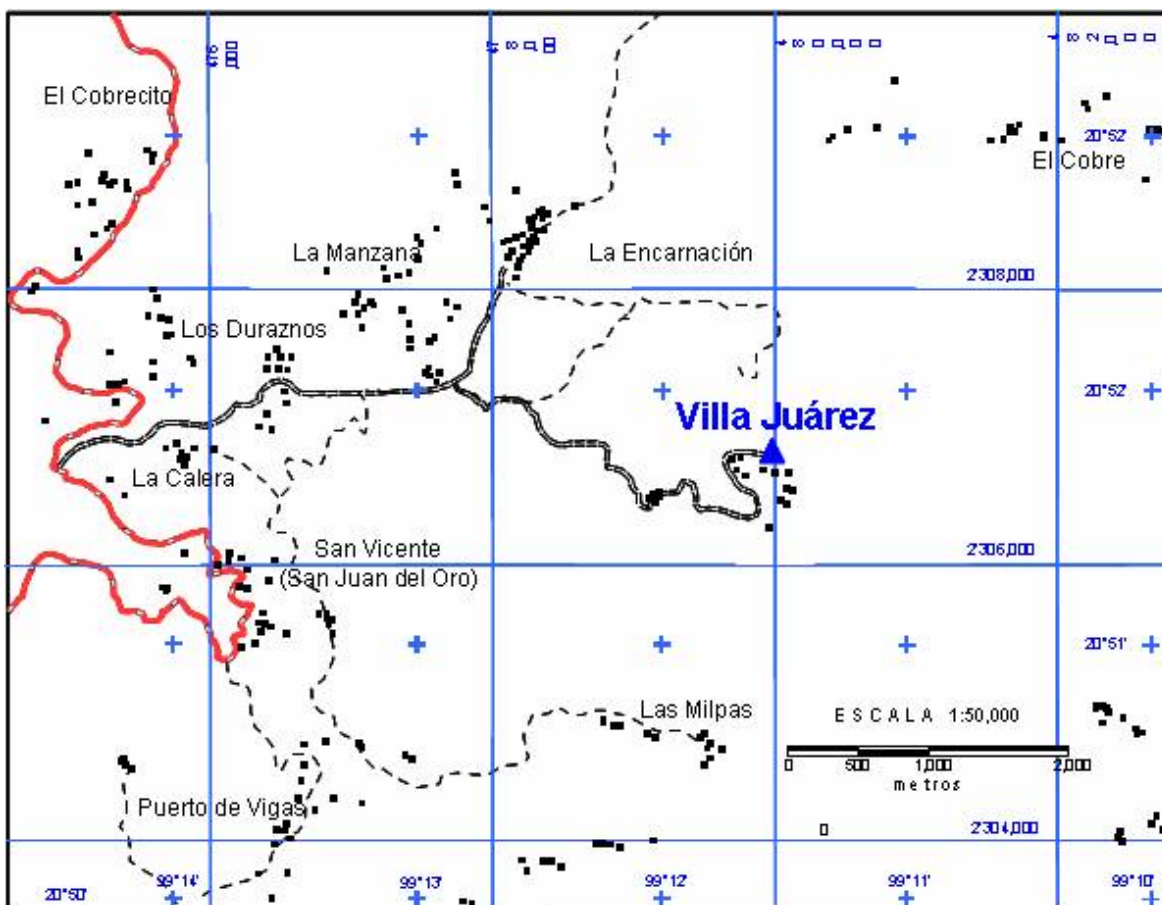


Ilustración 4.2 Mapa de vía de acceso a Villa Juárez

4.2 Infraestructura

4.2.1 Caminos

Se integra a la Carretera Federal No. 85, denominada México – Laredo por una desviación de 11 Km de terracería que conduce al poblado de La Encarnación y Villa Juárez a unos 30 Km al noreste de Zimapán. El camino es transitable todo el año y sirve de acceso a poblaciones aledañas como El Durazno, La Manzana, Mesa de la Cebada, El Cobre, Santo Domingo, etc. Las elevaciones oscilan entre 1900 y 2830 msnm, siendo la elevación más alta el Cerro de Cangandhó.

4.2.2 Servicios

En la población de Villa Juárez las líneas eléctricas se localizan a un lado del camino, pasando estas por un costado de los bancos de mármol y wollastonita. En la zona existe agua suficiente para utilizarla a nivel industrial, cuenta con escuelas desde kinder, primaria, telesecundaria y bachillerato, este último en la comunidad cercana de Durango.

4.3 Situación legal

El 9 de agosto de 1997 Minera Pal (Prasser, Ansira, Lozano) S. A. de C. V. firmó un convenio de sesión de derechos por exploración y explotación de wollastonita con un plazo de 20 años con el Sr. Gosch Patiño, dicho contrato se encuentra actualmente en disputa legal para la disolución del mismo, ya que no se encuentra notariado (Vaquero, 2002).

La contraparte el Sr. Gosch no ha realizado trabajos de explotación; sin embargo, se tiene conocimiento que se realizaron trabajos de explotación de manera ilegal por un integrante de la comunidad, el cual esta pagando condena judicial y el cuál

comercializó el mineral a \$470.00 / ton; siendo que en el mercado internacional se cotiza alrededor de USD \$345 / ton. Cabe mencionar que este precio es de mineral a 200 mallas.

Actualmente los trabajos de explotación en la zona han sido clausurados (2002) por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Se declara Parque Nacional destinado a la perpetua conservación de los recursos forestales y de la fauna silvestre, la región que comprende la Barranca de San Vicente y Cerro de Cangandhó, con una superficie de 23,150 hectáreas con el nombre de **Parque Nacional Los Mármoles** (Decreto Parque Nacional Los Mármoles, 1936), el cual fue ratificado hasta 2003.

4.4 Localización fisiográfica

4.4.1 Geomorfología

El poblado de Villa Juárez, pertenece al municipio de Nicolás Flores; este se localiza en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, Subprovincia del Carso Huasteco, formada por cadenas orográficas tectonizadas de rocas sedimentarias eminentemente marinas, plegadas y separadas por estrechos valles longitudinales casi paralelos (Córdoba et al., 1991).

4.4.2 Clima

Villa Juárez cuenta con un clima predominantemente subcálido-templado, que fluctúa de templado en verano con temperaturas de 17 a 23 °C, a frío de montaña con temperaturas de – 3 a 18 °C en invierno con nevadas ocasionales y con una precipitación pluvial de 470 milímetros por año, siendo su período de lluvias de marzo a septiembre.

4.4.3 Vegetación

En el área hay bosque de encino, pino y pastos; existen plantaciones tipo huerto de manzana de buena calidad y de importancia económica. En las zonas más bajas, proliferan diversas especies de cactáceas, muchas de ellas endémicas. Algunas especies son: nopal tunero y criollo, biznaga, huevo de toro, cerebro, chilitos, viejitos; y maguey pulquero como agave típico de la zona.

4.4.4 Hidrografía

Hidrológicamente esta área se encuentra en la Región Hidrológica No. 26, denominada Cuenca del Bajo Río Pánuco. El río Moctezuma pasa al occidente del parque, dentro del cual nacen algunos arroyos que fluyen en dirección sur-norte para unírsele. Uno de ellos es el Río de los Naranjos que se une al Moctezuma cerca de Macazintla. Por la vertiente oriental fluye el río Amajac, el cual también recibe numerosos arroyos por la margen izquierda, que nacen dentro del parque. Entre los más importantes están el arroyo Barranca Seca y el Arroyo Rincón del Agua.

En la zona se cuenta con un arroyo de aguas permanentes llamado "Las Adjuntas", el cual se alimenta en su curso con otros afluentes como son los Arroyos de Texcadhó, Pijay, el Naranjo y el Aguacate.

El manantial de comunidad de La Encarnación tiene su nacimiento al pie del Cerro Changando; éste es el único que provee de agua a los habitantes de la región.

5 METODOLOGÍA

La Cartografía del área se realizó en base a la hoja topográfica San Nicolás F14C59, editada por la Coordinación Nacional de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática de la Secretaría de Programación y presupuesto (1983) y para la geología se utilizó el Mapa Geológico del área de La Encarnación por Flores-Castro (2001); ambos con el programa Arcview Versión 9.0. El muestreo de los dos yacimientos constó de 22 muestra colectadas selectivamente.

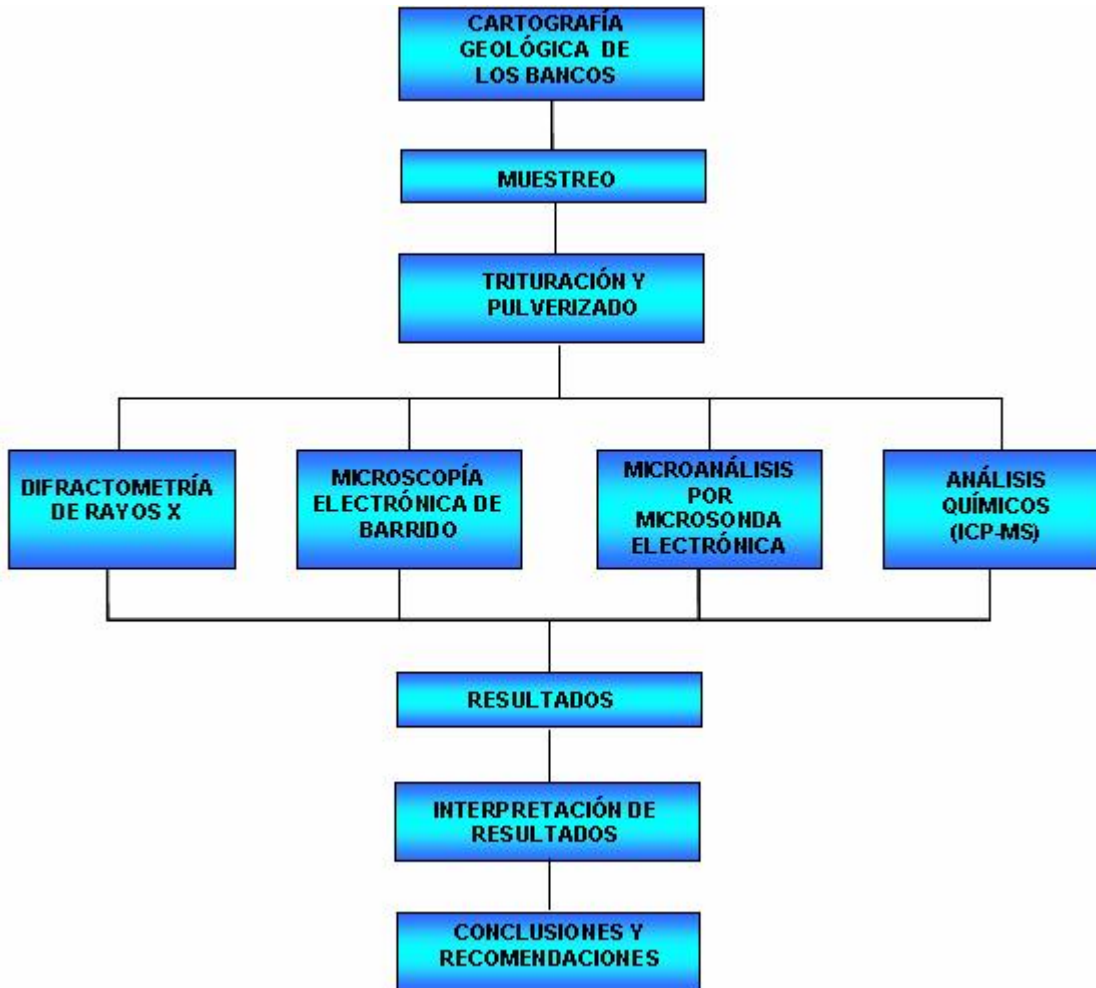


Figura 5.1 Diagrama de flujo de la investigación

5.1 Preparación mecánica de muestras

Para preparar mecánicamente las muestras para sus posteriores análisis, se secaron vía solar para eliminar la humedad positiva; se trituraron de forma manual hasta obtener fragmentos con un tamaño promedio de 5 mm; posteriormente se molieron en un pulverizador marca FRITSCH, modelo PULVERISSETTE 2, que consta con un mortero y pistilo de ágata (con el fin de evitar posible contaminación con metales generados por el desgaste del equipo de molienda); el tiempo de molienda fué de 20 minutos aproximadamente para la obtención del cien por ciento de la muestra a – 200 mallas.



Imagen 5.1 Fotografía del pulverizador PULVERISSETTE 2

En el caso de los análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se realizaron en el Centro de Investigaciones de Materiales y Metalurgia de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (CIMyM-UAEH). Para el análisis de Microsonda electrónica se realizó en el Departamento de Geoquímica, de la Universitat de Barcelona

Por último las muestras fueron empaquetadas y enviadas al Centro Experimental Chihuahua, del Servicio Geológico Mexicano para sus análisis por tierras raras y roca total por los métodos de Difracción de rayos X, Espectrometría de Plasma de Masas (ICP-MS), Espectrometría de Plasma Óptico, además de los métodos gravimétricos y volumétricos; generándose de todos los análisis una réplica de la muestra Wo-10.

5.2 Métodos de análisis

5.2.1 Análisis cualitativo

Para el análisis cualitativo se utilizó la técnica de Difracción de Rayos X, en combinación con observaciones realizadas con los microscopios estereoscópico (sobre muestra en polvo y deslamada) y óptico polarizante con luz transmitida y reflejada (sobre secciones delgadas y briquetas de polvos concentrados).

5.2.1.1 Difracción de rayos X

La difracción de rayos X consiste en hacer pasar un haz de rayos X a través de las caras de sustancias cristalinas. El haz se hace incidir en varias direcciones debido a la simetría de la agrupación de átomos y por difracción da lugar a un patrón de intensidades que puede interpretarse según la ubicación de los átomos en el cristal, aplicando la ley de Bragg.

El Difractómetro de Rayos X empleado es de la marca SIEMENS, modelo D-500, usando la técnica de polvos; las condiciones de medición fueron: radiación con tubo de cobre (35KV y 25 mA), velocidad de goniómetro de $2^\circ 2\theta/\text{min}$ y velocidad de la gráfica de 2 cm/min. La calibración del equipo fue con un estándar de oro proporcionado por el fabricante. Se realizó una replica de la muestra Wo-10.

5.2.1.2 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

El objetivo primordial del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) es la magnificación de un cuerpo sólido (MEB o SEM por sus siglas en inglés *Scanning Electron Microscope*). El principio por el cual funciona el MEB es el siguiente: se realiza un barrido de la muestra a analizar con un haz de electrones que al incidir en la muestra genera una imagen acerca de la estructura física de la misma (ver ilustración 5.1).

La interacción entre el haz de electrones y la muestra genera señales secundarias, las cuales son mostradas en un detector apropiado que permite procesar la información para generar una imagen fiel a cierto número de aumentos de la muestra; estas señales son electrones secundarios. Otras señales secundarias son los rayos x, su análisis es a través de un espectrómetro que permite la obtención de información química de la muestra.

La parte superior del MEB contiene un filamento que alcanza temperaturas de 2700°C , emitiendo electrones los cuales son acelerados hacia abajo de la columna por un alto voltaje; la columna enfoca el haz usando lentes electromagnéticas, el haz pasa por unas bobinas deflectoras las cuales permiten que el haz de electrones barra la superficie de la muestra en distintas direcciones y a diferentes velocidades.

METODOLOGÍA

El haz de electrones interactúa con regiones cerca de la superficie de la muestra, con una profundidad aproximada de unas cuantas micras formando un volumen de interacción y generando distintas señales.

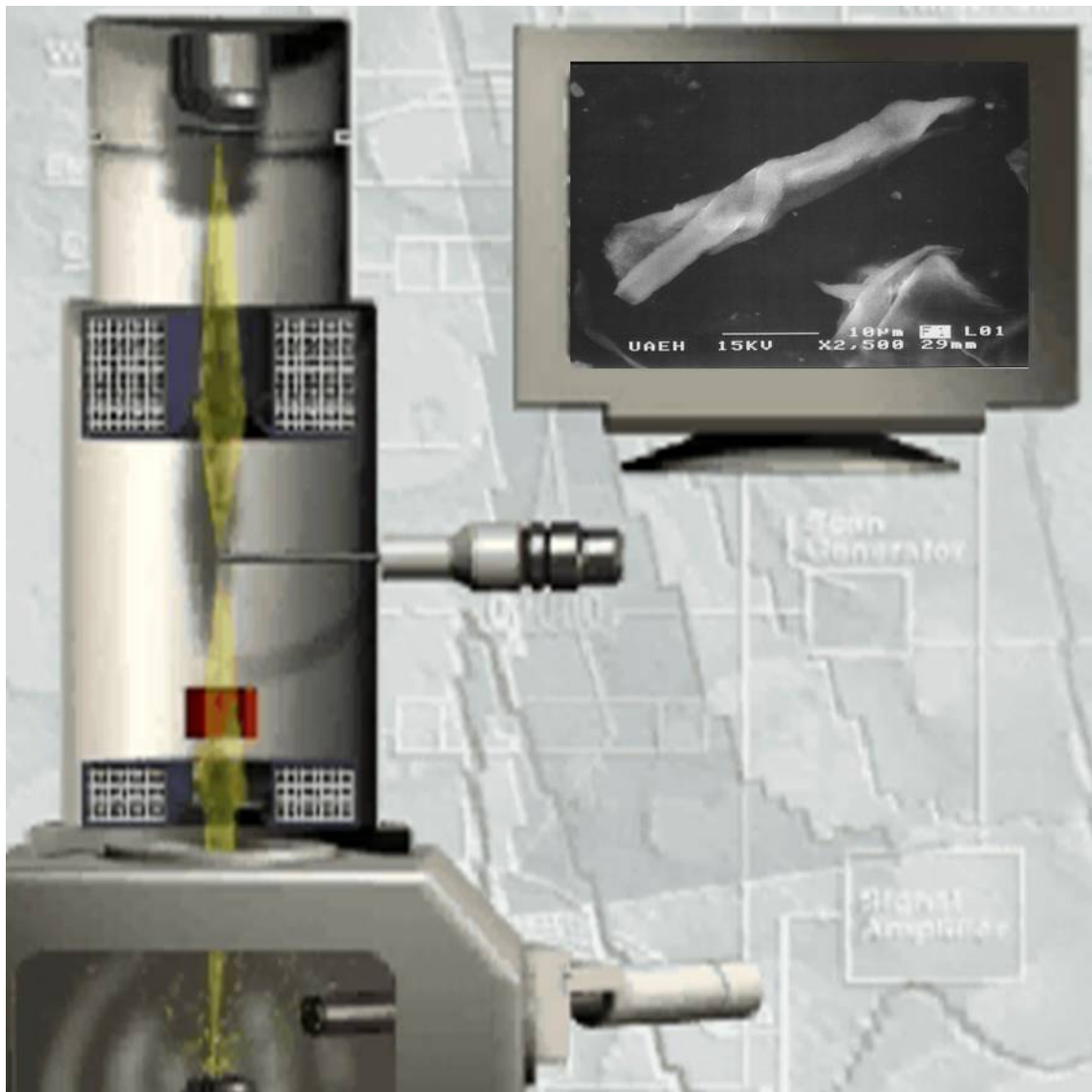


Ilustración 5.1 Microscopio electrónico de barrido

Preparación de la muestra para microscopía electrónica: Para el análisis de las muestras seleccionadas por microscopía electrónica de barrido (MEB) se empleó un microscopio de marca JEOL modelo JMS-6300, el cual tiene una resolución de 20

KV teniendo un alcance de 300,000 ampliaciones y tamaño de incidencia del haz de electrones en la muestra (spot size) de 10^{-2} a 10^{-5} amperios.

El objetivo del análisis fue observar el hábito de las muestras de wollastonita, así como su fractura; se monto una muestra previamente molida a 200 mallas sobre una cinta adhesiva; posteriormente se colocó en una evaporadora marca DENTUM VACUUM; para recubrir la muestra con oro (metalizado) volviéndola conductora, con el objetivo de que al ser bombardeada con el haz de electrones produzca señales de mayor intensidad. Las condiciones de metalización fueron recubrimiento con oro por un periodo de 2 minutos, a una presión de 20 milli-torr.

Análisis de la muestra por MEB: Se monto una muestra sobre el portamuestras del equipo, procurando que éste perfectamente alineada, una vez que la columna de electrones del microscopio tiene el vacío adecuado (inferior a 10^{-7} Torr) se hace incidir un haz de electrones al espécimen a 15 KV. Se realiza un barrido de todo el espécimen para identificar las fases de interés, observar los detalles texturales y contornos a diferentes ampliaciones.

Análisis de imagen coloca el portamuestras. Después se obtiene una imagen enfocada con buen contraste y brillantez que muestre los rasgos texturales y diferentes tonos de grises de las diversas fases elementales minerales que constituyen la microárea analizada.

Fotomicrografías: Por último se toman fotomicrografías tanto de la imagen de electrones secundarios como de los mapeos electrónicos de las fases de interés.

5.2.2 Análisis cuantitativo

Para los elementos cerio, disprosio, erbio, europio, gadolinio, holmio, lantano, lutecio, praseodimio, prometio, escandio, samario, terbio, torio, tulio, uranio, itrio e

iterbio se analizaron por el método de espectrometría de plasma de masas (ICP-MS), los elementos como hierro, óxidos de: aluminio, hierro, magnesio, manganeso, pentaóxido de fósforo, potasio, sodio y titanio se determinaron por espectrometría de plasma óptico; la determinación de óxido de calcio se hizo por volumetría; el dióxido de silicio y la pérdida por calcinación se determinó por gravimetría.

5.2.2.1 Espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inducidamente (ICP-MS)

La técnica de espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inducidamente (ICP-MS) cuantifica la mayoría de los elementos en la tabla periódica con alta sensibilidad de detección y una precisión de muchos órdenes de magnitud, determinando concentraciones en ppm, ppb y ppt de los elementos de interés; esta técnica se ha convertido en la mejor herramienta analítica para la determinación de elementos traza. Los elementos son medidos simultáneamente y puede realizarse un análisis completo en un promedio de 2 minutos.

Para que se pudieran realizar las lecturas en el ICP-MS, las muestras se trataron previamente por digestión con agua regia en un Horno de Microondas marca Anton Para; con el cual se alcanzan temperaturas y presiones elevadas en tiempos cortos, evitando la pérdida de elementos volátiles como el As; ya que este es un sistema cerrado.

La técnica de plasma (flama) presenta una alta temperatura y que está en el rango de 6000 a 10000 °K, la muestra en solución se introduce en forma de aerosol a través de un nebulizador hacia el plasma de argón.

El plasma de inducción acoplado es una corriente de átomos de argón sometidos a un aumento de temperatura debido a la inducción de una bobina de

radiofrecuencia y encendida por una chispa de alta frecuencia (Tesla). La muestra se disocia en el plasma de argón y se excita un gran número de átomos que emiten energía en diferentes longitudes de onda a un mismo tiempo, la energía así emitida es detectada por fotomultiplicadores que incrementan las lecturas tanto de estándares de calibración certificados y muestras; las intensidades obtenidas de las muestras se convierten a sus respectivas concentraciones.

En espectrometría de masas (MS) se generan iones cargados del elemento que se analiza tanto por bombardeo de una muestra gaseosa con electrones (fuente gaseosa) o por la volatilización de la muestra sobre un filamento incandescente hecho de algún metal de punto de fusión alto (fuente sólida). El haz de iones circula a lo largo de un tubo curvado a través de un electroimán muy poderoso que separa los iones atómicos de acuerdo a su masa.

La espectroscopia ICP-MS es una herramienta multielemental para análisis isotópicos y de elementos traza con alta sensibilidad, capaz de determinar concentraciones muy bajas de los analitos con alta precisión. Puede usarse para analizar un amplio rango de elementos traza, en la misma solución, usando una muestra pequeña. Los iones se extraen del plasma a través de un sistema de vacío y enfocados con un lente iónico hacia un espectrómetro de masa.

El ICP-MS utilizado es de la marca Perkin-Elmer, modelo ELAN 6100, con capacidad de monitorear rango de masas desde 5 - 250 uma con una capacidad mínima de resolución de 1 uma; anchura de pico del 5 % de la altura del pico. (ELAN 6100).

5.2.2.2 Microanálisis por microsonda electrónica (EPMA)

La microsonda electrónica es un método analítico no destructivo. Los análisis mediante este instrumento se utilizan fundamentalmente para la determinación de

METODOLOGÍA

los contenidos de elementos mayoritarios de fases sólidas, cubriendo áreas muy pequeñas.

El método consiste en el bombardeo de una muestra por un haz de electrones (de un ancho que puede llegar a ser del orden de 1 a 2 μm). El haz de electrones se centra en la superficie del espécimen a través de una serie de lentes electromagnéticas generando rayos X. Los rayos X secundarios producidos se analizan conforme a su longitud de onda (WDX), y al contrastar las intensidades obtenidas con la de una serie estándar, se consigue tener un análisis cuantitativo de las concentraciones de los diferentes elementos químicos.

Esta técnica analítica tiene alta resolución y sensibilidad espacial, cabe mencionar que el tiempo de análisis es razonablemente corto, requiriendo de uno a dos minutos.

6 GEOLOGÍA REGIONAL

6.1 Resumen

A lo largo de la historia geológica del Estado de Hidalgo existe una amplia diversidad de ambientes, iniciando en el Precámbrico con rocas metamórficas regionales que se conocen como Formación Huiznopala. Se encuentran expuestas al norte y noreste del Estado en franca discordancia y por contacto tectónico con secuencias de arenisca, lutita y calizas bioclásticas, con gran contenido paleontológico con intercalaciones de derrames lávicos de composición basáltica de edad carbonífero – Pérmico. Localmente se conocen como Formación Tuzancoa. A la fecha no se han reportado afloramientos del Paleozoico temprano en Hidalgo.

Al final del Paleozoico, en un periodo de inestabilidad tectónica se deposita el Mesozoico, levantándose cadenas orográficas de amplia extensión, las cuales sufrieron erosión por exposición prolongada, formándose depósitos de arenisca conglomerática y conglomerados polimícticos (lechos rojos) que se correlacionan regionalmente con la Formación Huizachal de edad Triásico.

Para el Jurásico Superior se estabilizaron plataformas y se generaron depósitos de rocas sedimentarias eminentemente marinas de facies someras y profundas que son afectadas por actividad hidrotermal localizada, transportando principalmente manganeso, que finalmente se depositó formando mantos irregulares de importancia económica, estas rocas se correlacionan con las formaciones Tepexic, Santiago y Chipoco.

En el Cretácico existe un pronto desarrollo de plataformas calcáreas por la gran actividad orgánica marina debido a la calidez de las aguas y buena oxigenación de las grandes extensiones de ambientes someros. Forman barreras coralinas que

en su tiempo fungieron como trampas estratigráficas de hidrocarburos, generados en el Jurásico medio y superior; que se adicionan a las trampas originadas por la orogénesis Laramide a finales del Cretácico e inicios del Terciario. Estas plataformas calcáreas por su carácter químico (carbonato de calcio) se estiman de gran impacto económico por industrias como la cementera y del petróleo. Las formaciones cretácicas de Hidalgo son: El Doctor, Tamaulipas Inferior y Superior, Soyatal y Méndez.

La Sierra Madre Oriental (SMO) es producto de la actividad tectónica de la Orogenia Laramide que inició a finales del Cretácico tardío y se extendió al Terciario temprano.

Al terminar el proceso tectónico que levantó la SMO, inicia con una importante actividad volcánica que se observa en toda la porción pacífica del Continente Americano por la acción de proceso subductivo que dio origen a la Sierra Madre Occidental, el Cinturón Volcánico Transmexicano y una porción de la Sierra Madre del Sur.

6.2 Precámbrico (P_e)

6.2.1 Formación Huiznopala

Rocas metamórficas de tipo regional afloran en las cercanías de los poblados de Huiznopala (localidad tipo), Chipoco y Otongo al noreste del Estado de Hidalgo y que conforman el basamento como rocas más antiguas de la región.

Las rocas metamórficas de la Formación Huiznopala corresponden a ortogneises y paragneisis granatíferos bandeados, metagabros, anfibolitas, anortositas, charnockitas, metagranitos y mármoles impuros en facies de granulita. Estos

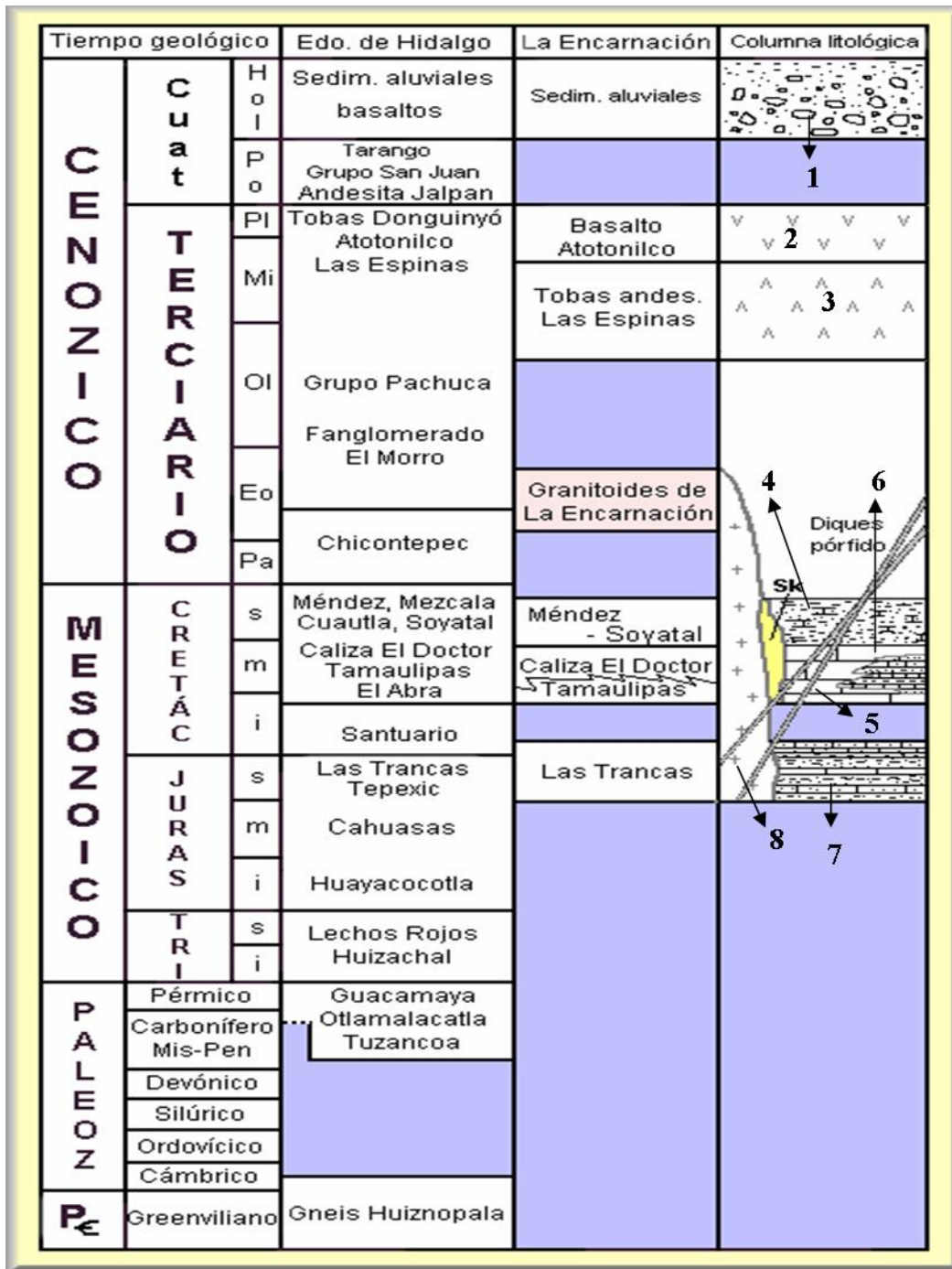
afloramientos fueron primeramente reportados por Kuegelgen en 1958. Posteriormente, Fries y Rincón Orta (1965) dataron las rocas metamórficas y les asignaron una edad de 1210 Ma.

Otra datación realizada con el método Sm–Nd de éstas rocas la realizó Patchett y Ruiz (1987), quiénes las fecharon en ± 904 Ma. En 1995 y 1997, Ortega – Gutiérrez y colaboradores, dataron las rocas anteriormente mencionadas, por el método U – Pb en Zircones, lo que pudo estimar la edad del protolito granítico en ± 1205 Ma y separarla de la edad del metamorfismo, que calcularon en 985 Ma.

6.3 Paleozoico

En 1961 fue por primera vez mencionada la localización del Paleozoico en Hidalgo, (Reyes-Domínguez, 1961). Existe una correlación de rocas sedimentarias marinas con la Formación Guacamaya en el Anticlinorio de Huizachal - Peregrina, localizada al norte de Cd. Victoria, Tamaulipas. Esta formación muestra afloramientos de lutita carbonosa, lutita, arenisca y caliza oscura en el núcleo del Anticlinorio de Huayacocotla, entre los valles de los ríos Chinameca, Tianguistengo y en los caminos de Yatipán, Tianguistengo y Zacualtilpán, al oriente del Estado de Hidalgo (Carrillo–Bravo, 1965). Posteriormente, se divide el Paleozoico en Formación Vicente Guerrero (arenisca y lutita), Formación Del Monte (caliza, caliza – arenosa, arenisca y lutita) y Formación Guacamaya (arenisca y lutita).

Ochoa-Camarillo (1996, 1997) describe en las cercanías de Molango litologías que corresponden con caliza bioclástica, arenisca, limonita y lutita ricas en braquiópodos y croinoideos del Paleozoico Superior, aún sin cartografiar. Dicha litología la define como Formación Tuzancoa y la refiere al Pérmico con posible alcance al carbonífero.



1. Arena y grava, 2. Basalto, 3. Tobas andesíticas, 4. Lutitas margosas, 5. Caliza masiva con cambios laterales de arrecife, 6. Caliza estratificada (estratos centimétricos a decimétricos), 7. Alternancias de lutitas, limonitas y areniscas con escasos horizontes de caliza arcillosa y 8. Cuarzomonzodiorita.

Ilustración 6.1 Columna litoestratigráfica del Estado de Hidalgo y La Encarnación.

Modificado de MMAJ – JICA., 1982.

6.3.1 Formación Tuzancoa

Aflora en el camino de la comunidad Tuzancoa, en dirección a Xochicoatlán (en el este–noreste del Estado de Hidalgo). La formación consiste de secuencias vulcanosedimentarias (Centeno–García et al., 1995; Ochoa–Camarillo, 1996-1997; Rosales–Lagarde, 2002, 2005), compuestas por brechas volcánicas con intercalaciones de lentes calcáreas que incluyen abundantes fusulínidos y crinoides autóctonos. Finalmente, persiste un aglomerado volcánico con clastos redondeados de caliza, donde se aprecian tobas con lutitas que presentan fusulínidos del Pérmico.

6.4 Mesozoico

En la SMO afloran rocas sedimentarias marinas mesozoicas ampliamente distribuidas en el Estado de Hidalgo, que han sido objeto de estudio por la industria petrolera nacional.

6.4.1 Triásico

Rocas de edad Triásico en Hidalgo afloran correlacionándose con la Formación Huizachal, denominada por Carrillo-Bravo en 1961. En la localidad tipo aflora en el valle del mismo nombre, que dista 20 Km de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Está compuesta de arenisca, lutita y conglomerado de origen continental (Silva-Pineda, 1963, 1981) y cuyos afloramientos descansan sobre secuencias paleozoicas en el Anticlinorio de Huizachal–Peregrina.

Flores-Castro (1993), menciona un afloramiento localizado cerca de San Bartolo Tutotepec al este del Estado de Hidalgo. Dicha localidad está constituida por arenisca conglomerática rojiza con clastos de pizarra negra que subyacen de

manera discordante con rocas del Jurásico Inferior, y que probablemente pertenezcan a la Formación Huizachal.

6.4.2 Jurásico

Las primeras observaciones de sedimentos marinos del Jurásico Inferior en el Anticlinorio de Huayacocotla fueron hechas por Burckhardt (1930) en la región de Huayacocotla, Veracruz. Al referirse a estas rocas utilizó el término “Sedimentos Liásicos” (Jurásico temprano), basado en la fauna de amonites encontrados. Posteriormente, Imlay et al (1948), describieron y nombraron formalmente como Formación Huayacocotla a una secuencia de lutita con intercalaciones de arenisca, conglomerado y escasos lentes de caliza. La localidad tipo se encuentra a lo largo del río Vinazco situado en la región de Huayacocotla, Veracruz.

Posteriormente, Schmidt-Effing (1980) la redefine como Grupo Huayacocotla al observar y distinguir cinco eventos sedimentológicos con asociaciones faunísticas (amonites), a los cuales designa como formaciones: “Las Juntas”, “Temazcalapa”, “Despí”, “Tenango” y “Capa con Plantas”.

Salvador, (1991), describe una cuenca de origen continental de aproximadamente 100 Km de ancho por 300 Km de longitud que se desarrolló durante el Jurásico Medio. Observa paquetes de arenisca, limolita y conglomerado oligomítico de fragmentos subangulosos, a redondos, de areniscas oxidadas incluidas en una matriz arcillosa que contiene fauna correspondiente al Calloviano. Regionalmente estas rocas se correlacionan con la Formación Cahuasas.

Las Formaciones Tepexic (calcarenita), Santiago (lutita), Tamán (caliza arcillosa), Pimienta (caliza micrítica negra en estratos finos, caliza arcillosa con concreciones calcáreas y lutita con capas de bentonita de color rojizo a verdoso) y Las Trancas,

esta última se ubica en los Estados de Hidalgo y Querétaro pertenecen al Jurásico Superior.

6.4.3 Cretácico

En el Neocomiano perteneciente al Cretácico Inferior abunda sedimentación calcárea de mar abierto correspondiente a la Formación Tamaulipas. Hacia el Barremiano – Aptiano, inicia en la megaestructura de la Plataforma de Valles – San Luis Potosí, con las facies *plataforma interior*: formaciones Guaxcamá, El Abra y facies Taninul. *De cuenca*: formaciones Chapulhuacán, Ahuacatlán, Agua Nueva, San Felipe, Méndez – Soyatal.

La Formación Tamaulipas Superior, de facies pelágica, cambia tenuemente a las facies de banco de la Formación el Doctor, cuya edad se refiere al Cretácico Medio – Superior (Albiano – Cenomaniano – Turoniano).

Según Willson et al (1955), la Formación “caliza El Doctor” fue descrita como un banco calcáreo comprendido de distintas facies similares a las de la Formación El Abra y pertenecientes al Cretácico Medio. No obstante, se cree que es probable que estos bancos constituyan una porción de la Plataforma de Valles – San Luis Potosí (Carrillo y Suter, 1982).

La Formación Soyatal se deposita hacia el Cretácico Superior y sus afloramientos se observan al noroccidente del Estado de Hidalgo y las zonas limítrofes con el Estado de Querétaro, donde toma su nombre del poblado cercano. La Formación Soyatal, esta compuesta por caliza de grano fino, de tonalidad gris oscuro, en estratos finos con intercalaciones de lutita, marga y limolita. Se encuentra sobre la Formación El Abra – Caliza El Doctor en aparente discordancia. La Formación Soyatal pertenece al Turoniano, debido a la existencia del pelecípodo *Inoceramus labiatus*.

6.5 Cenozoico

6.5.1 Sedimentario

6.5.1.1 Formación Chicontepec (Paleoceno – Eoceno)

La Formación Chicontepec pertenece al Paleoceno – Eoceno, descansa sobre rocas mesozoicas de la Sierra Madre Oriental, esta formación presenta alternancias rítmicas de lutita y arenisca. En el Estado de Hidalgo es fácil su localización al noreste por las carreteras que llevan a Huejutla – Tampico – San Felipe Orizatlán y al este, por la carretera que conduce a Huehuetla - San Antonio El Grande.

6.5.1.2 Fanglomerado El Morro (Eoceno)

Un conglomerado de origen fluvio – lacustre que incluye clástos angulosos a subangulosos de caliza cretácica de la Formación Tamaulipas. Están soportados por una matriz arenosa, que intercala niveles volcánicos en las porciones más alejadas del talud. La roca es de color rojizo – rosado, aflora en las inmediaciones del valle de Zimapán y Querétaro. Su edad se atribuye al Eoceno. Fue definido por Simons y Mapes (1957). Se observan afloramientos en el camino con destino a los bancos de mármol en el puerto “El Lefé” hacia el sureste de Zimapán.

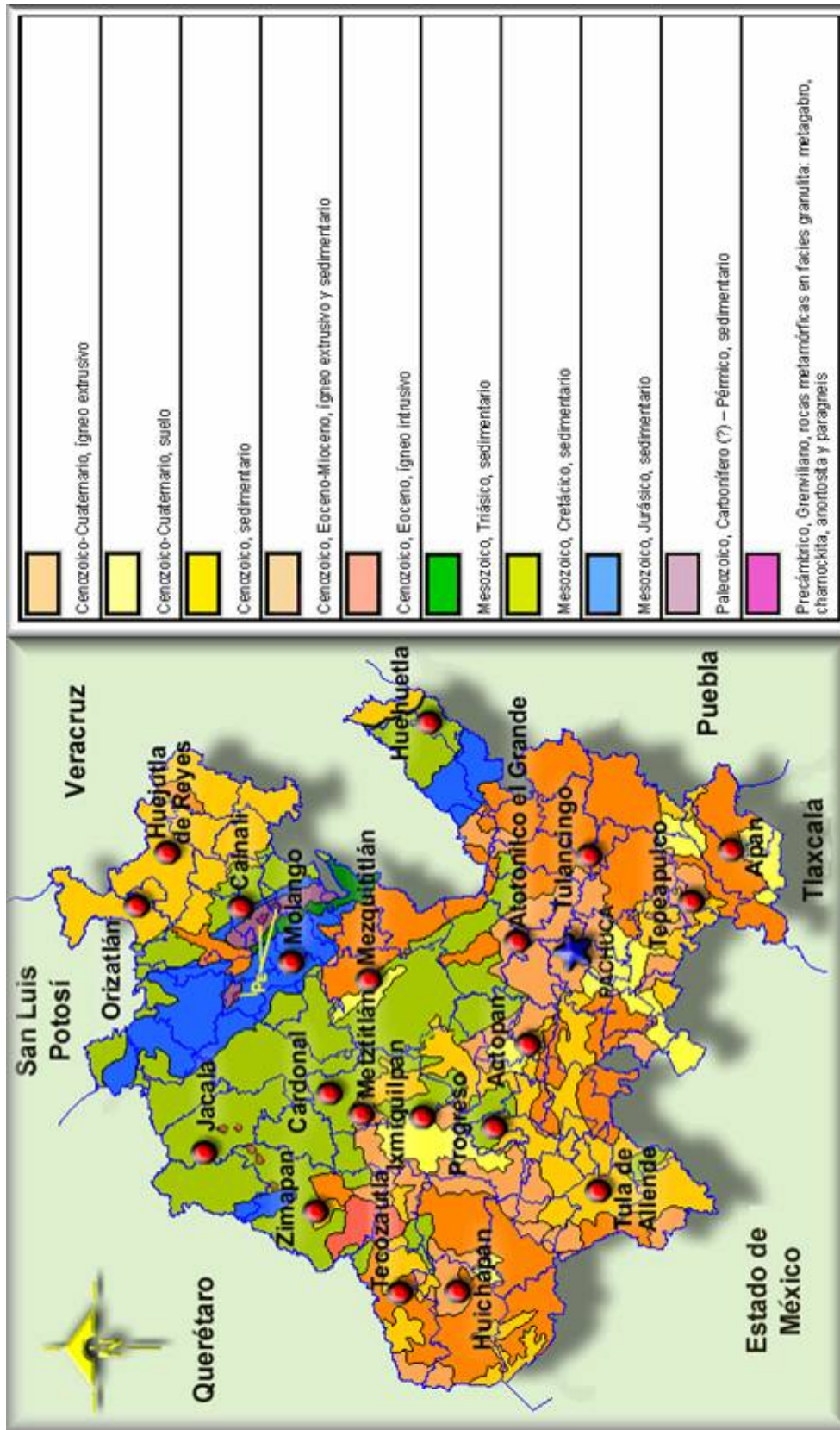


Ilustración 6.2 Mapa de síntesis geológica del Estado de Hidalgo

6.5.2 Ígneo extrusivo

Sobre las rocas mesozoicas de la Sierra Madre Oriental y las que cubran total o parcialmente en esta región, afloran rocas volcánicas del Terciario, cuya composición tiende a ser intermedia en general. Integra las formaciones “Las Espinas” (Eoceno – Mioceno) y “Atotonilco” del Mioceno Superior – Plioceno.

6.5.2.1 Formación Las Espinas (Eoceno – Mioceno)

En el Distrito Minero Pachuca – Real del Monte se localiza la Formación Las Espinas descrita por Simons y Mapes (1957). Está compuesta de derrames lávicos de carácter andesítico–dacítico; pero en el Distrito Minero Zimapán, afloran rocas volcánicas correlacionadas con las anteriores, pero la tipología tiende a ser más ácida. Se observan tobas piroclásticas, vítreas y de composición andesítica – riolítica que están intercaladas con los derrames de lava andesítica.

6.5.2.2 Formación Atotonilco (Mioceno superior – Plioceno)

La formación Atotonilco está construida por conglomerado, arenisca, lutita, marga y limolita con restos de fósiles vertebrados; hay presencia de intercalaciones de derrames lávicos que cambian de composición, principalmente de básica a andesítica y a riolítica. Regionalmente se correlacionan con la “Andesita Jalpan”, “Basalto San Cristóbal” y “Riolita Las Navajas”. Esta formación es el relleno de un anterior valle con sedimentos fluvio-lacustres.

El primero en describir esta formación fue Cope (1885, 1886) en el área de Zacualtipán y los definió como sedimentos fluvio-lacustres y carbonosos, que están relacionados a eventos volcánicos. Mencionó que en las porciones sedimentarias se encuentran restos de équidos *Hippotherium peninsulatium* e *Hippotherium recditens* (vertebrados) de una edad Mioceno Superior.

Almanza (1956), establece relaciones estratigráficas entre las lutitas y limolitas carbonosas, y que poseen fósiles de vertebrados, con eventos volcánicos al igual que como lo hizo Cope en 1885 y 1886.

Ferrusquía (1978) asume según sus estudios de la localidad Tehuichila, dentro de la cuenca carbonífera de Zacualtipán, que la fauna se encuentra en una sola unidad estratigráfica; pero en Zietla a 6 Km. al noreste de Zacualtipán, se encontraron fragmentos molariformes y restos poscraneales de équidos del género *Calippus* (*Grammohippus*), *Protohippus castelli* y *Pliohippus hondurensis*. También hay presencia de la familia Rhinocerotidae (Teleoceras) entre otros; todas ellas conforman distintas unidades y edades más antiguas. Para la localidad de Zietla, la edad corresponde al Henfiliano tardío (Mioceno superior) y la de Tehuichila se ubica en Henfiliano temprano y probablemente al Henfiliano tardío.

La Formación Atotonilco tiene una edad de 2.38 a 2.56 Ma, según dataciones geocronométricas K/Ar que se realizaron a una andesita basáltica (Cantagrel y Robin, 1979).

6.5.3 Ígneo intrusivo

Masas plutónicas que conforman un stock de composición granodiorítico-cuarzomonzodiorítico, afloran en la región del Distrito Minero de Zimapán (MMAJ – JICA, 1982; Flores-Castro, 2001).

6.6 Pleistoceno y reciente

El Cinturón Volcánico Transmexicano pertenece al Cuaternario y reciente con actividad volcánica andesítico–basáltica, traquiandesítica y riolítica. Carranza et al (1992), hicieron un hallazgo en los alrededores de Ventoquipa (a 6 Km de

Tulancingo el Estado de Hidalgo) de fósiles de vertebrados de los géneros *Equus* (*Esperohippus*) *mexicanus* y *Mammuthus*. La edad del material colectado según Carranza corresponde al Pleistoceno tardío. Los depósitos recientes que se depositan en los valles y drenaje fluvial, corresponden con gravas, arenas que son desprendidas por la acción del intemperismo de las rocas pre-existentes y que afloran en las inmediaciones de los valles. Adicionalmente, los sedimentos consolidan suelos de tipo *luvisol*, *acrisol* y *rendzinas*.

7 GEOLOGÍA LOCAL

7.1 Cretácico Inferior

A las rocas del Jurásico Superior de la Formación Las Trancas, le sobreyacen en aparente contacto normal, rocas carbonatadas de potente espesor que afloran ampliamente en el área de estudio. Están constituidas por caliza de facies de mar abierto que se corresponden con rocas de la Formación Tamaulipas del Cretácico Inferior y que alternan con caliza de estratificación delgada de color gris claro, lutita, marga, limolita y calcarenita, marcadamente deformadas.

La Formación Tamaulipas lateralmente pasa a formar las facies de banco de la Formación El Doctor, contemporáneas en edad y que esta formada por caliza micrítica de estratificación gruesa a masiva de color gris claro.

7.2 Cretácico Superior

Descansan discordantemente sobre rocas carbonatadas del Cretácico Inferior, paquetes de lutita de color amarillo verdoso con ocasionales horizontes de marga y caliza micrítica de tonalidad oscura, que conjuntamente corresponden a las formaciones Méndez - Soyatal del Cretácico Superior. Afloran ampliamente en la región de Itatlaxco, El Aguacate y en los alrededores del poblado Los Duraznos.

Tanto las rocas de la Formación Tamaulipas - El Doctor, como las de Méndez - Soyatal han sido afectadas en mayor o menor medida por la intrusión de granitoides y pórfidos, que al entrar en contacto con estas formaciones encajantes, les producen metamorfismo de contacto irregular.

En las zonas carbonatadas donde las condiciones de temperatura y presión de fluidos fueron suficientes, se alcanzó una marmorización completa de la caliza, característica económicamente positiva de este material, que se transformó en importantes bancos de mármol. Sin embargo, en las partes donde estas condiciones de temperatura y presión no fueron suficientes para la marmorización, se reproduce solo una incipiente recristalización.

Con respecto a la mineralización metálica, sucede algo parecido a lo que se observa en los mármoles, la cantidad de flujo presente es el condicionante del tamaño y forma del depósito tipo skarn (andradita-grosularia, diópsido, calcita, cuarzo y wollastonita), con una mineralización asociada de hierro-cobre y oro ocasional (magnetita, crisocola, azurita, bornita, calcopirita, pirita y malaquita) que en la mayoría de los casos son reducidos, de morfología irregular y escaso interés económico.

7.3 Generalidades de los granitoides de La Encarnación

En los alrededores al poblado de La Encarnación y Villa Juárez, en el Estado de Hidalgo, afloran cuerpos de granitoides que conforman un *stock* de 15 Km de largo por 4.5 Km de ancho en promedio. Lo acompañan apófisis en forma de diques de morfología irregular que se pueden observar en la base de los cerros El Pilon y Cangandhó, mina Nuevo Encino Prieto e inmediaciones del arroyo Chalma.

Asociado a los granitoides, se presentan diques de pórfido que cortan la secuencia sedimentaria mesozoica. Los pórfidos afloran en los bancos de mármol, a los que les confieren un tono oxidado, y también se observan en el camino que conduce a Nicolás Flores y en el arroyo Las Adjuntas.

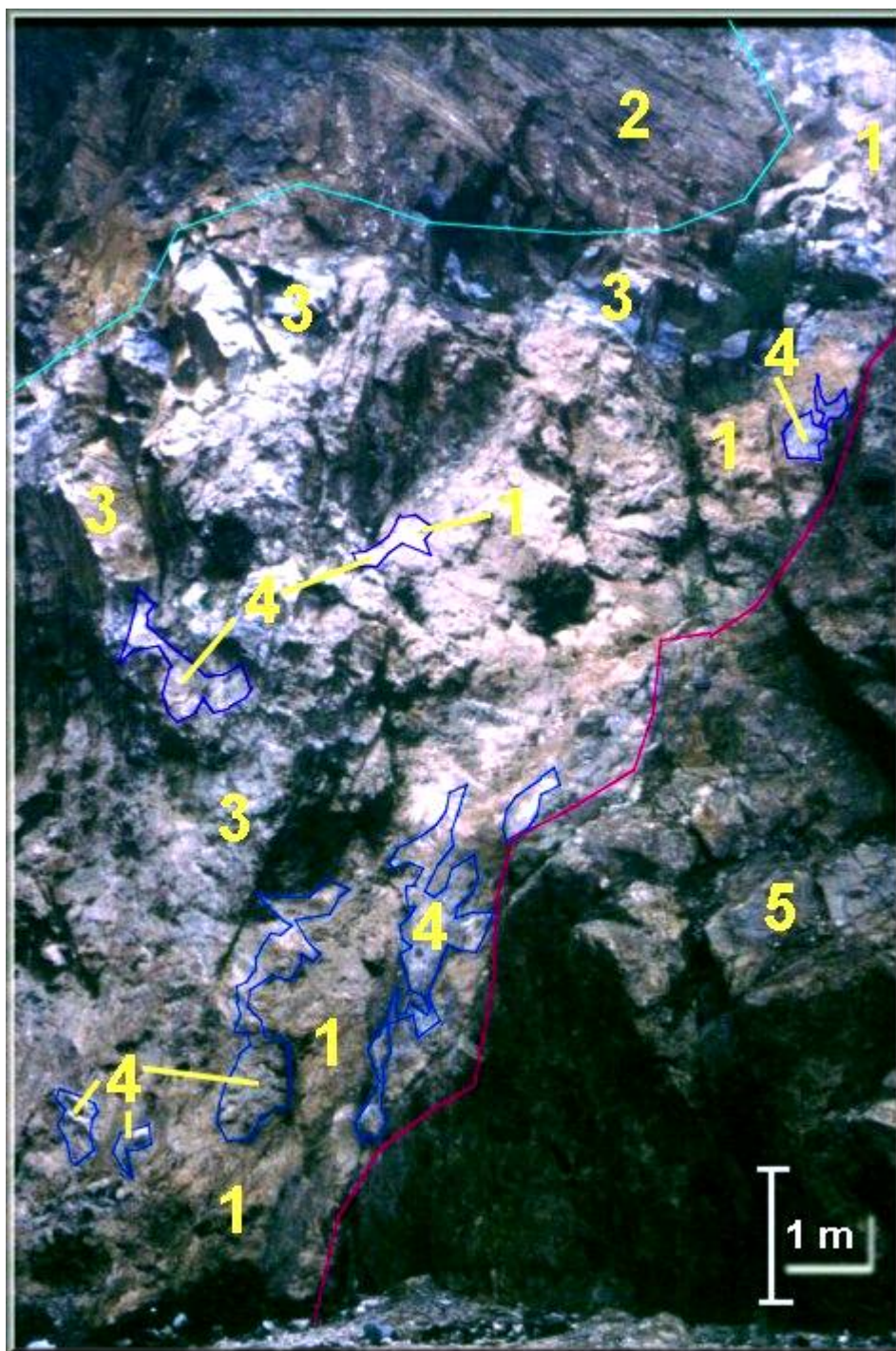


Imagen 7.1 Depósito de wollastonita: 1 wollastonita, 2 caliza recristalizada (parcialmente marmorizada), 3 mármol, 4 masas de calcita de relleno de cavidad, 5 intrusivo cuarzomonzodiorítico

La edad de los granitoides fue determinado por el método K/Ar en anfíbol (magnesiohornblenda) con 49 ± 1 Ma y en biotita de 51 ± 1 Ma Flores-Castro, 2001.

Las rocas plutónicas de La Encarnación y alrededores, de acuerdo a las descripciones megascópicas y petrográficas realizadas en los distintos afloramientos (Flores–Castro, 2001), pueden variar de granodiorita a cuarzodiorita, predominando el litotipo cuarzomozodiirita. Los distintos litotipos graníticos incluyen enclaves de reducido tamaño (centimétricos) poco frecuentes y de composición diorítica. Mineralógicamente, están compuestos de plagioclasa, hornblenda y/o clinopiroxeno, feldespato potásico, cuarzo, biotita, titanita y magnetita.

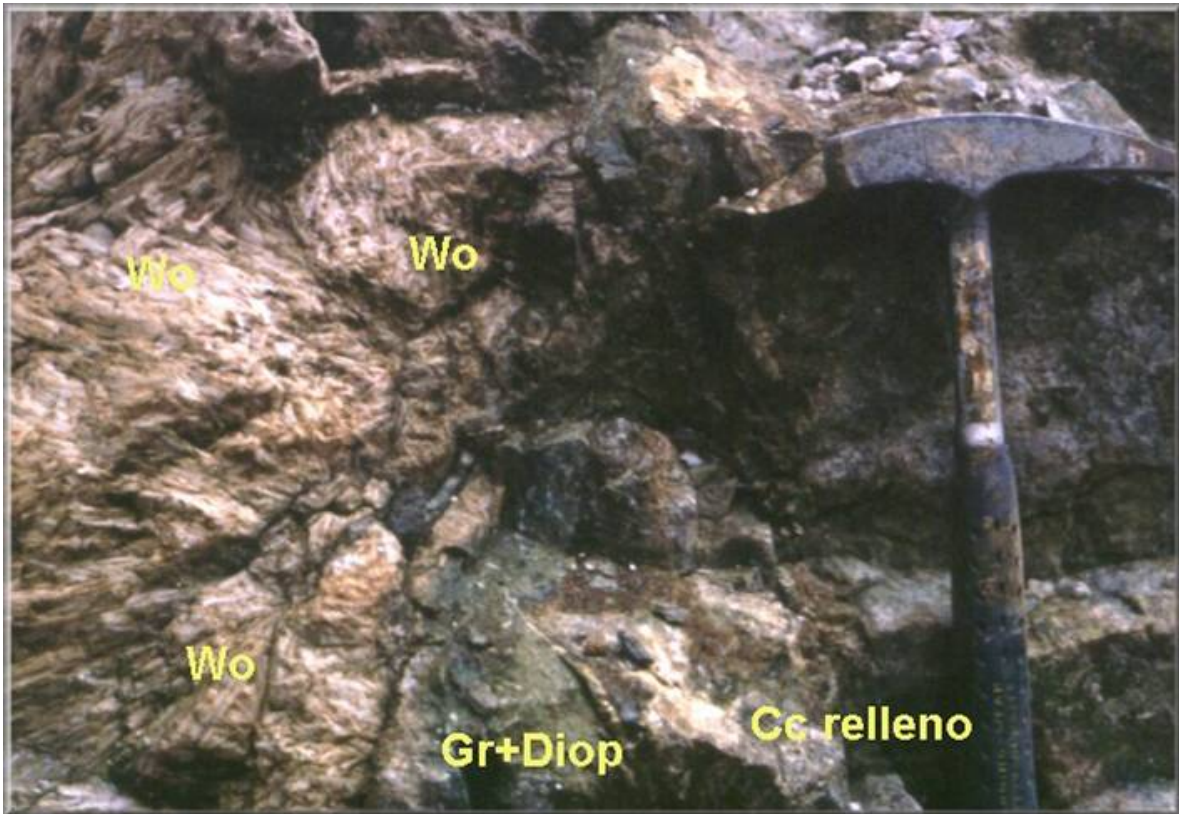


Imagen 7.2 Detalle del contacto de wollastonita (Wo) y con masas de calcita (Cc), granate (Gr) y diópsido (Diop)

7.3.1 Rocas Metamórficas

El contacto que se produce entre las calizas de la Formación Tamaulipas y los granitoides genera una aureola de metamorfismo de contacto de forma localizada e irregular, que depende de la actividad de los fluidos hidrotermales y de la temperatura.

La mineralogía metamórfica comprende principalmente: granate (andradita-grosularita), diópsido, calcita, cuarzo y wollastonita, con mineralogía metálica asociada de hematita, magnetita, azurita, bornita, malaquita y crisocola que acompañaron los fluidos hidrotermales.

La wollastonita de esta zona tiene hábito fibroso, radial y acicular con cristales hasta de un metro de longitud, con fácil exfoliación; esta presenta color blanquecino a rosa tenue; contiene en intersticios calcita, granate (andradita-grosularita), diópsido, cuarzo, muy poca titanita y trazas de dolomita.



Imagen 7.3. Imagen del tamaño de los cristales de wollastonita del depósito de Villa Juárez, Hgo.

7.4 Cartografía geológica de detalle y muestreo selectivo

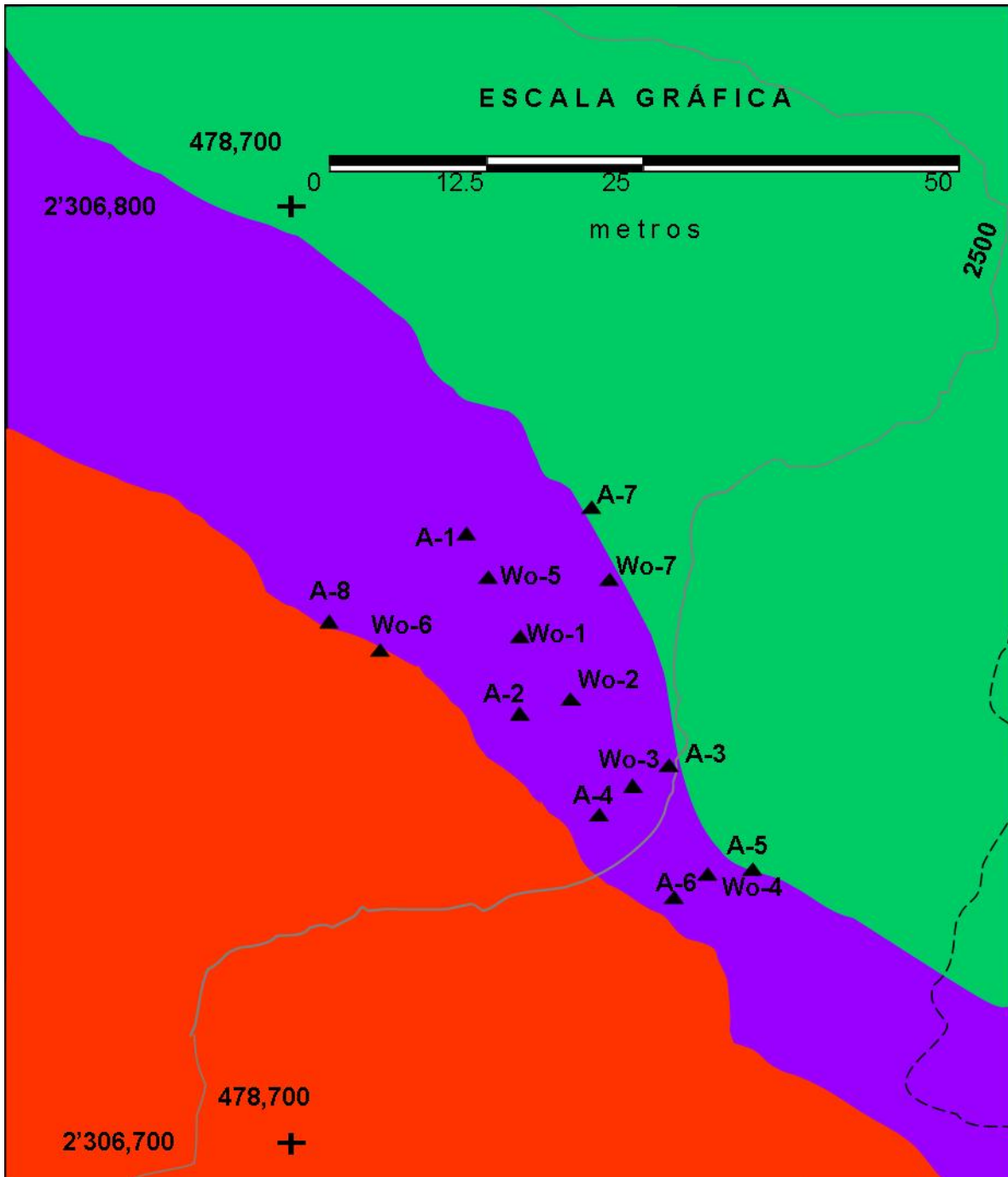


Ilustración 7.1 Mapa geológico a detalle del primer banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.

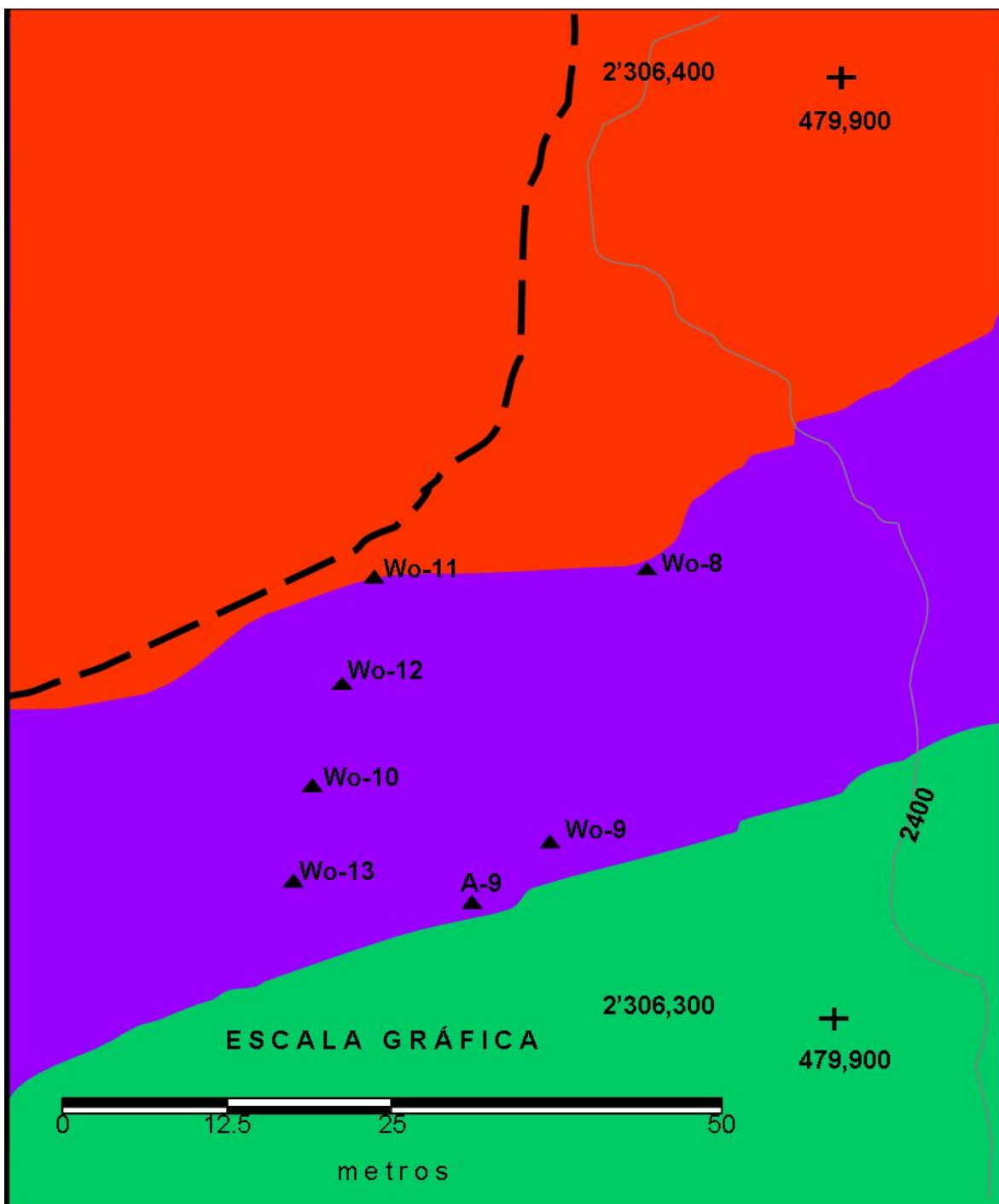


Ilustración 7.2 Mapa geológico a detalle del segundo banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.

Tabla 7.1 Simbología de los mapas geológicos de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo

Simbología	
	Eoceno Cuarzomonzodiorita (Intrusivo La Encarnación)
	Eoceno Aureola de Wollastonita (Skarn de Villa Juárez)
	Cretácico inferior Calizas (Fm. Tamaulipas-El Doctor)
	Muestra
	Curva de nivel
	Terracería

Tabla 7.2 Descripción de muestras de mano de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.

Muestra	Coor X	Coor Y	Descripción
A-1	478,714.00	2,306,764.25	Color verde palido, café a negro; estructura masiva con granate, diópsido, hematita y calcita
A-2	478,717.12	2,306,747.50	Color blanco lechoso, estructura masiva. Mineralogía calcita, cuarzo, diópsido, granate y hematita.
A-3	478,730.37	2,306,740.78	Color blanco a gris, estructura masiva con calcita.
A-4	478,723.93	2,306,737.09	Color blanco lechoso, estructura masiva. Mineralogía calcita, cuarzo, diópsido, granate y hematita.
A-5	478,736.80	2,306,731.98	Color blanco a gris azulado, con calcita de metamorfismo de contacto (mármol).
A-6	478,729.80	2,306,728.01	Amarillo verdoso a blanco estructura masiva con oxidación de relleno de cavidad. Mineralogía calcita, cuarzo, hematita diópsido y granate.
A-7	478,724.22	2,306,768.70	Color blanco a gris, estructura masiva con calcita.
A-8	478,703.02	2,306,758.01	Color verde palido, café a negro; estructura masiva con granate, diópsido, hematita y calcita
A-9	479,861.16	2,306,310.35	Color blanco, estructura masiva con calcita.

Tabla 7.3 Descripción de muestras de mano de los bancos de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.

Muestra	Coor X	Coor Y	Descripción
Wo-1	478,718.07	2,306,756.11	Muestra tonalidades de blanco lechoso a beige; con estructura compacta, con relleno de cavidad. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita, calcita y escasa hematita.
Wo-2	478,721.00	2,306,479.02	Color de blanco lechoso a beige; con estructura compacta y relleno de cavidad. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita, calcita y escasa hematita.
Wo-3	478,727.15	2,306,739.17	Color de beige a café; con estructura compacta y calcita relleno. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita, calcita y hematita.
Wo-4	478,732.26	2,306,729.52	Color de blanco lechoso a beige; con estructura compacta. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita.
Wo-5	478,715.74	2,306,760.87	Muestra tonalidades de blanco lechoso a beige; con estructura compacta, con relleno de cavidad; con mineralogía de wollastonita, granate, diópsido y hematita.
Wo-6	478,707.25	2,306,754.69	Color beige, de gris claro a oscuro; estructura masiva. Mineralogía de calcita, wollastonita y hematita.
Wo-7	478,725.16	2,306,752.87	Color de blanco lechoso a beige; con estructura masiva, compacta y relleno de cavidad; presenta wollastonita y calcita.
Wo-8	479,885.28	2,306,347.30	Color de blanco lechoso tiñéndose a beige; con estructura y relleno de cavidad; presenta wollastonita y escaso cuarzo.
Wo-9	479,878.19	2,306,318.38	Color de blanco lechoso gris; con estructura masiva, compacta y masiva. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita, calcita y hematita.
Wo-10	479,859.65	2,306,324.42	Muestra tonalidades de blanco lechoso a beige; con estructura compacta. Hábito fibroso; con mineralogía de wollastonita y calcita.
Wo-11	479,864.41	2,306,346.45	Coloración de blanco lechoso a beige; con estructura compacta. Hábito fibroso; con mineralogía de wollastonita, hematita, calcita, diópsido y granate.
Wo-12	479,861.98	2,306,335.43	Muestra tonalidades de beige a gris; con estructura compacta, masiva, con relleno de cavidad. Hábito fibroso; con mineralogía de wollastonita, calcita y hematita.
Wo-13	479,858.16	2,306,314.35	Color beige; con estructura compacta. Hábito fibroso, acicular; con mineralogía de wollastonita, granate y diópsido.

8 MINERALOGÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA

8.1 Mineralogía

8.1.1 Roca plutónica - endoskarn - aureola de contacto - exoskarn - mármol caliza

Según Einaudi y Burt, (1982) los skarns son producto de un proceso de metamorfismo de contacto en el cual hay migración de fluidos, en donde se crea en el intrusivo una deposición de minerales metálicos, denominada Endoskarn; y en la parte exterior se forma una mineralización no metálica llamada Exoskarn; en la interfase del endo y el exo se forma una aureola. Están relacionados a la actividad magmática e hidrotermal, asociados con el plutonismo granodiorítico en zonas de orogenia; las características que colocan a los depósitos Skarn de otros tipos de depósitos minerales en la ganga cuarzo-granítica ricos en Fe mezcla de silicatos de Ca, Mg, Fe, y Al. Formados por procesos metasomáticos elevados a altas temperaturas (ver Anexo A).

La wollastonita principalmente se asocia a depósitos tipo skarn, como producto del metamorfismo de contacto y metasomatismo de rocas plutónicas con rocas carbonatadas (Einaudi y Burt, 1982; Soler, et al., 1991, 1997). En dicho contacto se produce migración de fluidos hidrotermales que acompañan la aparición de mineralogía estable (calcosilicatada) a las condiciones del metamorfismo termal (Brooks, 1995).

Roca plutónica: la cuarzomonzodiorita tiene *minerales esenciales*, accesorios y secundarios. Los primeros son plagioclasa, feldespato potásico, anfíbol y biotita; en la tabla 1B del anexo B se describe su mineralogía; los minerales accesorios

son magnetita, ilmenita, titanita, apatito y zircón (a2B del anexo B); y la epidota como mineral secundario (tabla 3B del anexo B).

Endoskarn: en este depósito se encuentran minerales como andradita, grosularia, diópsido, calcita y cuarzo, la descripción mineralógica de éstos se encuentra en la tabla 4B (anexo B).

Aureola: en la interfase del endoskarn y el exoskarn es donde se genera el mineral de interés del presente estudio mostrando algunos datos mineralógicos en la tabla 5B que se localiza en el anexo B

Exoskarn: exhibe mineralización alta en Fe, S, y baja en Al y Mn; la mineralización metálica asociada (tabla 6B, anexo B); comprende hematita, magnetita, azurita, bornita, malaquita y crisocola que acompañaron los fluidos hidrotermales; en el caso de la magnetita ya fue descrita en la tabla 2B.

Mármol – caliza: como arriba se menciona el mármol es producto del metamorfismo de contacto en calizas; donde el principal mineral es la calcita.

8.2 Petrología

8.2.1 Petrología del granitoide

Flores-Castro (2001) describe a gran detalle la geoquímica de la cuarzomonzodiorita (tabla e ilustración 8.1) en donde además de la wollastonita, se encuentra mármol blanco- grisáceo, levemente azuloso con escasa potencia y morfología irregular, con granate, diópsido, cuarzo y calcita. El granitoide exhibe diaclasas espaciadas y fracturas, mostrando un color grisáceo y en él se distingue

fácilmente el anfíbol (hornblenda), matriz de feldespatos, biotita de marrón oscuro con hábito hojoso y dispersa, cuarzo, titanita y abundantes minerales opacos.

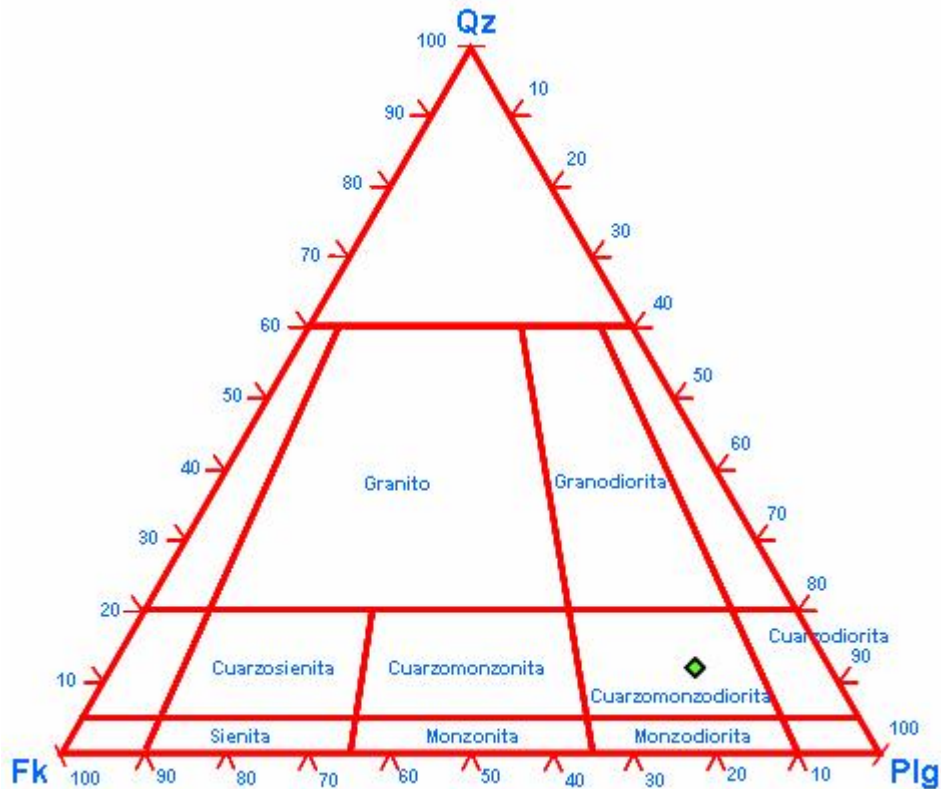


Ilustración 8.1 Diagrama de clasificación de rocas plutónicas de Streckeisen (1976) aplicado al granitoide de Villa Juárez

Tabla 8.1 Análisis de roca total de la cuarzomonzodiorita

MUESTRA	IK42 (%)
SiO ₂	62.51
Al ₂ O ₃	16.91
TiO ₂	0.73
Fe ₂ O ₃	5.20
MnO	0.13
MgO	1.61
CaO	4.90
Na ₂ O	4.00
K ₂ O	2.98
P ₂ O ₅	0.32
H ₂ O	0.60
Total	99.89

8.2.1.1 Textura

Los minerales formadores de roca forman un mosaico, holocristalino, inequigranular muy homogéneo en donde destaca la presencia de plagioclasa, hornblenda, biotita, feldespato potásico (ortosa), cuarzo, titanita, minerales opacos (magnetita-ilmenita), apatito y zircón (fotomicrografías 8.1 y 8.2).

8.2.1.1.1 *Minerales esenciales*

Plagioclasa: los cristales de plagioclasa presentan zonación frecuente, con un 53.6% del volumen total de la roca.

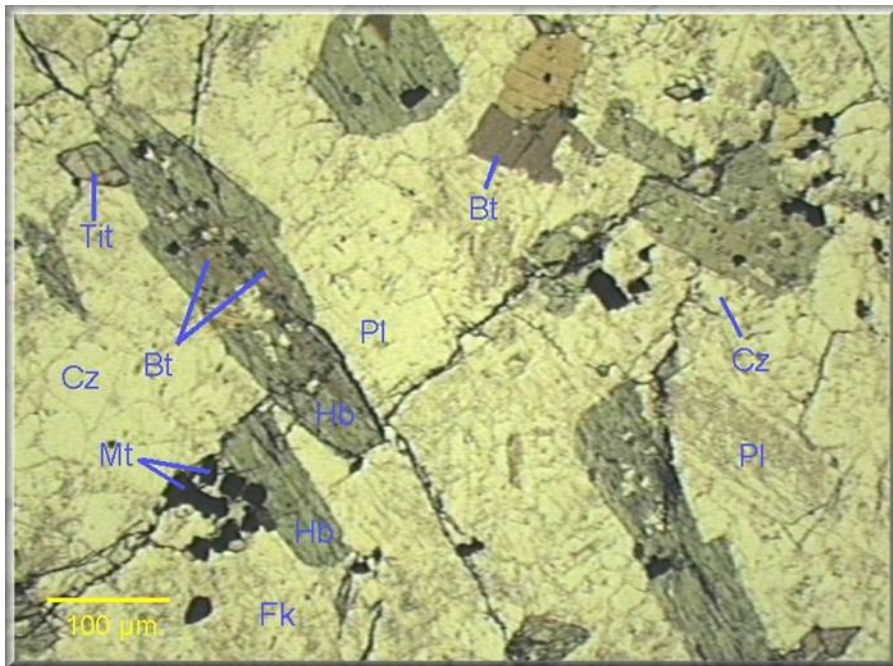
Feldespato potásico: Fundamentalmente por ortosa, forma placas poiquilíticas llegando hasta un centímetro de diámetro en algunas ocasiones, dentro de ellas están incluidos los demás minerales formadores de roca. El color es blanquecino lechoso y al microscopio petrográfico presenta maclado (macla de Carlsbad).

Anfíbol: básicamente por hornblenda, ocupando un 10 % del volumen total de la roca. Microscópicamente es de un color verde oscuro y forma prismas rectangulares que están dispuestos irregularmente en una matriz blanquecina de feldespatos y cuarzo. En luz paralela en el microscopio petrográfico muestran un color verde pálido con frecuentes inclusiones de biotita y magnetita.

La primera relacionada con anfíbol se observa en planos de exfoliación y no muestra un desarrollo completo, en general esqueléticas. En nícoles cruzados tiene un color marrón amarillento y ocasionalmente se observan maclas. La hornblenda es subidiomórfica a idiomórfica y es frecuente la asociación con magnetita. La caracterización química del anfíbol cae dentro de una *magnesiohornblenda*.



Fotomicrografía 8.1 Cuarzomonzodiorita en nícoles cruzados de la. Escala gráfica 100 μm



Fotomicrografía 8.2 Luz paralela. Cuarzo (Cz), plagioclasa (PI), feldespato potásico (Fk), horblenda (Hb), biotita (Bt) y titanita (Tit). Escala gráfica 100 μm

Biotita: es relativamente abundante, modalmente de un 3 % del volumen total de la roca, Macro y microscópicamente exhibe un color marrón-rojizo brillante. En algunas láminas de biotita, se localizan inclusiones de feldespatos y óxidos de hierro.

8.2.1.1.2 Minerales accesorios

Magnetita: correspondiente a un 5% del volumen. Muestra morfología bastante irregular, es de color negro con brillo metálico y tamaño de grano muy variable, llegando a alcanzar un par de milímetros los granos con mayores dimensiones. Frecuentemente se observa incluida en hornblenda. Asociada de igual manera a titanita.

Ilmenita: solo se muestra al microscopio con luz reflejada, incluida en la magnetita siempre. Se presenta de tres maneras: barras continuas que surcan los cristales de magnetita hasta de 7 μm de anchura. Agujas de distintas longitudes que crecen aprovechando los planos de la magnetita y una tercera menos abundante, semejante a pequeñas gotas (*blebs*) de uno a dos micrómetros de diámetro, la mayor parte de las veces de morfología ovoide.

Titanita: es abundante en este granitoide, por lo que se puede distinguir microscópicamente. Es de un color dorado-amarillento y con lupa se observa idiomorfo. En luz paralela se percibe un color crema pálido y es muy fácil identificarlo, debido a sus formas rómbicas y a la asociación que tiene con la magnetita, a la cual frecuentemente bordea o incluye. El tamaño que muestran sus cristales es muy variable, desde unos cuantos micrómetros hasta 500 μm .

Apatito: solo se distingue microscópicamente. Representa modalmente un 0.6% en volumen. Es incoloro en luz paralela, idiomórfico y forma parte del mosaico holocristalino, aunque es habitual observarlo en contacto con magnetita.

Zircón: no se distingue a simple vista. Es escaso, idiomórfico, con un gran relieve y tamaño reducido, generalmente de 1 a 3 micrómetros. Se ha observado incluido en feldespato potásico y en biotita.

8.2.1.1.3 Minerales secundarios

Epidota: es muy escasa, con color verde intenso, presentándose como mineral de neoformación, relacionado posiblemente con la alteración.

8.2.1.2 Análisis modal de la cuarzomonzodiorita (granitoide Villa Juárez)

El objetivo de la norma de CIPW es convertir la composición química mineral de una roca ígnea a una composición mineral ideal, mostrando semejanzas en las rocas que tienen variaciones en la composición química ya sea por: desequilibrio, presión temperatura, alteración, humedad negativa, etc.

La composición mineral se calcula como si el magma fuera anhidro (el agua se trata como fase separada), esta norma es solo para condiciones de presión baja; esta basada en cuatro puntos:

1. El magma se cristaliza bajo condiciones anhidras para no formar ningún mineral acuoso (hornblenda, biotita).
2. Los minerales ferromagnesianos se asumen para estar libres del Al_2O_3 .
3. El cociente de Fe/Mg para todos los minerales del ferromagnesianos se asume para ser igual.
4. Varios minerales se asumen para ser incompatibles, así la nefelina y/o el olivino nunca aparecen con cuarzo en la norma.

Tabla 8.2 Microanálisis por microsonda electrónica (EPMA) del cotaje de 1485 puntos en lámina delgada del granitoide de Villa Juárez. * ρ = densidad

Minerales	Puntos	%	*ρ	Peso = $\rho * V$	% P recalca a 100
<i>Anfíbol</i>	151	10.17	3.13	31.83	11.33
<i>Plagioclasa</i>	796	53.6	2.36	140.98	50.19
<i>Feldespato potásico</i>	240	16.16	2.60	42.02	14.96
<i>Cuarzo</i>	139	9.36	2.65	24.80	8.83
<i>Biotita</i>	48	3.23	2.91	9.41	3.35
<i>Apatito</i>	10	0.67	3.10	2.09	0.47
<i>Titanita</i>	46	3.10	3.50	10.84	3.86
<i>Minerales opacos</i>	51	3.43	3.20	17.86	6.36
<i>Zircón</i>	2	0.13	4.60	0.62	0.22
<i>Epidota</i>	2	0.13	3.38	0.46	0.16
Total	1485	100.00		280.91	100.00

Tabla 8.3 Cálculo de la norma CIPW. Normalizado al 100%

Mineral del granitoide	%
Cuarzo	14.08
Ortosa	17.76
Albita	34.12
Anortita	20.38
Diópsido	1.71
Hiperstena	8.28
Magnetita	1.52
Ilmenita	1.40
Apatito	0.76
Total de la norma	100.00
Composición media de Plagioclasa	An 37.39

Para el cálculo de la norma primero se convirtieron todos los porcentajes en peso a porcentajes moleculares, según Bowes (1989); la norma CIPW, lleva ese nombre en base a los cuatro autores que la propusieron (Cross, Idding, Pirson y Washintong en 1902) aunque más tarde Holmes en 1930 y Johanssen un año después, perfeccionaron el método (tablas 8.2 y 8.3).



Imagen 8.1 Muestra del skarn. Granate (Gr), diópsido (Di), calcita (Cc), wollastonita (Wo) y cuarzo.

8.2.2 Petrología del contacto

Se elaboraron 2 láminas delgadas del contacto del primer banco de wollastonita, para la primera lámina se puede observar en nícoles cruzados en la fotomicrografía 8.3 y en luz paralela en la 8.4 los datos petrográficos de la misma se encuentran en la tabla 8.4.

Tabla 8.4 Descripción petrográfica de la lámina 1 de la muestra A-8

Lámina 1	
Descripción megascópica	
Roca	De contacto.
Localización	Primer banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.
Color	Pardo verdoso.
Estructura	Muy compacta, densa, masiva.
Mineralogía:	Cuarzo, calcita, diópsido, granate y óxidos de hierro.
Descripción microscópica (objetivo 4x)	
Color (luz paralela):	Incoloro a beige, pardo claro.
Color (nícoles cruzados)	Incoloro. Diversos colores con tonalidades de tercer orden.
Estructura	En general la roca exhibe una estructura de relleno de cavidad, claramente observada en los cristales de cuarzo con disposición "diente de perro". Intersticialmente se alojan minerales muy diversos. No se observa ninguna orientación preferencial.
Textura	Fanerítica, holocristalina, intersticial, inequigranular, poikilítica.
Mineralogía	Esenciales: calcita 60%, cuarzo 30 %; accesorios: titanita 4%, diópsido 2%, granate 2%, hematita 2%.
Nombre	Metámorfica de contacto – metasomática (endoskarn).

La petrografía de la segunda lámina se presenta en la tabla 8.5 complementada de las fotomicrografías 8.5 y 8.6 en nícoles cruzados y en luz paralela respectivamente.

Tabla 8.5 Descripción petrográfica de la lámina 2 de la muestra A-8

Lámina 2	
Descripción megascópica	
Roca	De contacto.
Localización	Primer banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.
Color	Pardo verdoso.
Estructura	Muy compacta, densa, masiva.
Mineralogía:	Cuarzo, calcita, diópsido, granate y óxidos de hierro.
Descripción microscópica (objetivo 4x)	
Color (luz paralela):	Incoloro a beige, pardo claro.
Color (nícoles cruzados)	Incoloro. Diversos colores con tonalidades de tercer orden.
Estructura	En general la roca exhibe una estructura de relleno de cavidad, claramente observada en los cristales de cuarzo con disposición "diente de perro". Intersticialmente se alojan minerales muy diversos. No se observa ninguna orientación preferencial.
Textura	Fanerítica, holocristalina, intersticial, inequigranular, poikilítica.
Mineralogía	Esenciales: cuarzo con extinción ondulante 50%, calcita 20 %, diópsido 15%; accesorios: granate 10%, wollastonita 3%, titanita 2%.
Nombre	Metámorfa de contacto – metasomática (endoskarn).

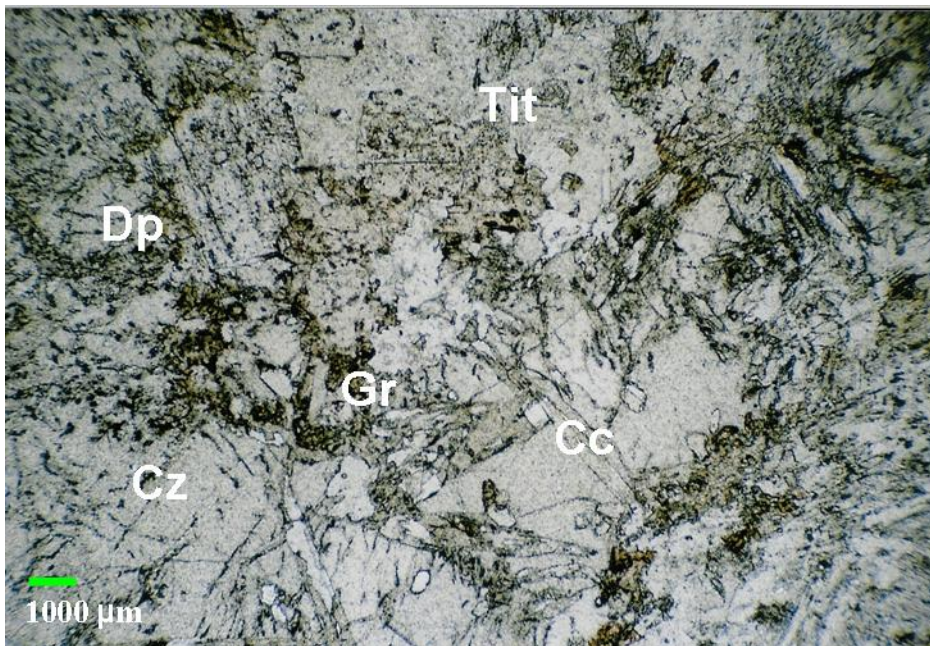
8.2.3 Petrología de la aureola

Se elaboró una lámina delgada de la aureola de wollastonita del primer banco, generando una imagen en nícoles cruzados como se muestra en la fotomicrografía 8.7 y otra más en luz paralela (ver fotomicrografía 8.8), los datos petrográficos que arrojó se resumen en la tabla 8.6

Para la descripción petrográfica de la wollastonita "pura", se eligió la muestra Wo-3, ubicada en el centro de la aureola del skarn (con coordenadas en X de 478,727.15 y 2'306,739.17 en Y); esta perteneciente al primer banco.



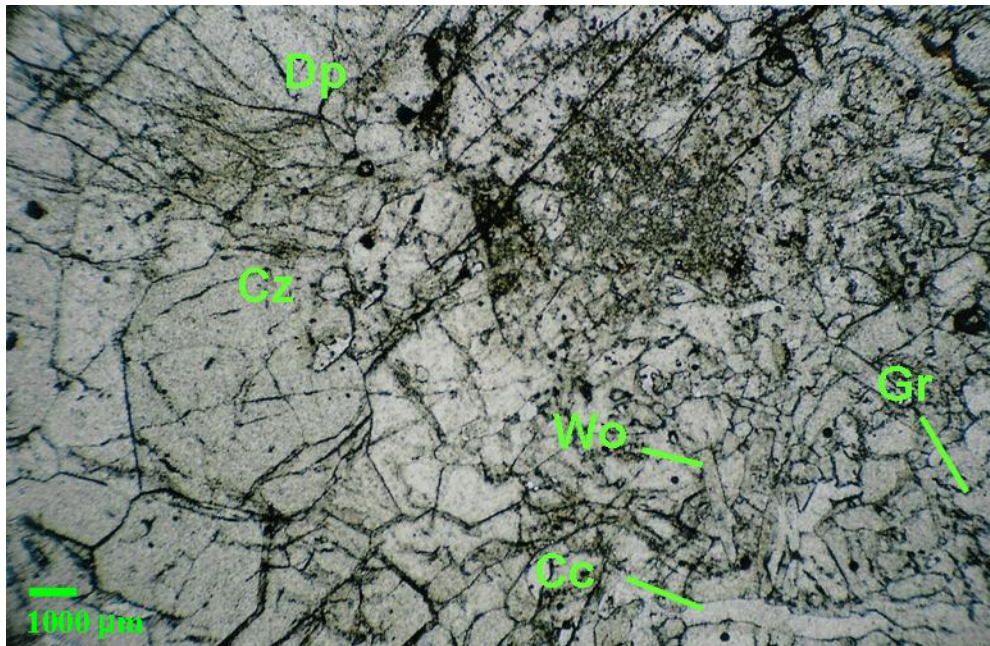
Fotomicrografía 8.3 Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos, del contacto.
Escala gráfica 1000 μm .



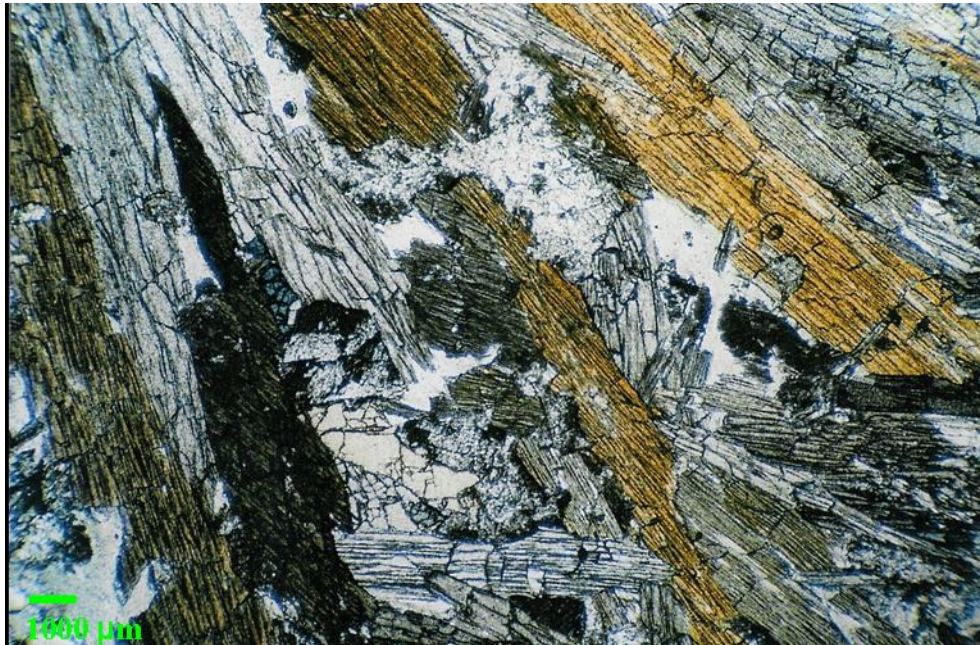
Fotomicrografía 8.4 Luz paralela a 40 aumentos. Cuarzo (Cz), calcita (Cc), diópsido (Dp), granate (Gr) y titanita (Tit). Escala gráfica 1000 μm .



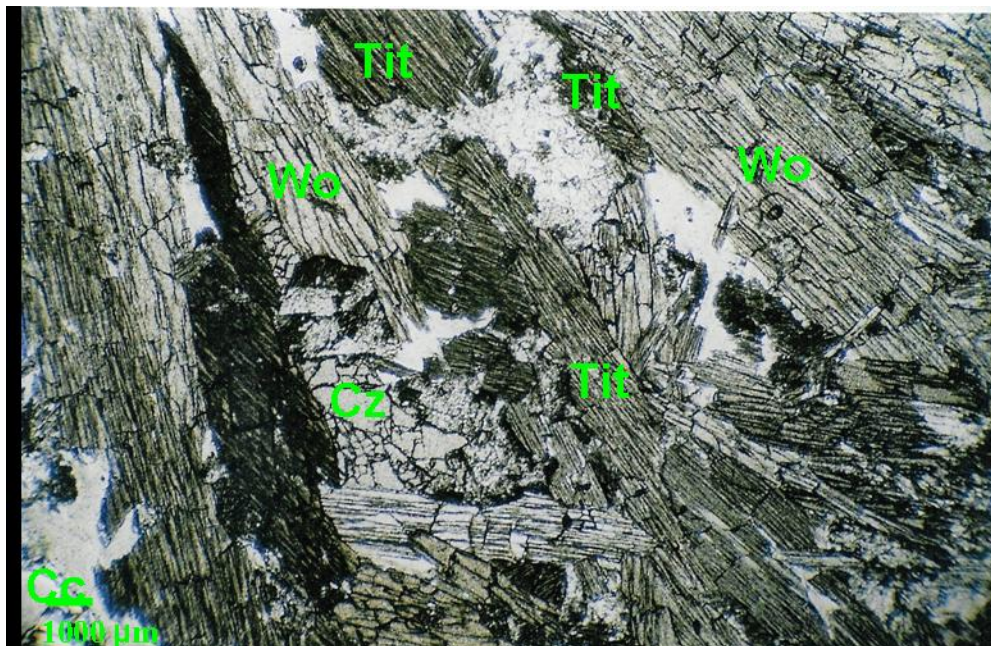
Fotomicrografía 8.5 Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos del contacto.
Escala gráfica 1000 μm .



Fotomicrografía 8.6 Luz paralela a 40 aumentos. Cuarzo (Cz), calcita (Cc), diópsido (Dp) y wollastonita (Wo). Escala gráfica 1000 μm .



Fotomicrografía 8.7 Imagen de nícoles cruzados a 40 aumentos de la aureola.
Escala gráfica 1000 μm



Fotomicrografía 8.8 Luz paralela a 40 aumentos. Wollastonita (Wo), titanita (Tit),
Cuarzo (Cz), y calcita (Cc). Escala gráfica 1000 μm .

Tabla 8.6 Descripción petrográfica de la lámina 3 de la muestra Wo-3

Lámina 3	
Descripción megascópica	
Roca	De contacto.
Localización	Primer banco de wollastonita de Villa Juárez, Hgo.
Color	Blanco lechoso a beige.
Estructura	Muy compacta, densa, masiva.
Hábito	Acicular, fibroso, granular.
Mineralogía:	Wollastonita, calcita, cuarzo, granate y hematita.
Descripción microscópica (objetivo 4x)	
Color (luz paralela):	Incoloro.
Color (nícoles cruzados)	Azul verdoso de tercer orden.
Estructura	Fenocristales de tamaño irregular alargados, sin disposición preferencial y crecimiento en todas direcciones. Posiblemente con desarrollo en dos o en tres generaciones. El conjunto forma un mosaico inequigranular, compacto que incluye intersticialmente mineralogía diversa que se describe en seguida.
Textura	Mosaico holocristalino, ideomorfo, intersticial, fanerítico e inequigranular.
Hábito	Los cristales más abundantes (> 95%) corresponden a Wollastonita, que exhibe hábito acicular, fibroso y tabular. Se presenta en menor proporción e intersticial calcita, cuarzo, granate, titanita y escasos minerales opacos.
Mineralogía	> 95 % wollastonita. Calcita, cuarzo, titanita, granate y minerales opacos.
Nombre	Metámorfo de contacto – metasomática (Skarn).

8.2.4 Resultados del análisis de microscopía electrónica de barrido

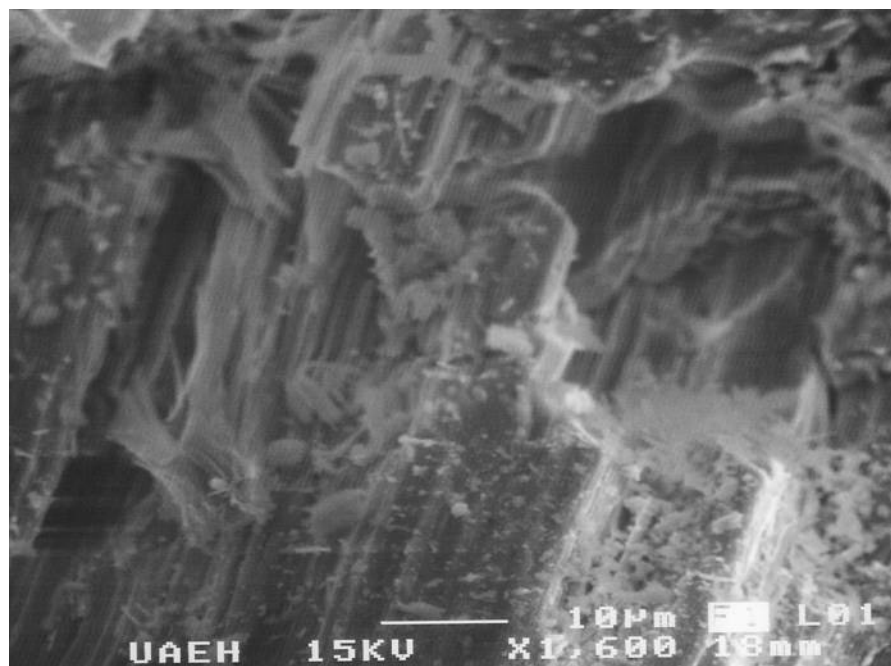
En las fotomicrografías 8.9 y 7.10 se puede apreciar claramente el hábito acicular de los cristales de wollastonita, la primera a 1000X y la segunda a mayor alcance (500X). Este mineral presenta fractura frágil (fotomicrografía 8.11). Para este análisis se acompañó a la muestra de Villa Juárez con una más, procedente de la mina Pilares, Sonora. Al comparar ambas muestras se corrobora que la wollastonita presenta fracturamiento frágil y acicularidad (ver fotomicrografías 8.12 y 8.13).



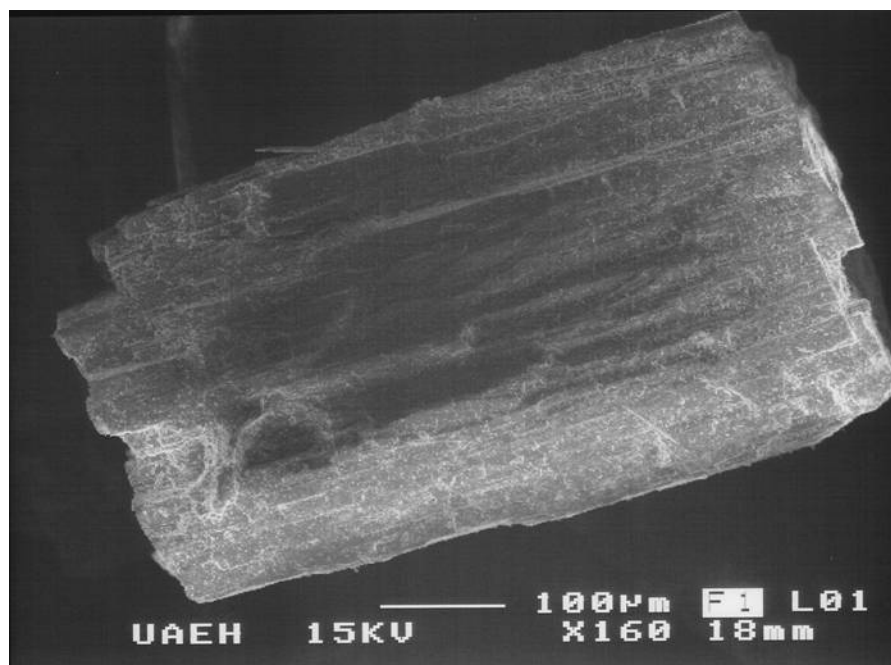
Fotomicrografía 8.9 Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 1000 aumentos en MEB. Escala gráfica de 10 µm



Fotomicrografía 8.10 Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 2500 aumentos en MEB. Escala gráfica de 10 µm



Fotomicrografía 8.11 Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 1600 aumentos, mostrando fractura frágil, en MEB. Escala gráfica de 10 µm



Fotomicrografía 8.11 Imagen de wollastonita de Villa Juárez a 1600 aumentos, mostrando fractura frágil, en MEB. Escala gráfica de 10 µm



Fotomicrografía 8.13 Imagen de wollastonita de Hermosillo, Son. (*NYCO Minerals*) a 1900 aumentos, que muestra fractura frágil, en MEB. Escala gráfica de 10 µm

8.3 Geoquímica

Se le denomina **geoquímica** a la rama de la geología y de la química que se encarga de estudiar la composición y el comportamiento químico de la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa de los elementos químicos, su distribución y migración a la hidrosfera, atmósfera, biosfera y geósfera; por medio de minerales y rocas, elaborando leyes o principios en las cuales se basa tal distribución y migración. La geoquímica está involucrada en todos los procesos químicos, físicos y biológicos que conducen a la distribución o redistribución de los elementos a través del tiempo geológico.

Se utilizaron herramientas geoquímicas como base de la exploración en los dos bancos de wollastonita, objeto de este estudio. Para ello se realizaron análisis químicos de roca total sobre muestras ubicadas en una plantilla diseñada con

GEOQUÍMICA

anterioridad y cercanas a la zona de contacto (ver tabla 8.7); los valores obtenidos de los óxidos mayoritarios fueron tratados estadísticamente y se generaron curvas de isoconcentración que se muestran en el Anexo C.

Tabla 8.7 Análisis de roca total

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe total	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K	P ₂ O ₅	PxC a 950°C	Total
A1	37.5	13.6	0.52	5.81	0.53	0.82	31.7	0.06	0.02	0.04	0.72	91.38
A2	1.58	0.09	0.01	0.19	0.02	11.3	39.4	0.03	0.02	N.D.	44.58	97.18
A3	40	2.79	0.03	1.55	0.45	5.35	29.7	0.05	0.15	0.01	15.72	95.80
A4	1.16	0.07	0.01	0.03	0.03	1.51	53.5	0.02	0.04	N.D.	42.28	98.62
A5	36	9.91	0.12	3.64	0.45	3.36	30.1	0.36	0.51	N.D.	9.55	94.00
A6	45.6	0.07	0.01	0.15	0.51	2.54	41.2	0.02	0.02	N.D.	8.94	99.07
A7	0.81	0.11	0.01	0.03	0.03	0.51	54.7	0.01	0.06	N.D.	42.52	98.76
A8	39	12.8	0.01	5.16	0.53	2.33	30	0.35	0.05	N.D.	1.26	91.52
A9	2.18	0.83	0.04	0.21	0.02	0.45	52.6	0.02	0.05	N.D.	42.02	98.38
Wo1	44.8	0.14	0.01	0.22	0.51	0.11	47.5	0.03	0.04	N.D.	5.82	99.15
Wo2	48.1	0.16	0.01	0.21	0.52	0.09	45.8	0.02	0.02	N.D.	3.26	98.22
Wo3	2.96	0.21	0.01	0.24	0.36	0.51	53.1	0.01	0.02	N.D.	41.27	98.66
Wo4	35.2	0.07	0.01	0.17	0.46	3.58	41.8	0.02	0.03	N.D.	16.49	97.80
Wo5	48	0.19	0.01	0.24	0.54	0.12	45.8	0.03	0.03	N.D.	3.41	98.41
Wo6	28.2	1.12	0.02	0.54	0.29	1.71	35.4	0.03	0.08	N.D.	28.57	95.95
Wo7	45.4	0.19	0.01	0.24	0.49	0.06	45.9	0.02	0.02	N.D.	5.35	97.71
Wo8	45.5	0.14	0.01	0.22	0.44	0.07	45.9	0.02	0.02	N.D.	5.88	98.19
Wo9	27.4	0.12	0.01	0.13	0.32	0.37	48.3	0.02	0.03	0.01	21.19	97.95
Wo10	46.7	0.03	0.01	0.15	0.45	0.05	47.3	0.02	0.02	N.D.	4.52	99.19
Wo10-DPL	46.8	0.04	0.01	0.17	0.44	0.05	46.4	0.02	0.02	N.D.	4.42	98.34
Wo11	44.1	0.43	0.02	0.27	0.35	0.06	45.5	0.06	0.04	N.D.	6.78	97.60
Wo12	37.9	0.21	0.01	0.14	0.41	0.06	46.4	0.06	0.04	0.01	12.43	97.68
Wo13	46.7	0.53	0.03	0.34	0.51	0.16	42.8	0.05	0.05	0.02	7.71	98.83
MÉTODO	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	

Los valores están dados en %

Método: 1 Gravimetría 2 Plasma de Masas 3 Plasma Óptico

Tanto los valores de SiO₂, CaO y Al₂O₃, se trataron estadísticamente y graficaron para obtener delimitación de áreas de influencia relacionadas con la composición media de los granitoides y carbonatos. Con ello, se establecieron direcciones de los fluidos hidrotermales, zona de cristalización de minerales estables a las

condiciones de presión – temperatura en la aureola de contacto y avance por permeabilidad de los mismos. Esto servirá para planear estrategias de exploración y explotación futura en los bancos de wollastonita y áreas adyacentes, cuando el contacto no sea claro, o no aflore en superficie.

8.3.1 Difracción de rayos X

Los difractogramas y datos obtenidos en base a este análisis se resumen en el Anexo D mostrando las especies minerales presentes en las distintas muestras colectadas; se tienen cinco proporciones: la *mayor* con más del 25 % de especie mineralógica presente, *mediana* de un 10 a 25 %, *menor* de 1 al 10 %, escasa de 0.1 a 1% y finalmente la *mínima* que anda en el rango del 0.01 a 0.1 %.

La Wollastonita es una cadena sencilla de silicatos de tipo piroxenoide, las cadenas están en línea de tres columnas donde el Ca se localiza en el centro. El polimorfismo en la wollastonita piroxenoide, es generado por diferentes acomodamientos secuenciales a lo largo de *a*-eje. Una porción de estructura compacta triclinica llamada **1T** o **A1**; si se tienen dos porciones secuenciales generan los politipos monoclinicos **2M**. Cuando existe una estructura triclinica desordenada se le conoce como **1Td**. Los politipos tienen diferentes energías libres (Mazzucato, 2000) Los politipos se estudian por medio de estudios termodinámicos del polimorfismo. Flores-Castro (2001) determinó el politipo al que pertenece y es al A1 del sistema triclinico y presentando algunas impurezas.

9 GEOLOGÍA ECONÓMICA

9.1 Empleo

El amplio uso de la wollastonita radica en su pureza química y hábito acicular, abarcando las siguientes industrias: cerámica, construcción, fricción, metalúrgica, de pintura - recubrimientos y polimérica.

En la figura 9-1 se muestra un esquema de las aplicaciones de wollastonita según el giro de la industria.

9.1.1 Industria Cerámica

La wollastonita se agrega como material de carga en la manufactura de cuerpos cerámicos, vidrios, esmaltes, juegos para baño, vajillas, materiales aislantes acústicos y eléctricos, además de colorantes (tintes y pinturas).

Cuerpos cerámicos: El proceso más costoso en la elaboración de cuerpos cerámicos es la cocción, o sinterizado de la pieza, donde hay un gran gasto energético en los hornos. Al adicionar wollastonita como componente de las pastas cerámicas existe un ahorro de energía, ya que disminuyen los tiempos de quemado. El principal beneficio es el incremento de la productividad en la etapa de cocido y en el esmaltado.

La alta eficiencia de flujo de la wollastonita permite una sinterización uniforme, su alta resistencia al choque térmico, y su bajo coeficiente de expansión térmica, reducen la fractura y/o deformación a la que es propensa la pieza. Por esta razón, se mejora sustancialmente la calidad y la disminución de los rechazos en el control de calidad (Nyco, 2006a).

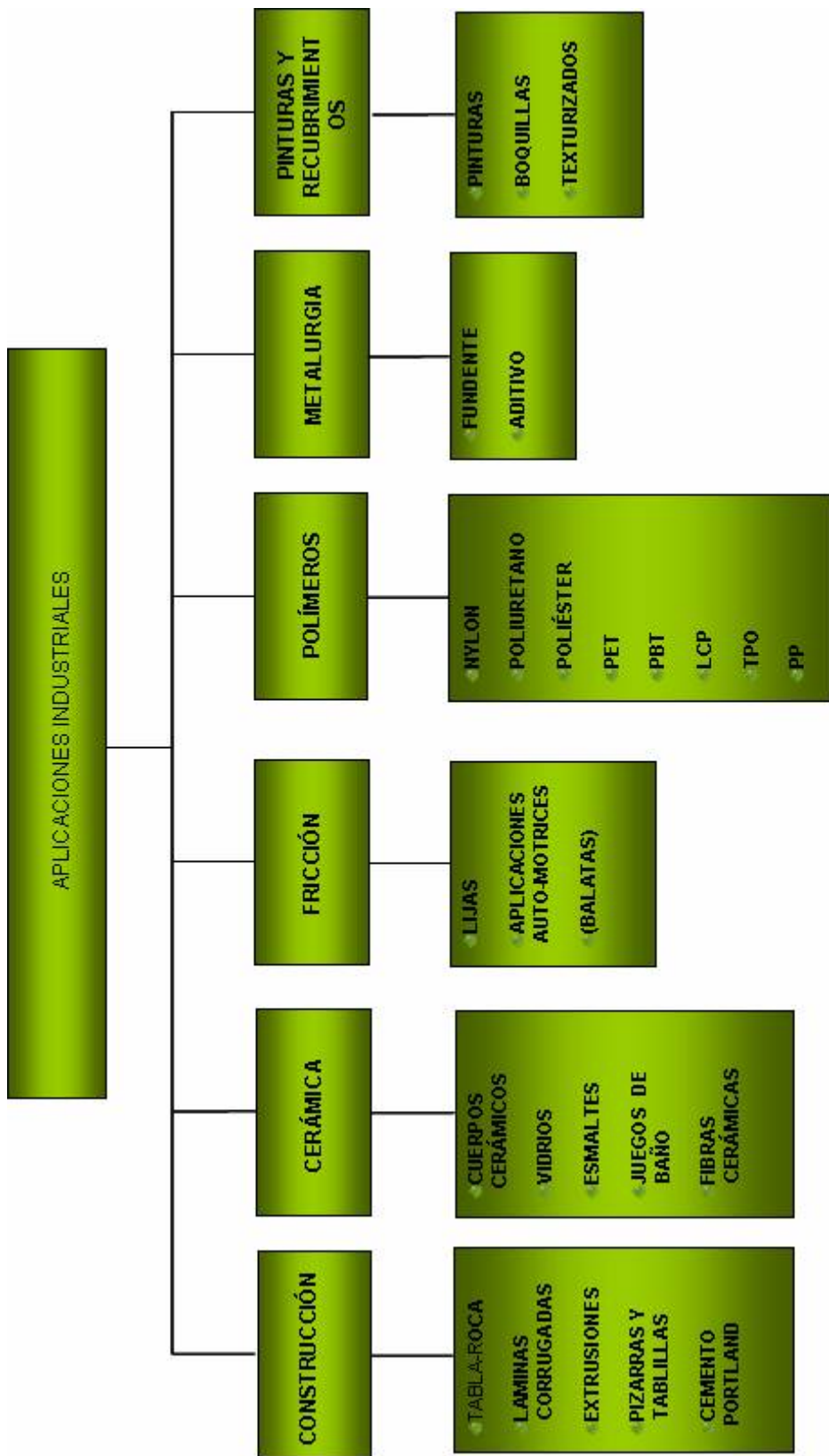


Figura 9.1 Diagrama usos de wollastonita a nivel industrial

La wollastonita reduce la expansión por humedad, no olvidando que su composición química es anhidra, es decir, carente de H₂O y también de CO₂. Esta característica minimiza la emisión de gases durante el quemado, mismo que podría causar defectos en la fabricación.

La adición de este mineral a la fabricación de pisos, disminuye el coeficiente de expansión térmica lineal, así como el choque térmico, situación que mejora la calidad del producto y además, se observa en la interfase del cuerpo y el vidriado. De esta manera, se logra una buena soldadura y se reduce considerablemente el astillamiento y/o desprendimiento del esmalte.

Las formulaciones de tejas tienen grandes cantidades de wollastonita, según Fattah (1994) hasta de un 50 % en el material de carga, su acicularidad abre canales en cuerpos en verde por los cuales emana vapor de agua en el ciclo de quemado.

La acicularidad y microestructura de los cristales de la wollastonita proveen de fuerza y reforzamiento al material, distribuyendo en distintas direcciones las fuerzas externas aplicadas. Se reduce notablemente la pérdidas por rechazo en el control de calidad.

Vidrios: Uno de los principales componentes en el vidrio es el óxido de calcio (CaO); al agregarle wollastonita como material de carga, existe la ventaja que el CaO y el SiO₂ coexisten de manera prefusionada. A bajas temperaturas los pigmentos adquieren mayor brillantez debido a la saturación del calcio en el vidrio.

La baja refractabilidad de la wollastonita disminuye la temperatura de fusión en la elaboración del vidrio, minimizando los costos de producción. Al agregarla como material de carga aumenta su resistencia a la compresión, esta propiedad es vital, recordando que el vidrio generalmente tiene un proceso de laminado durante su

manufactura. Adicionalmente, se logra la reducción de la expansión térmica que minimiza los defectos, tales como: astillamiento, peladuras, montaduras e inclusive fracturas. De esta forma se logra un acabado liso y libre de imperfecciones (burbujas por ejemplo).

Otra mejoras importantes en el proceso de la elaboración del vidrio con adición de la wollastonita son, como por ejemplo: disminución de las pérdidas por ignición ($LOI < 1\%$), reducción de la resistencia al flujo del vidrio que incrementan la eficiencia en el laminado, suministrando uniformidad en el brillo y textura (homogénea). Se logran mejoras en los acabados mate, rústico, o satín que en los procesos de antaño donde se empleaba cal y pedernal en lugar de wollastonita. Por otra parte, el índice de refracción de la wollastonita reduce la opacidad del vidrio, incrementando su transparencia y brillo, característica sumamente importante de calidad y valor agregado, independientemente de la resistencia térmica y mecánica mencionada con anterioridad.

Esmaltes: El suministro de wollastonita a los esmaltes ocasiona la reducción del punto de fusión, así como de la temperatura de vitrificación y sinterizado, debido a la prefusión del CaO y SiO_2 , que además disminuyen la energía calorífica que se requiere en el proceso de esmaltado. Ésto, reduce costos y aumenta la durabilidad del esmalte. La wollastonita es fuente de CaO en los esmaltes, que coadyuva en el aumento del brillo y suavidad del acabado.

Juegos de baño: El molde en verde de estas piezas debe de poseer resistencia a la deformación, la wollastonita provee de reforzamiento a la pieza, incrementando la resistencia a la fractura. Destaca la disminución a la contracción en el proceso de cocido, así como de la duración de esta fase de manufactura. El tamaño de partícula de wollastonita necesario para esta aplicación esta entre 3 y 35 μm y de 50 a 200 μm , generando micro-puentes en las micro-estructuras de la pieza en verde, además de inhibir la propagación de fracturas. Estos aspectos tienen

repercusión económica que abaten los costos de producción. Antes que se aplicara esta metodología eran frecuentes los rechazos en verde de las piezas por fracturamiento. En suma, la wollastonita incrementa de un 15 a 70% su resistencia al impacto.

En la sinterización es de gran jerarquía el agregar wollastonita, ya que reduce de un 30 a un 5% la contracción debido al hábito acicular de la misma. Los muebles y accesorios para baño se cuecen normalmente a 1200°C, la wollastonita contribuye a la estabilidad de las piezas y reduce el riesgo de defectos por contracción o colapso. Anteriormente se empleaba sílice, pero gran coeficiente de expansión térmica, ocasionando cambios de fase.

La wollastonita como material de carga en pastas de muebles y accesorios para baño, reduce el volumen total de fluoruro de hidrógeno (cerca del 10 %) estimado en el quemado y mejorando el ambiente durante la sinterización.

Fibras cerámicas: Los materiales cerámicos fibrosos generalmente tienen aplicaciones en ambientes agresivos, o en donde se requiere una alta resistencia térmica, como en la elaboración de materiales aislantes al sonido, en forma de tablas, papel, cuerdas, hilos o textiles; en el reforzamiento de materiales para construcción y como material de fricción en frenos automotrices, etc.

En la creación de fibras cerámicas se prefiere usar wollastonita por su fuente de CaO y bajo contenido de CO₂, además de presentar extremadamente baja humedad, (prueba LOI por debajo del 1%).

9.1.2 Industria de la Construcción

En esta área se utiliza la wollastonita en la fabricación de tabla roca, lámina corrugada, tablas o muros resistentes al fuego, extrusiones (plafones), pizarras o

tablillas y en el concreto. Ya que aumenta la durabilidad y fuerza debido al micro-reforzamiento que le proporciona a las estructuras, es utilizada en la base para el cemento *Pórtland*, ya que disminuye su densidad, y por consiguiente su peso.

Tabla roca: Al agregar wollastonita en la mezcla se mejora la estabilidad dimensional, resistencia a altas temperaturas, resistencia en verde y reduce la fractura y el astillado; además, proporciona resistencia a condiciones climáticas extremas de calor y humedad, por consiguiente no se deteriora por exposición prolongada a los rayos UV del sol y aumenta su vida útil en estas condiciones. Previene el hundimiento y la deformación al someter la tabla-roca a accidentales presiones o golpes.

Lamina corrugada: La baja biopersistencia de la wollastonita ha sido decisiva en su empleo como material sustituto de asbestos, ya que estos empezaron a prohibirse en las década de los 80's y 90's debido a sus nocivas y perjudiciales características que van en detrimento de la salud (materiales cancerígenos) según Maxim y McConnell (2005) y Emerson (2006). Comúnmente se utiliza como material de carga en una proporción que va de un 5 al 15% según la aplicación, proporcionando estabilidad a temperaturas altas, también forma dimensional, fuerza en verde, disminución del fracturamiento y del astillamiento.

Tablas o muros resistentes al fuego: La wollastonita es estable a 1200°C, característica utilizada como barrera contra el fuego en edificios. Para esta aplicación se elaboran láminas u hojas delgadas de baja densidad, que recubren superficies combustibles.

Extrusiones: Dependiendo de la aplicación se agrega de un 10 a un 30% en relación al material de carga. Frecuentemente se utiliza para formar barreras resistentes al fuego, o protecciones aislantes térmicas, acústicas y de resistencia eléctrica. Una de sus ventajas es que aligera el peso dando estabilidad

dimensional y resistencia a altas temperaturas; al mismo tiempo que da fuerza en verde. En el proceso de sinterizado genera canales de drenado de gases.

Pizarras y tablillas: dependiendo de la aplicación se utiliza en el material de carga de entre un 5 y 15%. La wollastonita mejora la estabilidad dimensional, estabilidad a temperaturas altas, resistencia en verde; además de disminuir la fractura y el astillamiento, aumentando la vida útil contra climas extremos y la degradación por rayos UV, recordado que es un silicato de calcio natural, no resulta difícil su homogenización con el resto de los componentes de las pastas. La razón de que disminuye la fractura y el astillamiento se remite a los canales de drenado que se generan en el proceso de sinterización de la pieza.

Concreto: El silicato de calcio es material de carga para algunos países; la wollastonita les proporciona estabilidad dimensional a temperaturas elevadas y aumenta la fuerza en la matriz debido al hábito fibroso característico de la wollastonita; es decir, se distribuyen las fuerzas de tensión y compresión ajenas al concreto.

En el cemento *Portland* se utiliza frecuentemente la wollastonita, aumentando la resistencia a la tensión, corrosión por la acción atmosférica y su fracturamiento. Además disminuye su densidad y por ende su peso. El micro-reforzamiento que le proporciona la wollastonita al cemento *Portland*, le brinda mayor flexibilidad.

9.1.3 Fricción

Se emplea en la elaboración de papel para desbaste y aplicaciones automotrices como balatas y clutches. (Virta, 1973 y Nyco b., 2006).

Papeles de fricción (lijas): se adiciona wollastonita en un 7% siendo sustituto de otras fibras utilizadas antiguamente como: titanato de potasio, fibra de vidrio,

aramida, y fibras minerales sintéticas, esto debido a que tiene una dureza media en la escala de Mohs de 4 a 5. Le confiere consistencia química, estabilidad dimensional-térmica, no olvidando su empleo más trascendente en la sustitución de los asbestos.

Aplicaciones automotrices: su uso se remonta a los materiales sometidos a desgaste, confiriéndoles estabilidad de fricción y aislamiento térmico. Esto prolonga la vida útil de los frenos (balatas) y embragues (disco) con una formulación en el rango del 7%. Como se ha mencionado anteriormente, la wollastonita es actualmente el material sustituto de otras fibras, haciendo comparación entre la fibra de vidrio y la wollastonita, ésta última, brinda mayor estabilidad de fricción y resistencia a alta temperatura.

9.1.4 Industria metalúrgica

En la *industria acerera* es utilizada como fundente y aditivo, lo que minimiza la viscosidad de los aceros disminuyendo el punto de fusión (Mineral Price Watch, 2005 y Fattah, 1994). Aumenta también el control de gases en las cámaras de los altos horno y en hornos de arco eléctrico. Las pérdidas por ignición de la wollastonita están por debajo del 1%, no obstante, su fórmula no tiene H₂O, ni CO₂, que son dañinas para el caldo metálico. Este mineral tampoco presenta intrusiones metálicas o refractarias, lo cual incrementa la desulfuración y la desoxidación, que mantienen una buena basicidad, además de reducir al mínimo defectos como inclusiones y micro-fracturas. Su empleo es vital en los aceros como antiescoriante.

En otras aplicaciones metalúrgicas se destaca su empleo en la composición de soldaduras, minimizando la proyección de rebabas; también, desulfurando y desoxidando la interfase metal-soldadura-metal.

9.1.5 Industria de pinturas y recubrimientos

Pinturas: La wollastonita es un ingrediente primordial en las formulas de pinturas y recubrimientos incluso las utilizadas por la marina, tanto interiores como exteriores; tejas, boquillas y texturizados y material de carga, que aumenta la blancura, cohesión, fuerza mecánica, durabilidad contra climas extremos, la resistencia a la corrosión y a la alta temperatura. También se utiliza en pinturas de poliéster, acrílicas, uretanas e híbridos (Fattah, 1994 y Nyco, 2006b).

El nulo contenido de carbonato en la wollastonita hace que aumente su durabilidad contra los ácidos. Anteriormente la formulación incorporaba carbonato de calcio micronizado (2-3% en peso), situación que en ambientes ácidos, se presentaba disolución.

Otra mejora considerable se presenta en la textura de las pinturas que se suavizan. El hábito acicular de la wollastonita provee una mejor adherencia a las superficies, aumentando la resistencia al fracturamiento y al astillamiento.

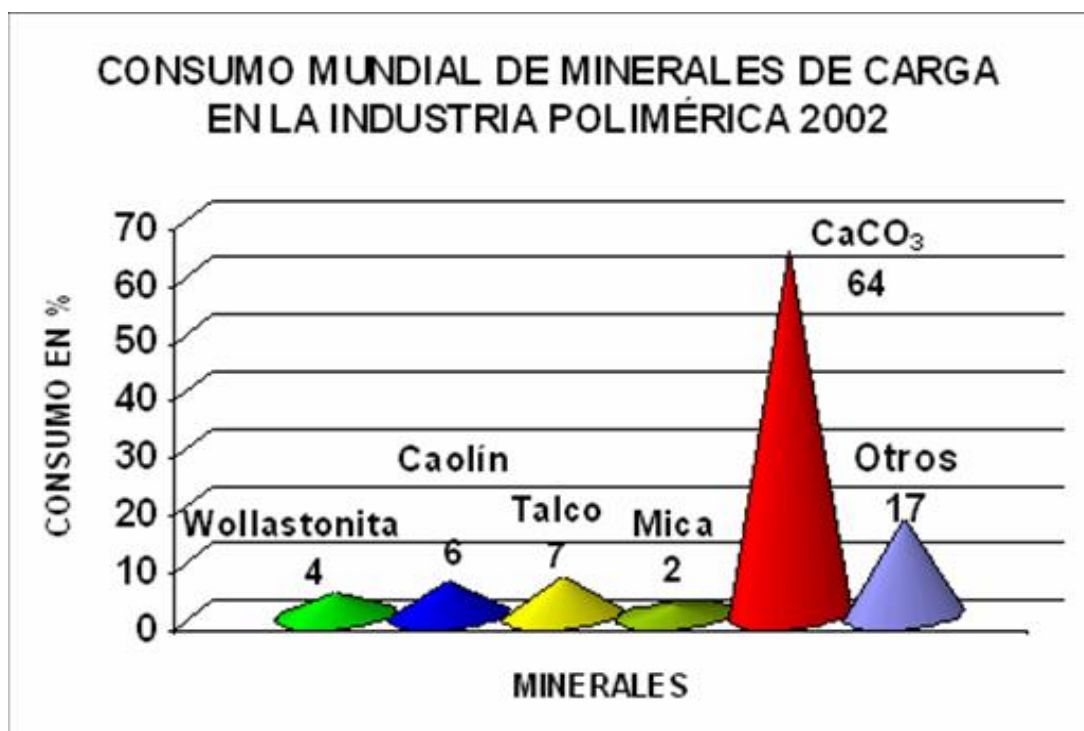
La gravedad específica de la wollastonita es menor en comparación con la barita lo que reduce costo en bases volumétricas de las formulaciones de pinturas.

Pinturas industriales y de la marina: por su pH alcalino previene la degradación por corrosión y disminuye la tendencia a que la pintura se bote en forma de ámpulas.

Boquillas y texturizados: les proporciona resistencia mecánica, aumenta su durabilidad mejora su adhesión siendo en este campo sustituto de los asbestos.

9.1.6 Industria polimérica

En la manufactura de polímeros termoestables, termoplásticos y los elastómeros, se observan mejoras como resistencia al desgaste e impacto, flexibilidad, aumento en la expansión lineal y una disminución en la contracción de los moldes según Fattah (1994), Moore (2003) y la compañía Vanderbilt, a, b y c, (2005). La gráfica 9.1 muestra el requerimiento de wollastonita en la industria de los polímeros; en los últimos años ha crecido a pasos agigantados este mercado.



Gráfica 9.1 Muestra la demanda de minerales de carga en el mercado de los polímeros

Nylon: baja la absorción de humedad, mejora la conductividad térmica y la estabilidad dimensional.

Poliuretano: disminución del coeficiente de expansión térmica lineal, mejora la superficie pintada, aumenta la deformación al calentamiento y disminución de viscosidad.

PP y TPO (*polipropileno y poliolefina termoplástica*): mejora a desgaste y a deformarse, disminuye el coeficiente de expansión térmica lineal y disminuye la contracción.

LCP (*polímeros de cristal líquido*), **PBT** (*Politereftalato de polibutileno*), **PET** (*Politereftalato de etileno*) y **poliéster:** mejora la apariencia superficial, las propiedades físicas y mecánicas y mejora la deformación a la temperatura.

9.2 Producción mundial

La revista internacional *Industrial Minerals* (noviembre, 2003), señala que a nivel mundial se consumieron en el año de 2002 alrededor de 12'000,000 de toneladas de minerales de carga (destacando carbonato de calcio, talco, caolín, wollastonita y mica) en la industria de los plásticos ocupando el primer lugar el carbonato de calcio con 7'680,000 toneladas; la wollastonita ocupa el quinto lugar con un consumo de 480,000 toneladas.

La primera aplicación comercial fue reconocida en 1950; en Estados Unidos, sin embargo, hasta la década de los 70's fue más utilizada. En 1976 en este país vecino se descubrieron grandes depósitos de wollastonita, siendo reconocido como un mineral importante hasta ese momento; empezando la explotación de los depósitos de dicho mineral con la empresa NYCO Minerals Inc., en Estados Unidos principalmente.

A la mitad de la década de los años 80 (ver gráfica 9.2), la misma empresa colocó a dicho país en el primer lugar de la producción de wollastonita. Los

hindúes también tienen gran participación en la extracción con un 17% de la producción mundial; encontrándose nuestro País en el quinto lugar con 6%.

Estados Unidos se mantuvo como líder hasta 1992; pero en 1993, China produjo la misma cantidad alcanzando a ambos países con 120,000 toneladas para ese año. A partir del 1994, Estados Unidos se desplomó quedando en segundo lugar con una producción de 142,143 toneladas anuales en promedio en los siguientes siete años.



Fuente: Fattah H. "Wollastonite, new aspects promise growth" Industrial Minerals, November 1994.

Gráfica 9.2 Muestra la producción en el mundo para la década de los 80's

NYCO Minerals es el más grande productor de wollastonita en el mundo, en Nueva York son propietarios de una mina de wollastonita de alto grado de pureza; el depósito Lewis se encuentra ubicado a 4 Km. de Willsboro.

Existe otra compañía llamada R. T. Vanderbilt Co. Inc. su calidad esta por debajo de la de NYCO; abasteciendo al mercado americano y al europeo; el depósito de Harrisville se localiza en la región de Gouverneur en Nueva York.

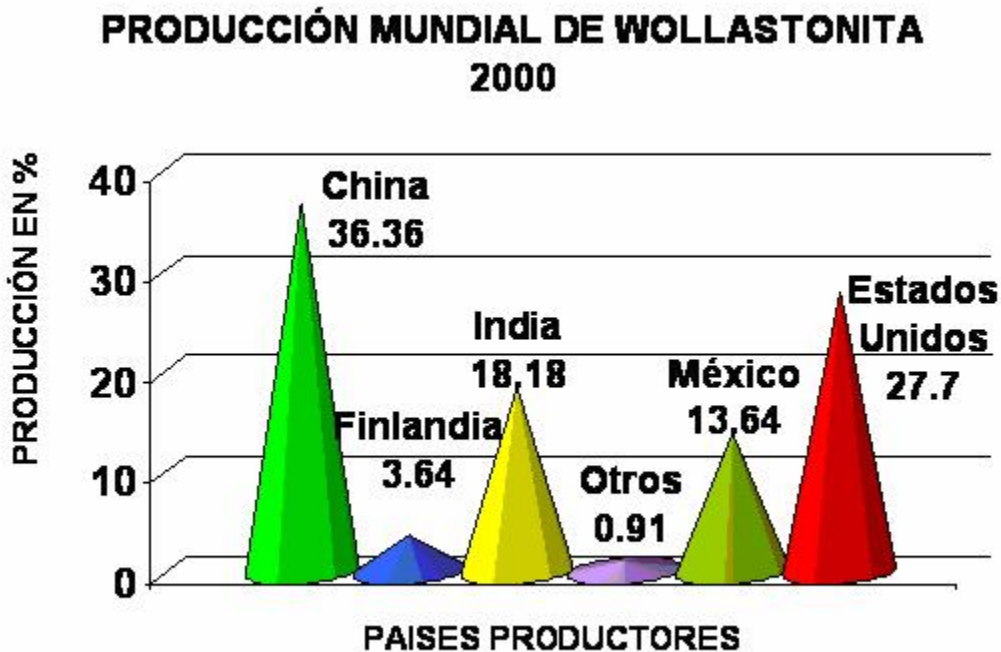
El descubrimiento de yacimientos de wollastonita en China fué en 1975 ubicados al este y noreste; pero la explotación inicia a principios de la década de los 80's. Las principales provincias chinas productoras de wollastonita son Jilin con 46.6 % de sus reservas, con un 17.8 % Jiangxi y finalmente con 14.0 % Qinghai.

En China existen alrededor de 250 minas que en 1994 produjeron 150,000 toneladas y en los dos años siguientes se consolida como líder aumentando otras 100,000 toneladas más a su producción anual. Posteriormente alcanza una producción de 300,000 toneladas, disminuyendo un 34.34 % en el 2000. Para el 2004, la producción fue de 395,385 toneladas, de las cuales se exportó el 48.05 %.

China esta dividida en cinco áreas productoras: Dadingshan y Panshi en la provincia de Jilin, Changxing en la provincia de Zhejiang, Daye en la provincia de Hubei, Jianpin en la provincia de Liaoning; y Xinyu en la provincia de Jiangxi. Las principales compañías mineras chinas son: Lishu Wollastonite Mining Industry Co. y Daye Wollastonite Mine; ambas pertenecen al mayor productor de minerales no metálicos, China Nacional Non-Metallic Minerals Corp. Liushu tiene el primer lugar en producción: sus principales puertos de exportación son Dalian y Yingkou, ubicadas en la provincia de Liaoning.

En la provincia de Rajasthan, India, existen dos depósitos uno en la población de Kheratarala en el distrito de Udaipur y en Belka en el distrito de Sirohi. En la década de los 90's India participó con el 15% de la producción mundial y alcanzó las 100,000 toneladas, colocándose en tercer lugar. En 2005, la producción fue de 175,000 toneladas. La mina Khera produjo 100,000 toneladas, mientras que en el

depósito de Belka, la producción alcanzó las 75,000 toneladas. La wollastonita Hindú abastece la demanda nacional y a los mercados de Australia, Japón, Singapur, Malasia, Estados Unidos y Europa.



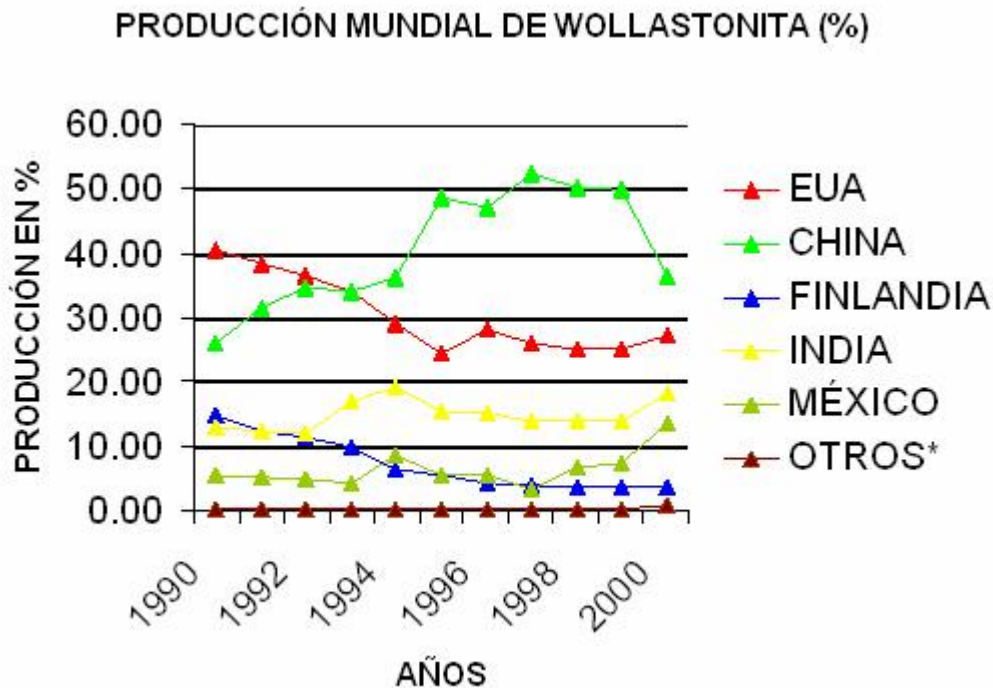
Fuente: W. Harben P., 2002. "Wollastonite" *The Industrial Minerals HandyBook*, 4th edition

Gráfica 9.3 Muestra la producción en el mundo para el año 2000

Finlandia produjo entre los años de 1990 al 2000 (ver gráfica 9.4) un promedio de 28,210 toneladas. Parket Industrial Minerals produjo 30,000 toneladas por año en la zona de Lappeenranta, situada al sureste de Finlandia, enviando su producto a Italia, Alemania, España, Francia y Reino Unido. Para 1993, las reservas de Lappeenranta eran aproximadamente de 4 millones de toneladas.

Para el 2003, los principales productores a nivel mundial eran Estados Unidos, China e India, habiendo para entonces una producción de 600,000 toneladas de wollastonita en el mundo. China alcanzó las 300,000 toneladas, NYCO produjo en

el año 2000 un total de 126,000 toneladas, incluida la producción de Minera NYCO S. A. de C. V. que se encuentra a las afueras de Hermosillo, Sonora (gráfica 9.3).



Fuente: W. Harben P., 2002. "Wollastonite" The industrial Minerals HandyBook, 4th edition.

Gráfica 9.4 Producción mundial de wollastonita, periodo 1990-2000

El mercado de la wollastonita depende en gran medida de la industria acerera ya que esta es la principal consumidora; en el Anexo E existe una tabla con la producción mundial y otra con los principales productores a nivel mundial.

9.2.1 Wollastonita en el mundo

El servicio geológico de Finlandia descubrió en los años 1990 un depósito de calcita – Wollastonita al suroeste de este país en la localidad de Phoja sus

reservas entonces eran de 39 millones de toneladas, donde el 15% de éstas corresponden a wollastonita, es decir 5.85 millones de toneladas.

En la comunidad de Amliya, en la India, las mujeres tienen una participación activa en los embarques de mayor calidad, ya que realizan una selección manual, colocando el mineral en vasijas proveniente de Belka, de ellas retiran impurezas, obteniendo de estos embarque ya limpios la calidad que se requiere para la industria cerámica local con una pureza que oscila entre el 94 y 95%.

9.3 Producción nacional

Toda la producción nacional de wollastonita esta a cargo del Estado de Sonora, generando en el 2004 alrededor de 38,323 toneladas, que tienen un valor de \$67'463,000.00, según el anuario estadístico de la minería mexicana (2004).



Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, ed. 2005

Gráfica 9.5 Producción de wollastonita en México, periodo 2000-2004

En estos cinco años, la producción promedio fue de 36,595.8 toneladas; destacando el año 2002 con un valor de \$ 86'326,100.00. En relación al 2004, se vio reducida en un 10.37 %, aunque en comparación con el año anterior tuvo un aumento del 22.7 % En el 2002, Estados Unidos importó de México 1,000 toneladas de wollastonita.

9.3.1 Wollastonita en México

En el país se han localizado depósitos de wollastonita en cuatro estados de la República Mexicana. En Sonora (Hermosillo, *NYCO Minerals*), Zacatecas (Pánfilo Natera), Durango (Simón Bolívar) e Hidalgo (Villa Juárez). Siendo el depósito de Hermosillo de gran escala y los de Pánfilo Natera, de pequeña producción.

9.3.1.1 Sonora

La mina *Pilares* perteneciente al grupo *NYCO Minerals*, es el Primer productor mundial de wollastonita y se ubica en el Distrito Minero de Hermosillo, teniendo en el 2004 una producción de 400 toneladas por día. Esta compañía inició su operación en 1998. Actualmente este estado tiene el 100% de la producción nacional. En Hermosillo tiene *NYCO Minerals* una planta de beneficio donde flotan inversamente y pulverizan dicho mineral a granulometría variable, según los requerimientos del mercado principalmente internacional en presentaciones de 50 y de 1,250 kilogramos.

9.3.1.2 Zacatecas

En el municipio de Pánfilo Natera (antiguamente “La Blanca”), se localizan yacimientos de wollastonita en la zona de “Guanajuatillo” y en los cerros de “La Campana” y “La Leona”. Se localizan a 50 Kilómetros en línea recta de la Ciudad de Zacatecas. En “Guanajuatillo”, se encuentran los yacimientos llamados

“Taticita” y “Jujucita”, con una extensión de 10 Km². Jiménez-López (1963), reportó las obras mineras y rebajes a cielo abierto de “Guanajuatillo” y menciona dimensiones máximas de 150m de largo por 10m de profundidad y 2.5 a 4m de ancho.

En la segunda zona, las minas se encuentran separadas a una distancia de 5Km y son conocidas con el nombre de “Cerros de La Campana” y “La Leona”, con reservas estimadas de 289,600 toneladas positivas y 616,000 toneladas probables, reportadas por Solís – Vorrath (1967a). Cabe mencionar que los tonelajes mencionados incluyen wollastonita con cuarzo, granito, caliza y granate. Hacia el año 1967, estos sitios eran explotados por la empresa “Wollastonita de México”. El sistema de explotación consistió de rebajes irregulares con pilares con espesor de la aureola de 3 a 7 m y un promedio de 4 m.

9.3.1.3 Durango

Los principales afloramientos de wollastonita pertenecientes a la zona de “San José de Reyes” son tres: *La Tinaja*, *El Tepozanito* y *El Estradito*. Se encuentran ubicados hacia la parte central y oriental del Estado de Durango, en los límites con el estado de Zacatecas y a 115 kilómetros al sur de Torreón, Coahuila. Distan 31 Km del poblado de Santa Clara (Solís – Vorrath, 1967b). Para julio de 1967, se estimaron 3'430,000 toneladas posibles y en 1966, se explotó el yacimiento de “La Tinaja”, mientras que en el “Tepozanito”, solo se realizaron trabajos de descapote.

9.3.1.4 Hidalgo

El depósito de *Villa Juárez*, se localiza en la zona protegida denominada Parque Nacional Los Mármol; situación que condiciona su explotación, conjuntamente con la del mármol asociado. La explotación de wollastonita se encuentra a 50Km al norte de Zimapán, perteneciente al municipio de Nicolás Flores. En éste

depósito destaca el tamaño de los cristales de wollastonita de hasta un metro de longitud, particularidad que raramente se observa en otros depósitos similares, además de su pureza.

9.4 Cotización internacional de la wollastonita (2003 – 2005)

La wollastonita se vende en cuatro presentaciones malla 200, 325 y 400, además de la conocida comercialmente como acicular; siendo de menor tamaño de grano que la malla 400. Su precio es en base al proceso de molienda requerido para obtener el tamaño deseado (ver tabla 9.1); por ejemplo el costo de la presentación de la 325 es mayor que la 200 debido a que se requiere mayor tiempo de molienda para obtener mayor finura, y por lo tanto aumentan los costos de la energía eléctrica. En resumen entre más pequeño el tamaño de grano es mayor su valor por tonelada.

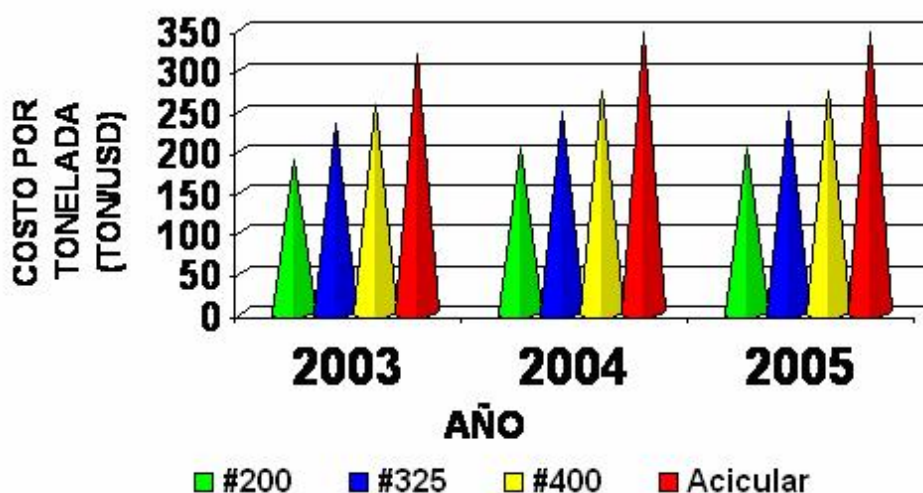
MALLA	PRECIO (USD/ton)
200	205
325	248
400	275
Acicular < 400	345
<i>Fuente: "Industrial minerals prices" Industrial Minerals, April 2006.</i>	

Tabla 9.1 Precios del mercado de wollastonita

Las cotizaciones en el mercado de la wollastonita en los últimos tres años se han mantenido constantes como se muestra en la gráfica 9.6; sufriendo un sólo incremento del 7.25% en promedio para abril del 2004. La wollastonita acicular se vendió para abril del 2006 en USD \$345 / ton, tuvo el mayor incremento en su precio con un 8.5% en relación al 2003 que fluctuaba en USD \$318 / ton.

En el 2003 las mallas 400 y 325 que se vendían en USD \$258 y 234 /ton respectivamente; incrementando su valor en un 6.6 y 6.0%. Finalmente, la malla 200 incremento en un 7.9%, pasando de USD \$190 a 205 / ton.

COTIZACIONES DE WOLLASTONITA



Fuente: Industrial Minerals (2003 - 2005)

Gráfica 9.6 Muestra las variaciones de los precios de wollastonita en los años de 2003 al 2005

9.5 Composición química

En la tabla 9.2 se muestra la calidad de la wollastonita de exportación que produce Sonara y la que existe en el área de estudio se determinó que es de alta calidad, cubriendo con los requerimientos del mercado nacional e internacional cumpliendo con los requerimientos que se necesitan para tener “calidad de exportación”.

Tabla 9.2 Composición química de la wollastonita nacional

Composición	Valor Nyco Minerals, México (%)	Villa Juárez (%)
CaO	46.25	45.9
SiO ₂	52.00	45.4
Fe ₂ O ₃	0.25	0.24
Al ₂ O ₃	0.40	0.19
MnO	0.025	0.49
MgO	0.50	0.06
TiO ₂	0.025	0.01
K ₂ O	0.15	0.02
PxC a 950°C	0.40	5.35

Fuente: Nyco, 2006c. "¡Mejorando sus buenos productos! Wollastonita de calidad superior"

9.6 Normatividad ambiental

Antes de realizar cualquier trabajo de preparación o explotación del yacimiento, es necesario resolver la situación actual de la clausura de los bancos; debido a que estos depósitos se localizan dentro del área protegida del **Parque Nacional Los Mármoles**.

La relevancia del reinicio de la explotación de dicho mineral en esta comunidad es de gran impacto económico. En el área de estudio la principal actividad económica era la minería; con la clausura de los bancos se cerraron las escasas fuentes de empleo en la región, viéndose forzados principalmente los jefes de familia a emigrar al país vecino del norte para poder brindar un sustento a su familia.

9.6.1 Disposiciones ambientales

9.6.1.1 Marco Normativo Federal

El Art. 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos establece que corresponde a la Nación:

Regular en beneficio social, el aprovechamiento de recursos naturales susceptibles de aprobación.

El dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental y los azócalos submarinos de las islas, de todos los minerales o sustancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos.

Cuidar la conservación de los recursos naturales, lograr el desarrollo equilibrado del país.

Planear el desarrollo y ordenar las actividades para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños a la sociedad.

En el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de evaluación de impacto ambiental en su Art. 5 señala que quien pretenda explorar, explotar y beneficiar minerales y sustancias reservadas de la federación, o realizar obras en áreas naturales protegidas, requerirá previamente la autorización de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental.

Para poder explotar el yacimiento de wollastonita se debe presentar una Manifestación de Impacto Ambiental y/o un Estudio de Riesgo a la SEMARNAT (Art. 1º de la LGEEPA). La LEEGEPa en su Art. 28 señala que están sujetos a evaluación de impacto ambiental las actividades que causen, o que puedan causar desequilibrios ecológicos, La SEMARNAT tiene la facultad de autorizar ya sea de forma condicionada, o negar la Licencia Ambiental Única, una vez evaluado el informe de la Manifestación Ambiental y/o el Estudio de Riesgo (Art. 30 de la LGEEPA).

La SEMARNAT tiene un plazo de 60 días a partir de la recepción de la Manifestación de Impacto Ambiental para emitir la resolución según al Art. 35 de la LGEEPA.

Debido a que el yacimiento esta dentro del Parque Nacional Los Mármoles se debe de realizar el cambio de uso de suelo conforme al Art. 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable:

La Secretaria solo podrá autorizar el cambio de uso del suelo en terrenos forestales, por excepción, previa opinión técnica de los miembros del Consejo Estatal Forestal de que se trate y con base a estudios técnicos justificados que demuestren que no se compromete la biodiversidad ni se provoque la erosión de suelos, el deterioro de la calidad de agua o la disminución de su captación; y que los usos alternativos del suelo que se propongan sean más productivos a largo plazo. Estos estudios se deberán considerar en conjunto y no de manera aislada.

9.6.1.2 Marco Normativo Estatal

En el rubro estatal es necesario tramitar una Factibilidad Ambiental con base en el Art. 19 de la Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo, que señala en su Art. 18 y enlistan las obras y actividades que requieren de obtener una

autorización de impacto ambiental o actividades que sean consideradas riesgosas; en la Fracción XV del mismo, marca la explotación de bancos de materiales pétreos.

La Secretaria de Desarrollo Económico del Estado tiene la obligación de fomentar el desarrollo del sector productivo de la entidad; cuidando y fortaleciendo el equilibrio ecológico y la protección del medio ambiente; y fomentar el desarrollo de la industria minera, estimulando la explotación racional de los recursos minerales existentes en la entidad según la ley de Fomento Económico en su Art. 5 Fracción XII y XVI.

Con el cumplimiento de la misma, se pueden obtener estímulos fiscales como el subsidio en el pago temporal, o porcentual, de los impuestos y/o derechos de aplicación estatal (derechos por la obtención de licencias, dictámenes de uso de suelo y evaluaciones de impacto ambiental) destacados en los Art. 10 y 11.

Cuando esté en marcha la explotación del depósito debe haber una rehabilitación ecológica con base en lo establecido en la Norma Técnica Ecológica Estatal NTEE-COEDE 001/2000; ya que es la encargada de establecer los criterios y lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos.

9.7 Cálculo de reservas

Se entiende por *reservas* al agregado de uno o más minerales, que bajo condiciones favorables puede ser explotado y vendido con una ganancia (manual de técnicas básicas de explotación de agregados pétreos, 2002); estas se dividen en:

Reservas probadas: son aquellas en donde existe suficiente información del mineral a intervalos relativamente cortos y para el cual, el carácter geológico está bien definido, que el tamaño y forma de la mena tenga una confiabilidad $\geq 85\%$ para su planeación y explotación.

Reservas probables: Son aquellas donde el tonelaje y/o ley del mineral se estima en parte de medidas y muestreos específicos y en otra a proyecciones geológicas con distancias razonables. Considerando las mismas bases del mineral probado, pero que puede tener una confiabilidad entre el 75 y 85 %.

Reservas inferidas o posibles: Es mineral que se infiere o proyecta principalmente por conocimientos del depósito de carácter geológico y para el cual hay poca o nada de información derivada del muestreo.

Tabla 9.3 Toneladas potenciales de wollastonita en Villa Juárez, Hgo.

Reservas	Tonelaje
Probadas	412,857.555
Probables	619,286.332
Posibles	1,032,143.887
Total	2,064,287.774

En el caso del primer banco se tiene un ancho promedio de 7m, aflorando 37m de longitud; en el caso del segundo banco tiene un promedio de 23m de ancho por 32m de largo; en dirección sur-este siguiendo la proyección de la aureola a 800m en la cañada se aprecia otro afloramiento de wollastonita con un ancho de 20m.

Las reservas totales son de 2'064287.774 (ver tabla 9.3) Para el cálculo de reservas se calculó el área; promediándose los tres espesores de donde aflora el mineral, posteriormente se multiplica por la longitud total de la aureola y por la

influencia (en al caso de las probadas se utilizaron 10 m de influencia, para las posibles 15m y las inferidas 25m) que tiene el depósito; una vez obtenido el volumen se multiplico por la densidad del mineral para calcular el tonelaje:

Reservas probadas= V * ρ Wollastonita

V = |Σ| espesor *largo*10m de influencia

$$V = [|\Sigma| (7m+23m+20m)] * (37m+32m+800m) * 10m$$

$$V = [(7m+23m+20m)/3] * (37m+32m+800m) * 10m$$

$$V = (50m /3) * 869m * 10m$$

$$V = 16.67m * 869m * 10m$$

$$V = 144,862.3 \text{ m}^3$$

$$\text{Reservas probadas} = 144,862.3 \text{ m}^3 * 2.85 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Reservas probadas} = 412,857.555 \text{ ton}$$

Reservas probables = V * ρ Wollastonita

V = |Σ| espesor *largo*15m de influencia

$$V = [|\Sigma| (7m+23m+20m)] * (37m+32m+800m) * 15m$$

$$V = [(7m+23m+20m)/3] * (37m+32m+800m) * 15m$$

$$V = (50m /3) * 869m * 15m$$

$$V = 16.67m * 869m * 15m$$

$$V = 217,293.45\text{m}^3$$

$$\text{Reservas probables} = 217,293.45\text{m}^3 * 2.85 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Reservas probables} = 619,286.332 \text{ ton}$$

Reservas posibles = V * ρ Wollastonita

V = |Σ| espesor *largo*25m de influencia

$$V = [|\Sigma| (7m+23m+20m)] * (37m+32m+800m) * 25m$$

$$V = [(7m+23m+20m)/3] * (37m+32m+800m) * 25m$$

$$V = (50m /3) * 869m * 25m$$

$$V = 16.67m * 869m * 25m$$

$$V = 362,155.75\text{m}^3$$

$$\text{Reservas posibles} = 362,155.75\text{m}^3 * 2.85 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Reservas posibles} = 1,032,143.887 \text{ ton}$$

9.8 Cemento expansivo

El sistema de explotación que se recomienda es de banqueo con dimensiones razonables para facilitar la extracción (ilustración 9.1), conjuntamente con la aplicación de cemento expansivo; ya que con el no se necesitan permisos de manejo de explosivos y se tiene control total del mineral.



Ilustración 9.1 Descapote del banco

El *cemento expansivo* es un material de fragua, de fácil uso, ecológico, económico y seguro. El cual sirve para extracción de bloques precisos, demolición y extracción de roca.

Para generar los bancos se perfora varios barrenos, según las especificaciones del cemento expansivo, tomando en cuenta la dureza de la roca encajonante en línea horizontal para obtener la sección deseada. (Ilustración 9.2).



Ilustración 9.2 Perforación del banco para extraer con cemento expansivo



Ilustración 9.3 Vaciado del cemento expansivo en los barrenos

Después se prepara la malta; generalmente se agrega un 30 % en peso de agua; ejemplo para 5 Kg de cemento expansivo se agregan 1.5 litros de agua mezclándose por 1 – 2 minutos, dejándola reposar de 5 – 10 minutos; una de las ventajas de este sistema es que no genera gases nocivos como en el caso de los explosivos; ni mucho menos residuos nocivos. Se procede a vaciar la malta en los barrenos. (Ilustración 9.3).

En cierto tiempo el cemento empieza a fraguar, ocupando más espacio generan presiones unitarias de hasta 8, 000 ton/m² en todas direcciones; generando fracturamiento en el punto de menor resistencia a la fractura (ver Ilustración 9.4); para lo cual se tendrán que realizar pruebas para determinar el tiempo de separación del bloque.



Ilustración 9.4 Fracturamiento del bloque por fraguado del cemento expansivo

Finalmente se extraen los bloques desprendidos del terreno con métodos convencionales (Ilustración 9.4 y 9.5); debido a que el tipo de yacimiento esta muy bien definido se puede determinar hasta donde llegara el corte del bloque, que dando como alternativa la explotación simultanea de cuarzomonzodiorita-

wollastonita-mármol, en donde las condiciones lo permitan, diversificando el negocio y generando mayores utilidades.



Ilustración 9.5 Generación del bloque minado

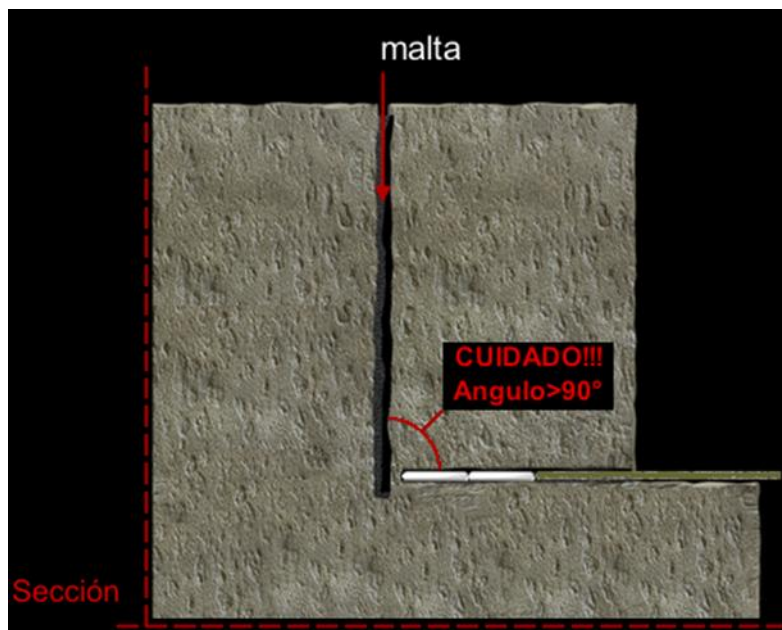


Ilustración 9.6 Empleo de los cartuchos del cemento expansivo

Existe también una presentación de cemento expansivo en salchichas o cartuchos, los cuales se sumergen en agua de 2 – 3 minutos, dejándose reposar de 5 a 10 minutos fuera del agua y finalmente se cargan a los barrenos; comúnmente se utilizan para barrenos horizontales (Ilustración 9.6).

10 Conclusiones

El yacimiento de wollastonita de Villa Juárez, se formó como producto del metamorfismo de contacto y metasomatismo de rocas plutónicas terciarias con carbonatos cretácicos. Los fluidos hidrotermales de alta temperatura que acompañaron la intrusión ígnea, permitieron la formación de mineralogía calcosilicatada en su mayor parte constituida por wollastonita como mineral de mena, e interés industrial. El yacimiento se clasificó como de tipo *skarn* cálcico.

Los cristales de este mineral industrial de hábito acicular, color beige pálido a blanquecino, se desarrollan en su mayor parte idiomórficos y con tamaño variable de algunos milímetros al metro de longitud, característica poco frecuente en otros yacimientos de este mineral. Los cristales están dispuestos en forma de abanicos radiales, masivos y compactos que se asocian paragenéticamente al cuarzo, calcita, granate, diópsido y titanita. Éstos se identificaron al microscopio petrográfico mediante el estudio de láminas delgadas y por difracción de rayos X de muestra polvo. Otra aportación de los análisis de difracción de rayos X, fue la clasificación del politipo de wollastonita que resultó ser del tipo 1A perteneciente al sistema cristalino triclinico.

La disposición del yacimiento de wollastonita está condicionada a la amplitud de la aureola de contacto, que varía de pocos metros hasta alcanzar los 30m en superficie. Situación que puede variar con la profundidad.

La morfología de los cristales de wollastonita, fue observada a detalle por microscopía electrónica de barrido (MEB), y de este estudio se concluyó que la forma toroidal que muestran la mayoría de los cristales, podría mejorar las propiedades mecánicas en sus diversas aplicaciones como material de carga en la industria cerámica, vidrio, construcción, metalúrgica, polímeros, pinturas y recubrimientos.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones industriales de este mineral radican en su composición química, ya que existe una prefusión del SiO_2 y CaO comparado con norma, conjuntamente con el hábito acicular que presentan. La particularidad de tener una estructura giratoria contribuye a aumentar la adherencia a las mezclas, además que una vez solidificada la mezcla en el caso de la cerámica, vidrios, cemento, muebles y recubrimientos, existe una mayor distribución de esfuerzos cuando se ejerce compresión en los mismos.

El yacimiento cuenta con un potencial minero de 2'064,287.774 ton; donde las reservas probadas son de 412,857.555 ton, las reservas probables de 619,286.332 ton y las reservas posibles 1'032,143.887 ton. La wollastonita es un mineral industrial de mucha demanda, sobre todo por la industria del vidrio de alta calidad. El mercado para iniciar la producción en esta región es muy atractivo ya que Estados Unidos, China, India y Finlandia, enfocan sus exportaciones a Europa y Asia, principalmente.

Para este año se espera un recorte al área protegida del Parque Nacional Los Mármoles, situación que posibilitaría la explotación, conjuntamente con los bancos de mármol y wollastonita. Esto, impulsaría la economía sustentable de la zona, no olvidando tener una cultura ecológica que considere el cuidado y recuperación del área con reforestación y otras medidas para la región (desarrollo de proyectos eco-turísticos, por ejemplo).

Además de extraerse wollastonita, se podrá explotar en un sistema simultáneo, mármol, caliza recristalizada, masas de calcita y roca plutónica (granito) como roca ornamental y dimensional, diversificando de esta forma la explotación y derrama económica para la región como proyecto sustentable. Los granitoides presentan en general buena calidad y consistencia mecánica, prácticamente libre de fracturamiento. Es posible encontrar roca fresca en la barranca Chalma (cercana a los bancos de wollastonita) y en la zona de "El Cobrecito", que se

CONCLUSIONES

localiza a pocos kilómetros al noreste. Ciertos afloramientos de granitoides presentan alteración producida por fluidos hidrotermales que se acompañan con mineralización incipiente de hematita y malaquita-crisocola principalmente.

Con respecto a la cotización del 2006 para la malla 200 se tiene que el potencial económico es de USD \$ 423'178,993.67; donde las reservas probadas son de USD \$ 84'635,798.77, las reservas probables de USD \$ 126'953,698.06 y las reservas posibles USD \$ 211'589,496.83.

Con este estudio se concluye que las reservas que tiene dicha zona colocan a el área en el primer lugar de reservas nacionales, ya que yacimiento de Sonora se esta agotando y los del resto del país son de pequeñas dimensiones.

Se concluye que con este estudio efectuado se contribuye para dar inicio en la elaboración de un análisis de estados-resultados, en caso de que se requiera realizar un proyecto de inversión para la explotación racional y sustentable de este mineral.

11 Recomendaciones

Por la morfología del depósito de wollastonita, bancos de mármol y los granitoides asociados, es recomendable la aplicación de la técnica de cemento expansivo (ver capítulo 9, sección 9.7 cemento expansivo, p.89) generando trozos a tamaño hombre para su fácil manejo; además se elimina el trámite del permiso de manejo de explosivos ante SEDENA y se omiten trece condicionantes de la Norma Técnica Ecológica Estatal NTEE-COEDE 001/2000. Además de ofrecer bloques de roca dimensional del tamaño requerido, incrementar la seguridad en la explotación bajar costos de minado, lo cual tendrá como propósito obtener tamaños adecuados de alimentación para trituración y por último eliminar mayoritariamente la pedacería, con el consiguiente incremento de utilidades económicas.

El cemento expansivo es ecológico, económico y seguro, ya que no libera a la atmósfera gases nocivos como en el caso de los explosivos, ni mucho menos residuos nocivos tóxicos. Debido a la extracción de bloques precisos, demolición y extracción de roca; y al tipo de yacimiento que se encuentra bien definido hacen de esta técnica la mejor opción de explotación; determinando con exactitud hasta donde llegará el corte del bloque.

Cabe mencionar que antes del descapote se recomienda retirar cuidadosamente todas las especies que se han identificado como protegidas, para después llevarlas a un lugar donde vivirán mientras se extrae el mineral; para que una vez acabado el ciclo de explotación inicie el proceso de restauración del sitio. Esta es una de las acciones de mayor relevancia, la cual consiste en devolver al sitio de explotación la apariencia que tenía antes de la extracción, cumpliendo con lo dispuesto por la Norma Técnica Ecológica Estatal NTEE-COEDE 001/2000; que establece en su apartado de criterios y especificaciones que:

RECOMENDACIONES

“La tierra vegetal producto de despalmes y/o descapote, será dispuesta en un sitio que no pretenda explotarse para su almacenamiento, con la finalidad de utilizarse en la regeneración del suelo, una vez concluidas las actividades de explotación”

“Conforme avance la explotación y la operación del banco lo permita, el suelo fértil que se resguardó deberá emplearse para el recubrimiento de los taludes finales y del piso de la mina, de tal forma que los recubra una capa con un espesor de 30 cm.”

“Paralelamente, se instrumentarán acciones de retención del suelo, con la adecuada plantación de algún tipo de vegetación nativa de la zona, especialmente árboles en los sitios cuya pendiente lo permita”

“La restauración deberá realizarse a la par con la explotación a razón de un avance del 50% de restauración con respecto a la superficie explotada cada 6 meses”

“Una vez que se haya concluido la explotación de algún banco, se deberá realizar una nivelación general del piso de la mina de la zona explotada hasta ese momento, dejando una pendiente general máxima de 5 grados, de modo que al finalizar la explotación de todo el predio, esté presente un relieve relativamente homogéneo y sin cambios bruscos en la pendiente del terreno”

“No deberán quedar montículos, rampas, ondulaciones, pozos ni cárcavas en las zonas rehabilitadas”

“Los taludes de la zona explotada deberán reforestarse con especies arbóreas, arbustivas o herbáceas de la región, o con especies agrícolas o frutales comunes

RECOMENDACIONES

adaptadas a las condiciones de la región, con la finalidad de fijar los taludes y fomentar la formación de suelo”

“Los árboles, al momento de plantarse, deberán tener una talla mínima de 1.5 metros y los individuos que perezcan deberán ser sustituidos”

“La forestación se realizará considerando el espacio necesario para la sobrevivencia de los individuos, de acuerdo con la cobertura de cada especie”

“La forestación deberá realizarse al comienzo de la temporada de lluvias y con técnicas específicas de plantación”

“No deberá realizarse la forestación con especies de eucalipto, pirul y casuarina, debido a que estos organismos son altamente competitivos, no aportan materia orgánica al suelo y absorben grandes cantidades de agua”

“Una vez finalizada la explotación, se deberá iniciar el retiro de las instalaciones que fueron ocupadas durante la operación. Los residuos sólidos producto de la limpieza, desmantelamiento o demolición de las instalaciones, deberán ser depositados en el lugar que para ello designe la autoridad municipal competente”

GLOSARIO

Acicular: adj. (del latín *acicala* pequeña aguja). En forma de aguja.

Afloramiento: parte de un terreno que se encuentra en la superficie de la tierra.

Amonites: (de *Amon* uno de los nombre de Júpiter, representado con unos cuernos de carnero). Grupo de los Cefalópodos Amonoideos caracterizado por la situación del sifón en el lado ventral y el dibujo de las líneas y el dibujo de las líneas de sutura que representan sillas y lóbulos recortados. Son fósiles estratigráficos característicos del Jurásico y del Cretácico, y al final de este periodo desaparecen bruscamente.

Anticlinorio: pliegue, deformación resultante de la flexión o torsión de las rocas.

Apófisis: (del griego *apophusis*, brote de un árbol). En petrología parte saliente y alargada de un batolito.

Arenisca: roca sedimentaria detrítica compuesta de por lo menos 85% de granos de cuarzo más o menos redondeados de 1/16 mm (62.5 μ m) a 2 mm de diámetro.

Asbesto: (del griego *asbestos*, incombustible), termino sin significado mineralógico preciso, que designa minerales silicatados fibrosos textiles, resistentes al fuego, bien con composición de anfíboles.

Banco: depósito de un mineral generalmente no metálico que se encuentra en fase de exploración y/o explotación.

Bandeado: sucesión alternante de láminas química, mineralógica o texturalmente diferentes, originada por procesos geológicos diversos en un depósito o roca.

Barita: (del griego *barus*, pesado en alusión a su gran peso específico), sulfato $BaSO_4$ del sistema ortorrómbico con planos de exfoliación netos frecuentemente maclados y agrupados con brillo vítreo y de color blanco, amarillento y algunas veces pardo rojizo y azulado.

Basalto: roca magmática efusiva (que se extiende al alcanzar la superficie).

Beneficio: proceso metalúrgico al que se somete el mineral extraído de una mina para obtener un producto con las características y la pureza requeridas por el mercado.

Bioclasto: (del inglés *biclast* y a su vez del griego *bios*, vida y *klastos*, quebrado) En una roca, cualquier elemento fósil entero o más frecuentemente en fragmentos, de origen animal o vegetal que haya sido o no transportado. Este término se aplica esencialmente a los fragmentos de fósiles con caparazón carbonatado, e implica, que los fósiles son penecontemporáneos del sedimento en el que se encuentran. No se consideran organismos cuyos caparazones agrupados en posición de vida dan formaciones calcáreas (o calizas arrecifales o biolititas).

Braquiópodos: grupo zoológico que comprende individuos encerrados en una concha viválva de simetría bilateral, generalmente fijados por un pedúnculo.

Brillo: aspecto general de la superficie de un mineral cuando se refleja la luz.

Calcáreo: que contiene caliza.

Caliza: roca sedimentaria carbonatada que contiene al menos 50% de CaCO_3 , bajo la acción ácido diluido produce efervescencia.

Cartografía: conjunto de técnicas y de artes gráficas que permiten la elaboración de mapas y su impresión.

Choque térmico: Una diferencia de temperatura importante entre dos zonas próximas en un vidrio, puede originar roturas que comúnmente se denominan *roturas por choque térmico*.

Circón: (o zircón) Nesosilicato ZrSiO_4 con frecuencia trazas de Th y U, del sistema tetragonal, en pequeños prismas alargados o en granos redondeados, con exfoliación imperfecta y fractura concoidea y desigual, de brillo vítreo o adamantino y colores variados: incoloro, pardo, amarillo, verde, gris.

Clasto: proviene del griego *glastos* que significa roto en pedazos. Se refiere a cualquier fragmento de roca, fósil o cristal incluido en una roca.

Coefficiente de expansión térmica lineal: Parámetro de un material que indica su cambio dimensional en función del aumento de temperatura.

Concesión minera: parte de un terreno de dominio público cedida a un particular o a una empresa con el fin de que la retenga, la explore o la explote, de acuerdo con la legislación vigente en materia de minería. Su solicitud se conoce como *denuncio minero*.

Conductividad térmica: es la capacidad de los materiales para dejar pasar el calor.

Conglomerado: roca sedimentaria detrítica formada al menos en un 50% por elementos.

Contacto: (geológico). Hecho de tocarse dos materiales. Superficie que separa dos materiales.

Corrosión: es definida como el deterioro de un material metálico a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción química (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el metal y las propiedades de los metales en cuestión.

Crinoides: grupo de equinodermos compuestos típicamente de un cáliz regular, con simetría axial de orden 5, y de un tallo que permite la fijación del animal.

Cuenca, cuenca sedimentaria: depresión de la corteza terrestre de morfología y dimensiones muy variables, normalmente situada en el interior o en el margen de los continentes, la cual es o ha sido un lugar de sedimentación actual o antiguo.

Cuerpo plutónico: macizo formado de roca ígnea intrusiva en forma de gran masa ovoide o de gran lentejón.

Depósito mineral: concentración natural de una o varias sustancias minerales útiles. En el caso de haber sido o poder ser objeto de explotación minera se denomina *yacimiento mineral*.

Descapote: Es la remoción de la capa superficial del terreno natural, incluyendo, yerbas, pastos y sedimentos, en un espesor suficiente para eliminar tierra vegetal, turba, cieno, materia orgánica y demás materiales indeseables para el desarrollo de la obra minera.

Diaclasa: Fractura que atraviesa una roca y no muestra ningún desplazamiento relativo apreciable de un lado de la fractura con respecto al otro.

Dique: (del inglés *dike*, rompeolas). Cuerpo de forma laminar de roca magmática, con potencia variable desde algunas decenas a centenas de metros, que atraviesa

las estructuras de la roca encajante. A causa de la erosión puede dar lugar a un relieve en forma de muralla.

Discordancia: (del latín *discordare*, estar en desacuerdo). Reposo estratigráfico de una formación sedimentaria sobre un sustrato plegado o basculado precedentemente por esfuerzos tectónicos y en parte erosionado.

Distrito minero: parte de una *provincia metalogenética*, de extensión arbitraria que contiene diversos yacimientos minerales y forman un sistema o un conjunto en común.

Équido: Equidae es una familia del orden de los Perissodactyla, que contiene sólo un género viviente, *Equus* (caballos, asnos y cebras), al lado de numerosos géneros fósiles.

Erosión: (del latín *erodere*, roer). Conjunto de fenómenos externos que, en la superficie del suelo o a escasa profundidad, quita en todo o en parte los materiales existentes modificando el relieve.

Escala de Mohs: La escala de Mohs es utilizada para medir la dureza de una sustancia. Fue propuesta por Friedrich Mohs y se basa en el principio que una sustancia dura puede rayar una sustancia más blanda pero no es posible al revés. Escogió 10 minerales a los que atribuyó un determinado grado en su escala empezando con el talco que recibió el número 1 y terminando con el diamante al que se asignó el número 10.

Exfoliación: propiedad física que tiene un mineral que al aplicarle una fuerza necesaria se rompe de manera que deje dos superficies planas.

Exploración: conjunto de estudios y reconocimientos del terreno encaminados al descubrimiento de recursos minerales.

Explotación: Conjunto de métodos y de labores mineras que tienen por objeto la obtención de materias primas minerales.

Extrusión: consiste en la utilización de un flujo continuo de materias primas para la obtención de productos, generalmente metalúrgicos, plásticos y alimenticios (Aperitivos con formas, alimento de Mascotas). Las materias primas se someten a fusión, transporte, presión y deformación.

Facies: categoría en la que puede clasificarse una roca o un terreno y que está determinada por uno o varios caracteres litológicos o paleontológicos. Este término se usa igualmente para designar una categoría correspondiente a un medio o dominio sedimentario.

Fanerítica: Término usado para indicar la textura de granulometría gruesa de ciertas rocas ígneas, en las que los granos minerales son suficientemente grandes para identificarlos en una muestra de mano. Las rocas de textura fanerítica son características para intrusiones (rocas plutónicas) y para los núcleos de cuerpos extrusivos grandes (rocas volcánicas), que enfrían lentamente y permiten un crecimiento de minerales grandes.

Feldespato: sílice-aluminato potásico, sódico o cálcico.

Fluvio-lacustre: se dice de sedimentos continentales cuyo origen es mixto (aluvial, aportes de arena y arcilla) y lacustre (depósitos de caliza).

Formación: conjunto de terrenos que poseen características comunes y constituyen un conjunto que se juzga útil diferenciar. Conjunto de estratos que forman una unidad litológica a la que se asocia generalmente el nombre de un lugar.

Fractura: en mineralogía, la manera como se rompe cuando no se exfolia o parte.

Fundente: aditivo que se aplica al caldo metálico para bajar el punto de fusión en las aleaciones.

Fusulínidos: grupo de foraminíferos (microfósiles), cuyo tamaño oscila entre 1 y 70 Mm., compuestos de una lámina calcárea enrollada en espiral y dividida en cámaras.

Ganga: término minero que se designa en cada yacimiento particular el conjunto de minerales sin interés práctico, generalmente no metálicos, asociado a una MENA en explotación o explotable, generalmente metálica. Término de origen francés, derivado, a su vez, de un término alemán que significa *veta*.

Goniómetro: es un instrumento de medición con forma de semicírculo o círculo graduado en grados utilizado para medir o construir ángulos.

Granítico: adj. Se aplica a las rocas y macizos que presentan las características de un granito y al magma fundamental que les ha dado origen.

Granitoide: término que designa al conjunto de los granitos.

Granitos: tipo de rocas magmáticas plutónicas granudas (que muestran asociación de cristales, todos ellos detectables a simple vista).

Granulita: roca metamórfica con cuarzo y feldespatos dominantes.

Gravedad específica: es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua

Gravimetría: es un método analítico cuantitativo, es decir que determina la cantidad de sustancia, midiendo el peso de la misma (por acción de la gravedad).

Hábito: forma que toma una sustancia, un cuerpo o un objeto, especialmente en forma cristalina.

Hidrografía: es una rama de la Geografía que se ocupa de la descripción y estudio sistemático de los diferentes cuerpos de agua planetarios, en especial, de las aguas continentales.

Holocristalino: Todos los componentes que construyen la roca son cristales, por ejemplo granito, diorita y otras rocas plutónicas.

Hidrotermal: relativo o perteneciente a aguas o fluidos acuosos con temperaturas superiores a la media ambiental.

Índice de refracción: es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula. Se simboliza con la letra n y se trata de un valor adimensional.

Inequigranular: los componentes que construyen la roca son de diferente tamaño de grano.

Ley: contenido promedio de un determinado elemento químico en un yacimiento mineral, o en parte del mismo.

Litológico: relativo a la naturaleza de las rocas.

Lutita: roca sedimentaria detrítica cuyos componentes tienen un diámetro inferior a 1/16mm (62.5 μ m).

Macla: (del latín *macula*, mancha, malla, o del germánico *maskila*, malla) Asociación de cristales de la misma naturaleza según leyes geométricas precisas ligadas a los elementos de simetría del sistema cristalino considerado.

Malla: es un colador o tamiz, se designan por un número; que es el número de alambres o aberturas que tiene el tamiz en una pulgada lineal.

Marga: roca sedimentaria de grano fino formada por una mezcla de caliza y arcilla (del 35 al 65%) que constituyen la transición entre las calizas arcillosas (calizas margosas. Del 5 al 35% de arcilla) y las arcillas calcáreas.

Mármol: roca metamórfica que deriva de calizas o de dolomías por metamorfismo de contacto o regional.

Marmorizar: transformar en mármol.

Mena o mineralización: Asociación mineral que tiene sustancias útiles en una proporción y en cantidad suficientes para ser objeto de explotación. Términos que excluyen los materiales de construcción y combustibles, y que suelen extenderse a asociaciones minerales sin potencial económico o de potencial desconocido. El término *mena* es de origen occitano (provenzal) y significa *mina*.

Metamorfismo: alteración de una roca en estado sólido debida a la elevación de temperatura y/o de presión, con cristalización de nuevos minerales.

Mineral Industrial: Sustancia mineral que tiene un valor económico, con excepción de los minerales que se extraen metales gemas y combustibles fósiles.

Monoclínico: es uno de los posibles sistemas cristalinos. En él hay ángulos iguales entre sí y dos ejes que forman entre sí 90° y hace que en esta red aparezcan ejes binarios y planos de simetría.

Muestra: Porción de mineral, roca, suelo, fluido, etc., extraída para estudiar su composición, propiedades, contenido fósil, minerales, etcétera.

Orogenia: proceso que conduce a la formación de relieves.

Ortogneis: gneis derivado de rocas magmáticas.

Paragneis: gneis derivado de rocas sedimentarias.

Pelágico, a: (del griego *pelagos*, alta mar). Se dice de los animales o vegetales marinos que no viven sobre el fondo marino, si no que nadan o flotan (formando

respectivamente el necton y el plancton). Se aplica también a las rocas sedimentarias que no contienen más que faunas (micro o macro) pelágicas, cuyos elementos son de origen químico y biológico, o bien detríticos pero muy finos.

Periodo: División geocronológica utilizada en estratigrafía. (de semisintegración), para un elemento radioactivo, lapso de tiempo durante el cual pierde la mitad de su masa.

Petrografía: rama de la geología que trata de la descripción y la clasificación de las rocas.

Petrología: rama de la geología que estudia el origen, la formación y la evolución temporal de las rocas.

Piroxenoide: (de piroxeno y del griego *eidos*, aspecto), inosilicato del sistema triclinico que constituye una familia cuyos principales minerales son: wollastonita y rodonita.

Plasma: es un sistema que contiene un número significativo de partículas cargadas (iones) libres y cuya dinámica presenta efectos colectivos dominados por las interacciones electromagnéticas de largo alcance entre las mismas. Con frecuencia se habla del plasma como un estado de agregación de la materia con características propias, diferenciándolo de este modo del estado gaseoso, en el que no existen efectos colectivos importantes.

Plegamiento: fase de deformación que se traduce especialmente por pliegues.

Poiquilitica: Textura caracterizada por presentar cristales de gran tamaño que contiene numerosos cristallitos de otro mineral.

Polímeros: polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Polimíctico: tipo de conglomerado o brecha constituido por clastos provenientes de diferentes tipos de roca, cementados por una matriz fina.

Polimorfismo: capacidad de un material sólido de existir en más de una forma o estructura cristalina. Por ejemplo, el diamante y el grafito son polimorfos del carbono. Cuando esta propiedad se da en compuestos formados por un único elemento se denomina también alotropía.

Pórfido: roca ígnea extrusiva que presenta una textura constituida por *fenocristales* (cristales grandes) dispersos en una matriz de grano fino o de vidrio. Se denominan *pórfidos cupríferos, pórfidos auríferos, pórfidos molibdeníferos, pórfidos estanníferos*, etc., los pórfidos graníticos calcialcalinos que presentan mineralizaciones asociadas en cobre, oro, molibdeno, estaño y otros metales que constituyen una tipología denominada aquí *depósitos metalíferos en pórfidos*.

Protolito: roca que por erosión mecánica, dio origen a los componentes detríticos de un sedimento.

Refractariedad: propiedad de los materiales de resistir los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones.]

Reservas: Cantidad de una sustancia todavía no aprovechada en un yacimiento mineral, cuya explotación sería viable tecnológica y económicamente. Según su grado de incertidumbre, de menor a mayor se distinguen las *reservas medidas* y las *reservas inferidas*, la suma de las cuales serían las *reservas probables*.

Resistencia térmica: la resistencia que un material ofrece al paso del calor.

Rocas ígneas félsicas: aquellas donde predominan los minerales de feldespato potásico y cuarzo. Son de color claro.

Rocas ígneas máficas: contienen feldespato cálcico y bajo contenido en sílice. Tienen un alto porcentaje de minerales ferromagnesianos, por lo que son normalmente más oscuras y densas que otras rocas ígneas que se encuentran en la superficie de la Tierra.

Rocas ígneas: se forman cuando la roca derretida se enfría y se solidifica.

Rocas metamórficas: formadas sin fusión a partir de rocas preexistentes, esencialmente debidas a un aumento de temperatura y presión.

Sinterización: Es un proceso industrial de conformación de los metales en el que, primero se reducen a un polvo muy fino que después se comprime en moldes adecuados a presión y temperatura controladas. Se aplica principalmente para piezas difíciles de moldear por fundición, o difíciles de forjar o mecanizar. Tiene limitaciones como las dimensiones de las piezas, que tienen que ser pequeñas; o su forma, pues debe ser sencilla para que la compresión sea más fácil. Su ventaja

es que permite controlar muy bien el proceso previo a la fusión y, por tanto, la calidad y el peso de la pieza, aunque el proceso es más largo que la fundición convencional, y el utillaje a utilizar resulta más caro.

Sinterizado: aglomeración de partículas muy finas, mediante prensado y calentamiento durante cierto tiempo por debajo de la temperatura de fusión del componente principal. El proceso está basado en la difusión.

Solución o fluido hidrotermal: circulación de agua caliente (100 a 400° C) ligada a erupciones volcánicas o a la cristalización de un magma.

Trampas estratigráficas: Son aquellas constituidas por la deformación de los estratos del subsuelo, causada por fallas (fracturas con desplazamiento) y plegamientos. Son aquellas originadas por cambios laterales y verticales en la porosidad de la roca. Se forman generalmente cuando a desaparecido la continuidad de una roca porosa.

Triclínico: es uno de los posibles sistemas cristalinos Hay tres ejes cristalográficos, ninguno de ellos a 90° entre sí: alfa es desigual de beta es desigual de gama es desigual de 90° .Los parámetros son desiguales.

Volumetría: es una técnica de análisis químico cuantitativo. Se basa en la medida del volumen de una disolución de concentración conocida necesario para reaccionar completamente con el compuesto a determinar (analito).

Vulcanosedimentario: se dice de secuencias compuestas en parte de material volcánico y en parte de sedimentos lacustres o marinos.

Yacimiento mineral: Concentración natural de una o varias sustancias minerales útiles, que es objeto de explotación minera o es susceptible de ser explotado produciendo un beneficio económico.

Zona de Subducción: zona en la que se produce hundimiento en gran escala de una placa oceánica por debajo de otra placa, que puede ser oceánica o continental. En relación con dicha zona se origina una fosa oceánica a lo largo del límite entre las dos placas y un *arco magmático* sobre la placa superior.

11 BIBLIOGRAFÍA

- ④ “Bound for success, silane-treated fillers for plastics” Industrial Minerals, October 2004 p. 54-59.
- ④ “Decreto Parque Nacional Los Mármoles”. 8 de septiembre de 1936.
- ④ “Determinación de elementos trazas en soluciones por ICP-MS y/o absorción atómica: aluminio, arsénico, bario, berilio, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, fierro, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, potasio, selenio, sodio, talio, torio, uranio, vanadio y zinc”. determinación de elementos trazas en soluciones por ICP-MS y/o AA. CÓDIGO: PQACP68, Centro Experimental Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano.
- ④ “Determinación de metales trazas: As, Sb, Bi, Bo, Cd, Cu, Co, Sn, Fe, P, Au, Pd, Ag, Pt, Pb, Mo, Tierras Raras, W, V, Zn y Zr. Método del Espectrofotómetro de Plasma Masas (ICP-MS)”. Determinación de Metales Trazas por ICP-MS. CÓDIGO: PQACP67, Centro Experimental Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano.
- ④ “Frits and glazes” Industrial Minerals, October 2004 p. 94.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, April 2003 p. 98 y 99.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, April 2004 p. 114 y 115.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, April 2005 p. 80 y 81.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, April 2006.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, August 2004 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, August 2005 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, December 2003 p. 74 y 75.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, December 2004 p. 72 y 73.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, December 2005 p. 70 y 71.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, February 2003 p. 74 y 75.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, February 2004 p. 72 y 73.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, February 2005 p. 84 y 85.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, January 2003 p. 66 y 67.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, January 2004 p. 68 y 69.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, January 2005 p. 72 y 73.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, July 2003 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, July 2004 p. 64 y 65.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, July 2005 p. 66 y 67.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, June 2003 p. 70 y 71.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, June 2004 p. 94 y 95.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, June 2005 p. 104 y 105.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, March 2003 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, March 2004 p. 80 y 81.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, March 2005 p. 72 y 73.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, May 2003 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, May 2004 p. 90 y 91.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, May 2005 p. 80 y 81.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, November 2003 p. 82 y 83.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, November 2004 p. 80 y 81.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, November 2005 p. 92 y 93.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, October 2003 p. 96 y 97.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, October 2004 p. 86 y 87.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, October 2005 p. 70 y 71.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, September 2003 p. 98 y 99.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, September 2004 p. 78 y 79.
- ④ “Industrial minerals prices” Industrial Minerals, September 2005 p. 88 y 89.
- ④ “Instructions Jeol JMS-63000 Scanning Microscope” Jeol Ltd. Tokio Japan.

- ④ “IV Curso teórico práctico de ICP-MS” Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Departamento de Posgrado y Especialización, Instituto de Ciencias de la Tierra *Jaime Almera*, Universitat de Barcelona, 1997.
- ④ “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 7 de enero de 2000.
- ④ “Loading up in Liaoning, mineral exporters are set to benefit from further investment in China’s north-east gateway port” Industrial Minerals, June 2003 p. 57-59.

- ④ “Materiales geológicos y productos metalúrgicos. Determinación de fases elementales, asociaciones mineralógicas y relaciones microtexturales. Estudio de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con Espectrómetro de longitud de onda de rayos X (WDS) “CÓDIGO: PCMCP58, Centro Experimental Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano.

- ④ “Materiales geológicos y productos metalúrgicos. Identificación cualitativa de especies minerales cristalinas. Método de polvos. Difracción de rayos X (Siemens)”. Proceso de caracterización de materiales. CÓDIGO: PCMCP52, Centro Experimental Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ “Norma técnica ecológica estatal NTEE-COEDE-00 /2000, que establece los criterios y lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos” Consejo Estatal de Ecología, Gobierno del Estado de Hidalgo.

- ④ “Normatividad ambiental en la Industria Minera”. Ambides Consultaría Ambiental; Fideicomiso de Fomento Minero, 2005.

- ④ “Plastic fantastic, filled up with minerals” Industrial Minerals, November 2003 p. 58-63.

- ④ “Profiling new and undeveloped industrial mineral deposits worldwide, Kuovila calcite - wollastonite” Industrial Minerals, April 2003 p. 103.

- ④ “S&B and Quarzwerke in Chinese wollastonite venture” Industrial Minerals, December 2005 p. 12.

- ④ “Manual de técnicas básicas de explotación de agregados pétreos” Dirección General de Minería, Secretaria de Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Hidalgo; Asociación de Ingenieros de Minas, metalurgistas y Geólogos de México A. C., Distrito Pachuca, Junio 2002.

- ④ “Wollastonite in China” Mineral Price Watch, October 2005, p. 8 – 11.

- ④ **Almanza, V. E.**, 1956. “Cuenca carbonífera de Zacualtipán, Estado de Hidalgo”. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales. Boletín 35, p. 1 – 25.

- ④ **Bowes, D. R.**, 1989. “The encyclopedia of Igneous and metamorphic petrology”, Department of Geology, University Glasgow, p. 439 – 447.

- ④ **Buitrón, B. E.**, Patiño – Ruíz, J. y Moreno – Cano, A. 1987. “Crinoides del paleozoico tardío (Pensilvánico) de Canalí, Hidalgo”. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, v. 1, n. 1 p. 125 – 126.

- ④ **Burckhardt, C.** 1930. “Etudes syntétiques sur le Mesozoique mexicain”. Memoir Societé Paleontologique Siusse. v. 49-50. p. 1-280.

- ④ **Brooks H. R.**, 1995, “The hydrodynamics of contact metamorphism”, Geological Society of America Bulletin, p 595-611.

- ④ **Canet, M. C.**, Caprubi i C.A., 2006. “Yacimientos minerales: los tesoros de la tierra” Fondo de cultura económica, p.187 – 224.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Cantagrel, J. M.** y Robin, C., 1979. “K – Ar dating of eastern mexican volcanic rocks relation between the andesitic and alkaline province” J. Volc. Geoth. Res., v. 5 p. 99 -114.
- ④ **Carranza – Castañeda, O.**, 1991. “Faunas de vertebrados fósiles del Terciario tardío en la Mesa Central de México”. Memoria III. Congreso Nacional de la Sociedad Nacional de Paleontología, p. 20 – 26.
- ④ **Carranza – Castañeda, O.**, 1992a. “La fauna de la Ventoquipa del Pleistoceno tardío del Estado de Hidalgo” in: Memoria de la convención sobre la evolución geológica de México, p. 22.
- ④ **Carranza – Castañeda, O.**, 1992b. “Vertebrados fósiles del Terciario tardío del Estado de Hidalgo” in: Memoria, I Convención sobre la evolución geológica de México, p. 23 – 24.
- ④ **Carranza – Castañeda, O.**, y Castillo – Cerón, J. M., 1992c. “Vertebrados fósiles del Mioceno tardío de Zietla, Hidalgo” in: Memoria XI. Convención Geológica Nacional, p. 45.
- ④ **Carranza – Castañeda, O.**, 1994. “Mastofauna del Mioceno Tardío de la cuenca carbonífera de Zacualtipán, Hidalgo, México”. Revista de Investigación PANCROMO23, Universidad autónoma del Estado de Hidalgo, v.1, n. 1, p. 40 – 49.
- ④ **Carrillo – Bravo, J.**, 1961. “Geología del Anticlinorio de Huizachal – Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 13, p. 1 – 98.
- ④ **Carrillo – Bravo, J.**, 1965. “Estudio geológico de la parte del Anticlinorio de Huayacocotla”. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 17, p. 73 – 96.
- ④ **Carrillo – Martínez, M.** y Suter, M., 1982. “Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro. Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional, 6, México D. F., Excursión a la región Zimapán y áreas circundantes, libro – guía p. 1 – 20.
- ④ **Centeno – García E.**, Ochoa Camarillo, H. y Sour – Tovar F., 1995. “Permian volcanism in eastern Mexico”. The Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 27, p. A-73.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Centeno – García E.**, y Rosales – Legarde, L., 1997. “Itinerario de la excursión al Anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo”. II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra UAEH – Instituto de Geología, UNAM, p. 41 - 43.

- ④ **Cope, E. D.**, 1885. “On Loup Fork in Mexico”. Amer. Nat., v. 19 p. 494 – 495.

- ④ **Cope, E. D.**, 1886. “Report on the coal deposit near Zacualtipan in the State of Hidalgo, Mexico”. Amer. Nat., v. 23 p. 146 -151.

- ④ **Córdoba – Méndez, D. A.**, Roche – Carrascosa, L. y Bertrand – Camargo, C., 1991. “Bibliografía geológica preeliminar del Estado de Hidalgo”. Instituto de Geología, UNAM., Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UAEH, p. 42 (inédita).

- ④ **Córdoba – Méndez, D. A.**, 1992. “Carta geológica del Estado de Hidalgo, escala 1:250000”. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UAEH, p. 134.

- ④ **Einaudi M. T**, y Burt D. M., 1982, “A special issue devoted to Skarn Deposits”. Economic Geology and bulletin of the society of economic geologists, v. 77, p 745-754.

- ④ **Emerson R. J.**, 2006. “Additional Reading: Health Overview. Understanding the Health Effects of Wollastonite” Nyco.

- ④ **Fattah H.** 1994. “Wollastonite, new aspects promise growth” Industrial Minerals, November 1994 p. 21-43.

- ④ **Ferrusquía – Villafranca, I.**, 1978. “Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of Migration between North and South America”. Boletín del Instituto de Geología, UNAM, n. 101 p. 193 – 329.

- ④ **Fries, C., Jr.** y Rincón – Orta, C., 1965. “El basamento metamórfico en el noreste del Estado de Hidalgo”. Instituto de Geología, Boletín, UNAM, v. 73, p. 67 - 70.

- ④ **Flores-Castro K.**, 2001. ”Geoquímica y petrología de los granitoides de la región noroccidental del estado de Hidalgo, México” Universitat de Barcelona, Tesis doctoral.

- ④ **Foucault, A.**, Raoult, J. F., 1986 “Diccionario de geología” Editorial Masson, primera reimpresión.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Galicia -Fernández J.**, 1973. “Informe anual de actividades desarrolladas durante 1972, en el proyecto zona mineralizada Maconí-Zimapán-Pachuca”. Servicio Geológico Mexicano.
- ④ **Gaytán – Rueda, J. E.**, 1975. “Exploration and development at La Negra Mine, Maconí, Querétaro, México”. University of Arizona, Tucson, p. 98 (inédita).
- ④ **González – Caver, E. L.**, y Jaimes – Martínez, L. M., 1986. “Modelo metalotectónico de la mineralización de tungsteno del skarn de plomo zinc de Zimapán, Hidalgo, en base a los estudios isotópicos Rb/Sr, C y O. Facultad de Ingeniería, UNAM., tesis profesional, p. 82 (inédita).
- ④ **Hurlbut, S. C., Jr.**, 1978 “Manual de mineralogía de Dana” Segunda edición, editorial Reverte S. A.
- ④ **Imlay, R.W.**, Cepeda, E., Álvarez, M. and Díaz, T. 1948. “Stratigraphic relation of certain Jurassic formations in eastern Mexico”. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. v. 32. p. 1750 – 1761.
- ④ **Jiménez-López L. S.**, Ago. 1963 “Reconocimiento geológico preeliminar de los yacimientos de wollastonita, en la zona de Guanajuatillo, municipio de La Blanca, Estado de Zacatecas” Departamento de Exploraciones, Zona Norte del Consejo de Recursos Naturales no Renovables.
- ④ **Kuegelgen, H. V.**, 1958. “Der Aufbau der zentralen Sierra Madre Oriental, Mexico”. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft V. 110, p. 117 - 142.
- ④ **Maxim L. D.**, McConnell E. E., 2005. “A Review of the Toxicology and Epidemiology of Wollastonite” Inhalation Toxicology. V. 17, p. 451-466.
- ④ **Mazzucato E.**, Gualtieri A. F., 2000. “Wollastonite polytypes in the CaO-SiO₂ system, Part I Crystallisation kinetics” Physics and chemistry of minerals V. 27, n. 8, p. 564-574.
- ④ **MMAJ – JICA.**, 1982. “Report of Geological Survey of the Pachuca – Zimapán area central Mexico”, phase III. Metal Mining Agency Japan – Japan International Cooperation Agency, Government of Japan.
- ④ **Moore P.**, 2003 “Changing tracks, a switch in demand from commodity to high value wollastonite grades has prompted producers to target new markets” Industrial Minerals, September 2003 p. 69-73.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Moore P.**, 2004 “Chrysotile in crisis, the addition of chrysotile to a UN chemicals blacklist in 2004 would be another nail in the coffin for chrysotile trade” *Industrial Minerals*, April 2004 p. 56-61.
- ④ **Moore P.**, 2003 “Nyco stays put with creation of Fund” *Industrial Minerals*, September 2003 p. 69-73.
- ④ **Nyco**, 2006a. “Additional Reading: Chemical Properties. Understanding the Health Effects of Wollastonite” Nyco.
- ④ **Nyco**, 2006b. “Additional Reading: Physical Properties” Nyco.
- ④ **Nyco**, 2006c. “¡Mejorando sus buenos productos! Wollastonita de calidad superior” Nyco.
- ④ **Ochoa – Camarillo, H.**, 1996. “Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo, México”. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestro en Ciencias, p. 91.
- ④ **Ochoa – Camarillo, H.**, 1997. “Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo, México. Guía de las excursiones geológicas”. II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra UAEH – Instituto de Geología, UNAM, p. 1 – 17.
- ④ **Patchett, P. J.**, y Ruíz, J., 1987. “Nd isotopic ages of crust formation and metamorphism in the Precambrian of eastern Mexico”. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v.96 p. 523 – 52.
- ④ **Patiño Ruíz, J. Moreno – Cano, A.**, 1981. “Estudio del Paleozoico en la región de Canalí, Hidalgo”. (En la Sierra Madre Oriental) Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN, tesis profesional p. 59.
- ④ **Restovic – Pérez, I. V.**, 1973. “Estudio geológico minero del área La Encarnación, Municipio de Zimapán, Estado de Hidalgo. Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis profesional (inédita).
- ④ **Reyes – Domínguez, E.**, 1961. “Identificación de los sedimentos paleozoicos en el Estado de Hidalgo, México”. Memoria de la Convención Nacional de Ingenieros y Técnicos en Exploración y Explotación de Petróleo, p. 49.
- ④ **Rollinson H. R.**, 1993. “Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation” Ed. Longman p. 15-16.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Salvador, A.**, 1991. "Triassic – Jurassic, in Salvador, Amos, ed., The Gulf of Mexico Basin; a preliminary report". Geological society of America, The Geology of Norton America, v. J., p. 131 – 180.
- ④ **Schmidt-Effing, R.**, 1980. "The Huayacocotla Aulacogen in Mexico (Lower Jurassic) and the origin of the Gulf of Mexico, in: Pilger, R.H., Ed., The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the central North Atlantic Ocean". Baton Rouge, Louisiana, Louisiana State University, Symposium proceedings. p. 79 – 86.
- ④ **Segerström, K.**, 1961a. "Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y Noroeste del Estado de México". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros". v. 13 p. 147 – 168.
- ④ **Segerström, K.**, 1961b. "Geology of the Bernal – Jalpan area, Estado de Querétaro, Mexico". US Geological Survey Bulletin 1104-B, p. 19 – 85.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Principales centros mineros productores de minerales No metálicos" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo VII, p. 21.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Sonora, volumen de la producción minera 2000-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo II, p. 32.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Volumen y valor de producción minero-metalúrgica por productos metálicos y no metálicos, 2003-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo II, p. 2.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Wollastonita, cotizaciones internacionales por presentación y origen 2003-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo V, p. 269.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Wollastonita, producción en volumen y valor por prestación, 2003-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo V, p. 269.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Wollastonita, producción en volumen y valor por entidad federativa y municipio, 2003-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, p. 269.
- ④ **Servicio Geológico Mexicano**, 2004. "Wollastonita, volumen de la producción por entidad federativa 2000-2004" Anuario Estadístico de la Minería Mexicana edición 2004, Capítulo II, p. 85.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **Servicio Geológico Mexicano.** Agosto. 2005 “Panorama minero del Estado de Sonora” Oficina Regional Hermosillo del Servicio Geológico Mexicano. p. 5 -30.
- ④ **Silva – Pineda, A.,** 1963. “Plantas del Triásico superior del Estado de Hidalgo”. Boletín Paleontología Mexicana. Instituto de Geología, UNAM, v. 18 p. 12, lámina 7.
- ④ **Silva – Pineda, A.,** 1981. “Asterotheca y plantas asociadas a la Formación Huizachal (Triásico superior) del Estado de Hidalgo”. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Instituto de Geología de la UNAM, v. 5 n. 1, p. 47 – 54.
- ④ **Simons, F. S.,** y Mapes – Vázquez, E., 1957. “Geología y yacimientos minerales del Distrito Zimapán, Hidalgo”. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales. Boletín 40, p. 270.
- ④ **Soler A.,** Cardellach E. y Ayora C., 1991, “Modelación de la interacción fluido-roca: datos de isótopos estables de C y O en carbonatos de los Skarns de la Cerdanya (Pirineo Central)”. Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía, v. 14, p 285-301.
- ④ **Soler A. et all,** 1997, “Evolución de los fluidos metamórficos asociados a la formación de las mineralizaciones auríferas en el Hercínico de los Pirineos”. Boletín Geológico y Minero, v. 108-2, p 31-45.
- ④ **Solís Vorrath J.,** Abr. 1967a. “Reconocimiento preeliminar de los yacimientos de wollastonita ubicados en los Cerros de La Campana y La Leona, municipio La Blanca, Zacatecas”. Departamento de Exploraciones, Zona Norte del Consejo de Recursos Naturales no Renovables.
- ④ **Solís Vorrath J.,** Jul. 1967b. “Estudio geológico preeliminar de los yacimientos de wollastonita que ocurren en la zona de San José de Reyes, municipio de Simón Bolívar, Durango”. Departamento de Exploraciones, Zona Norte del Consejo de Recursos Naturales no Renovables.
- ④ **Streckeisen, A. L.,** 1976. “To each plutonic rock its proper name” Herat Planet, Sci. Lett 36, p.359 -362.
- ④ **Suter, M.,** 1980. “Tectonics of the external part of the Sierra Madre Oriental foreland thrust – and – fold belt between Xilitla and the Moctezuma river (Hidalgo and Querétaro states)”. Revista del Instituto de Geología, UNAM, v. 4, p. 19 – 31.
- ④ **Suter, M.,** 1982a. “Itinerario, Zimapán – Jiliapan”. Memoria de la Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana, n. 6, México D. F. Libro de

BIBLIOGRAFÍA

excursión Geológica a la región Zimapán y áreas circundantes, Estados de Hidalgo y Querétaro, p. 43 -51.

- ④ **Suter, M.**, 1982b. "Itinerario, Puerto La Estancia - Jagüey Colorado - Zimapán". Memoria de la Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana, n. 6, México D. F. Libro de excursión Geológica a la región Zimapán y áreas circundantes, Estados de Hidalgo y Querétaro, p. 43 -51.
- ④ **Taylor L.**, 2005. "Indian minerals, filled with promise" Industrial Minerals, December 2005 p. 28-39.
- ④ **Vanderbilt**, 2006a. "30% filled nylon: a comparison of wollastonite and industrial talc" Vanderbilt technical data.
- ④ **Vanderbilt**, 2006b. "40% wollastonite in polypropylene" Vanderbilt technical data.
- ④ **Vanderbilt**, 2006c. "40% wollastonite in nylon" Vanderbilt technical data.
- ④ **Virta R. L.**, 1973 "Wollastonite" U.S. Geological Survey Publication: Pigments and fillers, p 820.
- ④ **Vaquero Velásquez J. T.**, Oct. 2002 "Visita técnica al lote minero Blanquita 3, concesionado al Sr. Juan Eduardo Gosch Patiño, ubicado en Villa Juárez, municipio de Hgo". Fideicomiso de Fomento Minero (FIFOMI).
- ④ **W. Harben P.**, 2002. "Wollastonite" The industrial Minerals HandyBook, 4th edition, p. 370-371.
- ④ **Willson B. W.**, Hernández, J. P. y Meave, T. E., 1955. "Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 18, p. 1 - 10.

Anexo A

Clasificación de los depósitos de skarn

La clasificación de los skarns se realiza con base con respecto al metal económico dominante (en base a Einaudi y. Burt, 1982). Existen cinco tipos principales que son: hierro, tungsteno, cobre, plomo - zinc y el de estaño - tungsteno.

Skarn de Hierro

Los skarn de hierro son producto de la intrusión diorítica, de troncos o diques de gabro o sienita y en ocasiones de diabasa. En el endoskarn están presentes la epidota y los piroxenos; dirigiéndonos en la interfase del endoskarn y el exoskarn localizamos ferrosilita, granate, epidota, magnetita, ilvaita, anfíbol, y clorita. El exoskarn esta compuesto por magnetita en su mayoría; calcopirita, cobaltita y pirrotita; los metales asociados en estos skarn además del Fe son de Cu, Ca, y Au.

Skarn de Tungsteno

El tungsteno es el metal predominante, acompañado de Mo, Cu, y en menor cantidad Zn y Bi, formándose en el cuerpo schelita, molibdenita, calcopirita, esfalerita, pirrotita, magnetita, piritita y bismuto nativo. La morfología de los plutones es generalmente amplia y extensa, como los batolitos de cuarzodiorita o cuarzomonzonita; raras veces alaskita. Minerales como el piroxeno y la plagioclasa-muscovita-sulfuro, predominan en el endoskarn. Los primeros minerales en la aureola son ferrosilita - hedenbergita, granate, idocrasa y wollastonita. Posteriormente, espesartita, almandino, grosularita, idocrasa, hornbrenda, plagioclasa. Minerales con concentración elevada en Al, Fe, y bajos en S se presentan en el exoskarn.

Skarn de Cobre

Siendo este nuestro objeto de estudio podemos decir que se forma en pequeños troncos y diques de Granodiorita o cuarzomonsonita, con epidota, piroxeno y granate; los metales asociados son el Mo, Zn, W y con gran presencia el Cu, ocurriendo en minerales como calcopirita, pirita, hematita, magnetita y arsenopirita, el exoskarn exhibe mineralización alta en Fe, S, y baja en Al y Mn. En la aureola se forman los primeros minerales: andradita, diópsido y wollastonita, siendo los últimos minerales: actinolita (clorita y montmorillonita).

Skarn de Plomo-Zinc

Los troncos y diques granodioríticos, graníticos y dioríticos, aportan las condiciones adecuadas para formar con metales (Zn, Pb, Ag Cu y W); minerales como la esfalerita, galena, pirrotita, pirita, magnetita, calcopirita y arsenopirita, que se acompañan paragenéticamente con no metálicos como: epidota, piroxeno y granate y otros productos de la alteración argílica y propilítica que son menos abundantes. En la zona de la aureola de contacto, se ubican los minerales como: hedenbergita magnésica, granate andradítico, bustamita, rhodonita (como primeros minerales), y los últimos son actinolita, clorita, rodocrosita, entre otros. En el exoskarn encontramos minerales con concentración elevada en Fe, Mn, S y bajos en Al.

Skarn de Estaño - Tungsteno

Los troncos y batolitos graníticos dan origen a este depósito; la casiterita schelita, esfalerita, pirrotita, pirita y arsenopirita presentes en el cuerpo dan pie a concluir que los metales asociados son Sn, F, W, Be y Zn. En la porción central del depósito encontramos idocrasa, espesartita, almandino; rico en Sn, andradita,

ANEXO A

malayaita, burita, datolita, anfíbol, mica, clorita, turmalina y fluorita. En el exterior del skarn se confinan minerales Alto en Al, F y bajo en Fe, S.

Tabla 1A Clasificación de los depósitos de Skarn en base al metal económico dominante

Metal económico dominante	Hierro	Tungsteno	Cobre	Plomo-Zinc	Estaño-Tungsteno
Grado típico	40 % Fe	0.7 % W ₂ O ₃	1-2 % Cu	9 % Zn, 6 % Pb, 5 oz/ton Ag	0.1-0.7 % Sn
Metales asociados	Fe, (Cu, Ca, Au)	W, Mo, Cu, (Zn, Bi)	Cu (Mo, Zn, W)	Zn, Pb, Ag (Cu, W)	Sn, F, W, (Be, Zn)
Roca ígnea asociada	Gabro o sienita en su mayor parte diorita, algunos con diabasa	Quarzodiorita o cuarzo monzonita, raras veces alaskita	Granodiorita o cuarzo monzonita	Granodiorita o granito, diorita o sienita	Granito
Morfología plutónica	Grandes o pequeños en troncos y diques	Plutones largos y batolitos	Pequeños troncos, diques	Troncos y diques	Troncos y batolitos
Endoskam (alteración exígneas)	Extensos en plutones volcánicos epidota-piroxeno	piroxeno y plagioclasa-muscovita-sulfuro	Epidota-piroxeno-granate	Epidota-piroxeno-granate	Muy raros
Otros	Amplios en silicatos de Na	Quarzo-biotita-muscovita-sulfuro	Pueden ser muy amplios	Argílicos y propílicos	Greisen amplio
Exoskam	Alto en Fe y bajo en Sn y Mn	Alto en Al, Fe, y bajo en S	Alto en Fe, S, y bajo en Al y Mn	Alto en Fe, Mn, S y bajo en Al	Alto en Al, F y bajo en Fe, S
Primeros minerales	Ferrosalita, grandita, epidota, magnetita	Ferrosalita-hedenbergita, grandita, idocrasa, wollastonita	Andradita, diópsido, wollastonita	Hedenbergita, granate andradítico, bustamita, rodonita	Idocrasa, espesartina, Granodiorita rica, Sn, andradita, malayaita, burita, datolita
Últimos minerales	Anfíbol, clorita, ilvaíta	Espesartina, almandino, grandita, idocrasa, horbrenda, plagioclasa	Actinolita (Chorita, montmorillonita)	Actinolita(Mn), iluanita, clorita, dannemorita, rodocrosita	Anfíbol, mica, clorita, turmalina, fluorita
Minerales del cuerpo	Magnetita (calcopirita, cobaltita, pirrotita)	Schelita, molibdenita, calcopirita, (esfalerita, pirrotita, magnetita, piritita y Bi)	Calcopirita, piritita, hematita, magnetita, (calcopirita, arsenopiritita)	Esfalerita, galena, pirrotita, piritita, magnetita, (calcopirita y arsenopiritita)	Casiterita (schelita, esfalerita, pirrotita, piritita y arsenopiritita)

Anexo B

Tablas mineralógicas

Tabla 1B Mineralogía de los principales minerales de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez

Minerales esenciales del granitoide de Villa Juárez	
Mineral	Plagioclasa
Clasificación	La plagioclasa es una serie de feldespatos calcosódicos, del grupo de los feldespatos que pertenecen a la clase de los tectosilicatos.
Forma	Triclínicos, los cristales pueden ser prismáticos alargados, generalmente maclados.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> perfecta, H 6, G 2.62 en la albita y 2.76 en la anortita. Incoloro, blanco, gris con menos frecuencia verdoso, amarillento y rojo carne. Algunas especies tienen colores característicos. <i>Brillo</i> vítreo a perlado, transparente a translucido
Composición	Varia desde albita ($\text{NaSi}_3\text{AlO}_8$), hasta anortita ($\text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$), la variación en proporciones de estos dos elementos generan una serie completa isomorfa pudiéndose convertir en oligoclasa, andesina, labradorita y bytownita.
Yacimiento	Son minerales formadores de roca, en ígneas, metamórficas y raras veces en sedimentarias.
Mineral	Feldespato potásico
Clasificación	Son una serie del grupo de los feldespatos que pertenecen a la clase de los tectosilicatos.
Forma	Monoclínico en el caso de la ortosa y triclínico en la microclina, frecuentemente maclados
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> buena, frecuentemente exfoliación prismática imperfecta, H de 6 y G de 2.57 para la ortosa y de 2.57 – 2.57 en la microclina. <i>Brillo</i> vítreo. Incoloro, blanco, gris, amarillo pálido, rara vez verde o rojo., Traslúcido a transparente.
Composición	Lo componen la microclina (KAlSi_3O_8), se le conoce también con el nombre de amazonita y la ortosa (KAlSi_3O_8)
Yacimiento	La ortosa y la microclina, aun que la ortosa es muy común, formándose durante la cristalización de las rocas ígneas y por la acción hidrotermal en vetas de pegmatitas y en drusas en las rocas. Por cristalización a partir de soluciones acuosas a bajas temperaturas en vetas. Minerales formadores de roca, especialmente en granitos, sienitas, sienitas nefelínicas; en las rocas sedimentarias, en la arcosa y en ciertas areniscas y conglomerados; en las rocas metamórficas y en gneis.
Mineral	Anfíbol (Horblenda)
Clasificación	El grupo de los anfíboles forman parte de la clase de inosilicatos, el anfíbol más común es la horblenda.
Forma	Monoclínico, los cristales prismáticos. Puede ser columnar o fibroso, de grano basto a fino.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> prismática perfecta, H 5 - 6. G 3.0 - 3.4. <i>Brillo</i> vítreo; la variedad fibrosa es frecuentemente sedosa. <i>Color</i> , varias tonalidades de verdoso oscuro a negruzco. Traslúcido.

ANEXO B

Composición	La horblenda es en realidad una serie isomorfa compleja cuya composición varia en las relaciones de Ca: Na, Mg, Fe ² , Al: Fe ³ , Al: Si y OH: F. Una <i>fórmula</i> general correspondiente a la horblenda es (AlSi) ₈ O ₂₂ Ca ₂ Na(Mg,Fe ²) ₄ (Al, Fe ³ ,Ti)(OH) ₂ . La presencia de aluminio es la principal diferencia química existe entre este mineral y la tremolita.
Yacimiento	La horblenda es un mineral formador de rocas, aparece en las ígneas y metamórficas, es particularmente característico de las rocas metamórficas de grado medio. Se altera a piroxeno tanto durante el periodo final magmático de cristalización de las rocas ígneas, como durante el metamorfismo. La horblenda es el principal constituyente de una roca la anfíbolita.
Mineral	Biotita
Clasificación	Pertenece al grupo de las micas, que a su vez conforman la clase de los filosilicatos.
Forma	Monoclínico, a veces en cristales prismáticos cortos o tabulares con gran desarrollo basal y apariencia pseudo-hexagonal. Generalmente en masas de <i>exfoliación</i> irregular; a menudo en escamas diseminadas o en agregados escamosos.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> basal perfecta. Hojas flexibles y elásticas. H 2 ½ - 3. G 2.8 – 3.2. <i>Brillo</i> reluciente. El <i>Color</i> es generalmente verde oscuro, pardo a negro; raras veces amarillo claro. Las hojas delgadas generalmente tienen un color ahumado (diferenciándose de la moscovita, que es casi incolora).
Composición	Con <i>formula</i> (AlSiO ₃ O ₁₀)K(Mg, Fe) ₃ (OH) ₂ . La composición es similar a la de la flogopita pero con una considerable sustitución de Mg por el Fe ² . También el Mg es sustituido por Fe ³ y Al, el Si por Al. Además el Na, Ca, Ba, Rb y Cs pueden sustituir al K.
Yacimiento	La biotita es un importante mineral petrográfico muy corriente, en las rocas ígneas aparece en el granito y la sienita. Algunas veces en vetas de pegmatitas formando grandes hojas. También en lavas félsicas y pórfidos. Menos común en las rocas ferromagnesianas. Presente en ciertos gneis y esquistos, asociada a la moscovita.

Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Tabla 2B Mineralogía de los minerales accesorio de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez

Minerales accesorios del granitoide de Villa Juárez	
Mineral	Magnetita
Clasificación	Pertenece al grupo de las espinelas, de la clase de los óxidos.
Forma	Isométrico; generalmente en cristales de hábito octaédrico, en algunos casos maclado. Más raro en dodecaedro, este puede estar estriado. Las otras formas son raras. Normalmente, macizo, granular o en grano fino.
Propiedades físicas	Partición octaédrica en algunos ejemplares. H 6. G 5.18. <i>Brillo</i> metálico. <i>Color</i> negro de hierro. <i>Raya</i> negra. Fuertemente magnético; puede actuar como imán natural. Opaco
Composición	Fe 72.4%; O 27.6%. Con fórmula Fe ₃ O ₄ .
Yacimiento	La magnetita es una □ño□ corriente de hierro. Se halla diseminada como mineral accesorio en muchas rocas ígneas. En ciertos tipos de segregación magnética es uno de los principales constituyentes de la roca y forma así grandes masas de mineral. Dichas masas son generalmente muy titaníferas. Corrientemente asociado a rocas metamórficas cristalinas y en rocas ricas en minerales ferromagnesianos, tales como dioritas, gabros, peridotitos. Aparece también en inmensas capas y lentejones en rocas metamórficas antiguas. Se encuentra en las arenas negras de las playas. También como hojas finas y dendríticas entre hojas de mica. A menudo asociado con Corindón.
Mineral	Ilmenita
Clasificación	Pertenece al grupo de las hematinas, de la clase de óxidos.
Forma	Hexagonal. Cristales comúnmente tabulares, delgados. Los cristales se parecen al oligisto. Frecuentemente en placas delgadas. Normalmente macizo, compacto; también en granos o en arenas.
Propiedades físicas	H 5 ½ - 6. G 4.7. <i>Brillo</i> metálico a submetálico. <i>Color</i> negro de hierro. <i>Raya</i> negra a rojo castaño. Puede ser magnético sin calentarlo. Opaco.
Composición	<i>Formula</i> FeTiO ₃ . □ño 36.8%; Ti 31.6%; O 31.6%. La relación entre titanio y hierro varía ampliamente por introducción de óxido férrico. El exceso de óxido férrico puede ser debido en gran parte a pequeñas inclusiones de oligisto. El magnesio y el manganeso pueden reemplazar al hierro.
Yacimiento	La ilmenita aparece en capas y masas lenticulares, en gneis y otras rocas metamórficas. Se halla frecuentemente en vetas o grandes masas como producto de segregación magmática. Asociada con la magnetita. También como mineral accesorio en las rocas ígneas. Uno de los constituyentes de las arenas negras, asociado con magnetita, rutilo, zircón y monacita.
Mineral	Titanita
Clasificación	Pertenece al grupo de la □ño□romita de la clase de los nesosilicatos.
Forma	Monoclínico. Cristales en forma de cuña. Puede ser en láminas o masivo.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> prismática, puede presentar fractura. H 5 – 5 ½. G 3.4 – 3.55. <i>Brillo</i> resinoso a adamantino. <i>Color</i> gris, pardo, verde, amarillo, negro. Transparente a translucido.
Composición	<i>Formula</i> CaTiOSiO ₄ . □ño 28.6%; TiO ₂ 40.08%; SiO ₂ 30.6%. Pueden presentarse cantidades pequeñas de tierras raras, Fe, Al, Mn, Mg y Zr.

ANEXO B

Yacimiento Es un mineral accesorio muy común en las rocas ígneas, hallándose en pequeños cristales en los granitos, granodioritas, dioritas, sienitas y sienitas nefelínicas. También en cristales de tamaño considerable incrustados en las rocas metamórficas, gneis, esquistos cloríticos y calizas cristalinas. Corrientemente esta asociada a la clorita, aunque también los esta con menas de hierro, piroxeno, anfíbol escapolita, zircón, apatito, feldespato y cuarzo.

Mineral **Apatito**

Clasificación Es un Fosfato y forma el grupo del apatito.

Forma Hexagonal. Comúnmente en cristales de hábito prismático largo; algunos prismáticos cortos o tabulares. Generalmente terminados en pirámide de primer orden. Ciertos cristales presentan caras de bipirámide hexagonal y pueden tener desarrollo muy complejo. También en masas granulares a compactas.

Propiedades físicas *Exfoliación* pobre. **H** 5. **G** 3.15 – 3.20. *Brillo* vítreo a céreo. *Color* a base de tonalidades verdosas o pardas; también azules, violetas o incoloras. Transparente a Traslúcido.

Composición *Formula* $Ca_5(F, Cl, OH)(PO_4)_2$. La composición es $Ca_5F(PO_4)_3$ *fluorapatito*; rara vez $Ca_5Cl(PO_4)_3$, *cloroapatito* y $Ca_5OH(PO_4)_3$ *hidroxilapatito*. El F, Cl y OH pueden sustituirse entre sí, dando origen a una serie isomorfa completa. El CO_3 puede sustituirse por PO_4 dando *carbonato apatito*. El Mg puede sustituir en parte al Ca.

Yacimiento Mineral accesorio en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Se halla en pegmatitas y vetas de origen hidrotermal. También en masas magnéticas titaníferas. Ocasionalmente se concentra en depósitos grandes o en vetas asociadas a rocas alcalinas.

Mineral **Zircón**

Clasificación Forma el grupo del zircón en la clase de los nesosilicatos.

Forma Tetragonal. Generalmente en cristales; también en granos irregulares.

Propiedades físicas *Exfoliación* débil. **H** 7 ½. **G** 4.68. *Brillo* adamantino. *Color* en varias tonalidades pardas; también incoloro, gris, verde rojo. *Raya* incolora. Generalmente Traslúcido, algunas veces transparente.

Composición *Formula* $ZrSiO_4$. La composición es ZrO_2 67.2%; SiO_2 32.38%. El zircón siempre contiene algo de hafnio, aunque la cantidad es generalmente pequeña (del 1 al 4%), en algunos análisis se ha encontrado más del 20% de HfO_2 .

Yacimiento Mineral accesorio en rocas ígneas, en granito, granodioritas, sienita, monzonita; muy común en sienita nefelínica. Es el primer silicato que cristaliza en un magma. Comúnmente en calizas cristalinas, en gneis, en gneis, etc. Frecuentemente en granos redondos en las arenas de los ríos y de las playas; muchas veces junto al oro.

Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Tabla 3B Mineralogía del mineral secundario de la cuarzomonzodiorita de Villa Juárez

Mineral secundario del granitoide de Villa Juárez	
Mineral	Epidota
Clasificación	Forma el grupo de la epidota, en la clase de los sorosilicatos
Forma	Monoclínico. Frecuentemente maclados. Granular entre fino y áspero, también fibroso; también fibroso.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> perfecta en algunos casos. H 6 – 7. G 3.35 – 3.45. <i>Brillo</i> vítreo. <i>Color</i> verde alfóncigo, amarillo verdoso a negro. Transparente a Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> (Al,Fe)Ca ₂ Al ₂ O(OH)(Si ₂ O ₇)(SiO ₄). Una solución sólida compleja que se extiende desde la clinozoisita (Al : Fe = 3 : 2) a la epidota (Al : Fe = 2 : 1).
Yacimiento	Relacionada ampliamente con la clinozoisita; se encuentran en las rocas metamórficas, producto de la alteración de minerales tales como feldespato, piroxeno, anfíboles y biotita. A menudo están asociadas con clorita. La epidota se forma con frecuencia, durante el metamorfismo de calizas impuras y es característica de los depósitos metamórficos de contacto en calizas. La epidota es un mineral muy extendido.

Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Tabla 4B Mineralogía del skarn (endoskarn) de Villa Juárez

Minerales del endoskarn de Villa Juárez	
Mineral	Granate (andradita y grosularita)
Clasificación	Forman el grupo de los granates, en la clase de los nesosilicatos.
Forma	Isométricos. Formas comunes: dodecaedros, trapezoedros, muchas veces combinados. En algunas ocasiones se observan hexaquisoctaedros. Generalmente bien cristalizados; también en granos redondos; macizo granular, grueso o fino.
Propiedades físicas	H 6 ½ - 7 ½. G 3.59 para la grosularita y 3.86 para la andradita. <i>Brillo</i> vítreo a resinoso. <i>Color</i> para la grosularita blanco, verde, amarillo, pardo canela, rojo pálido; en el caso de la andradita logra varias tonalidades de amarillento, verdoso, pardo a negro. <i>Raya</i> blanca. Transparente a Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> grosularita: $Al_2Ca_3(SiO_4)_3$; andradita: $Fe_2Ca_3(SiO_4)_3$; la primera contiene muchas veces hierro ferroso reemplazando al calcio y hierro férrico, en lugar de aluminio. Para la segunda el aluminio puede reemplazar al hierro férrico; el hierro ferroso al manganeso y el manganeso puede reemplazar al calcio.
Yacimiento	El granate es un mineral muy común y ampliamente extendido; es mineral accesorio de las rocas metamórficas y en ciertas ígneas. Su yacimiento más característico es en los esquistos micáceos, esquistos de horblenda y gneis: En las vetas de pegmatitas, más raras veces en las rocas graníticas: La grosularita es producto de metamorfismo de contacto o regional en calizas cristalinas. La <i>melanita</i> variedad negra de la andradita, principalmente en ciertas rocas ígneas.
Mineral	Diópsido
Clasificación	Forma la serie de los diópsidos, en el grupo de los piroxenos en la clase de los Inosilicatos.
Forma	Monoclínico. Cristales prismáticos con sección transversal octogonal o cuadrada. También en masas granulares, columnas o en láminas. Frecuentemente maclas polisintéticas.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> imperfecta. H 5 – 6. G 3.2 – 3.3. <i>Brillo</i> Vítreo. <i>Color</i> blanco a verde claro, oscurece según el hierro contenido.
Composición	<i>Formula</i> $CaMgSi_2O_6$. En la serie diópsido hedenbergita el Fe^{2+} puede reemplazar al Mg en todas las proporciones.
Yacimiento	Se halla como mineral de metamorfismo de contacto en las calizas y dolomitas cristalinas. En muchos yacimientos esta asociado a tremolita, escapolita, idocrasa, granate y esfena. Se presenta, también en rocas de metamorfismo regional.
Mineral	Calcita
Clasificación	Con ella se forma el grupo de la calcita, de la clase de los carbonatos
Forma	Se han descrito más de 300 formas distintas; con tres hábitos importante: prismático, romboédrico y escalenoédrico.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> perfecta. H 3 en su cara de exfoliación, 2 ½ en el pinacoide básico. G 2.7. <i>Brillo</i> vítreo a terroso. <i>Color</i> generalmente blanco a incoloro; pero puede tener diversos tonos de grisáceo, rojizo, verdoso, azulado y amarillento. Si es de impura de pardo a negro. Transparente a Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> $CaCO_3$. CaO 56%; CO_2 44%. El magnesio y el hierro ferroso pueden sustituir a al calcio, y una serie isomórfica completa se extiende hasta la rodocrosita, mientras que solo es parcial hacia la smithsonita y siderita. Cuando mucho Mg. Esta presente tiende a formar dolomita $CaMg(CO_3)_2$.

ANEXO B

Yacimiento	Uno de los minerales más corrientes y extendidos. Aparece en enormes masas de rocas sedimentarias en las cuales la calcita es el mineral más importante. Siendo el único mineral presente en ciertas calizas. Las calizas metamórficas cristalinas se denominan mármol. En depósitos de cueva y calizas silíceas.
Mineral	Cuarzo
Clasificación	Forma el grupo del cuarzo en la clase de los tectosilicatos
Forma	Hexagonal. Los cristales son comúnmente prismáticos con estriaciones. El tamaño de los ejemplares varia desde un peso de varias toneladas, hasta los revestimientos cristalinos finísimos, formando drusas. Son comunes gran variedad de formas macizas. Desde Cristalino como el pedernal hasta el criptocristalino como el ónix.
Propiedades físicas	H 7. G 2.65. Fractura concoidea. <i>Brillo</i> vítreo, en algunas muestras graso. Generalmente incoloro a blanco; pero frecuentemente coloreado debido a diversas impurezas (violeta, rosado, amarillo, ahumado, rojo, negro, etc.). El color da origen a diversas variedades.
Composición	<i>Formula</i> SiO ₂ . Si 46.7% y O 53.33%. Entre todos lo minerales, el cuarzo es el más próximo común de los minerales a ser una sustancia pura y mantener las propiedades físicas constantes.
Yacimiento	Constituyente importante de las rocas ácidas, granitos, riolitas y pegmatitas. Debido a su resistencia física y mecánica forma areniscas sedimentarias. También en rocas metamórficas, esquistos y gneis. El único componente de la cuarcita. Depositado de las soluciones, es la ganga más corriente de las vetas. Las soluciones que contienen sílice pueden llegar a reemplazar capas de caliza con cuarzo criptocristalino (<i>pedernal</i>). Asociado con feldespato y muscovita. Se encuentra en grandes cantidades en arena en lechos de los ríos y playas, y como constituyente de suelos.

Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Tabla 5B Mineralogía de la wollastonita

Mineral de la aureola del skarn de Villa Juárez

Mineral	Wollastonita
Clasificación	Forma parte del grupo piroxenoide de la case de los inosilicatos.
Forma	Triclínico. Algunas veces en cristales tabulares. Por lo común macizo, foliado a fibroso; también compacto.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> perfecta, dando fragmentos alargados. H 5 – 5 ½. G 2.8 – 2.9. <i>Brillo</i> vítreo perlado en las superficies de exfoliación. Puede ser sedoso cuando es fibroso. <i>Color</i> incoloro, blanco o grisáceo. Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> CaSiO ₃ . CaO 48.3%; SiO ₂ 51.7%.
Yacimiento	Aparece principalmente como mineral metamórfico de contacto en las calizas cristalinas. Está asociado con calcita, diópsido, andradita y grosularita, tremolita, feldespatos cálcicos idocrasa y epidota. En ciertas localidades puede ser tan abundante que llegue a ser constituyente principal de la masa rocosa.

Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Tabla 6B Mineralogía del skarn (exoskarn) de Villa Juárez

Minerales del exoskarn de Villa Juárez	
Mineral	Hematita
Clasificación	Forma el grupo de las hematinas, de la clase de los óxidos.
Forma	Hexagonal. Los cristales, normalmente tabulares o delgados. Las tablas finas se agrupan en rosetas. Los cristales romboédricos son raros y tienen ángulos casi cúbicos. Normalmente terroso. También en masas botroidales a reniforme con estructura radiada. Puede ser también micáceo y hojoso.
Propiedades físicas	Buena partición, con ángulos casi cúbicos. H 5 ½ - 6 ½. G 5.26. <i>Brillo</i> metálico en cristales y mate en las variedades terrosas. <i>Color</i> castaño rojizo a negro. <i>Raya</i> rojo indio claro a oscuro, que se vuelve negro al calentarlo. Translúcido.
Composición	<i>Formula</i> Fe ₂ O ₃ . Fe 70%; O 30%. Puede contener titanio.
Yacimiento	Se halla en rocas de todas las edades y formas, la nove más abundante de hierro. Puede formarse como producto de sublimación en relación con actividades volcánicas. En depósitos metamórficos de contacto y como mineral accesorio en las rocas ígneas feldespáticas, tales como granito. También reemplazando en gran escala a rocas silíceas. Se encuentra desde escamas microscópicas hasta a grandes masas en relación al metamorfismo regional, donde pudo haber sido originado por alteración de limonita, siderita o magnetita. Lo mismo que la limonita puede en masas y capas irregulares, como resultado de la meteorización de rocas que contienen hierro. En las areniscas rojas como material de cementación de los granos de cuarzo.
Mineral	Azurita
Clasificación	Forma parte de la clase de los carbonatos.
Forma	Monoclínico, hábito variado, cristales de hábito frecuentemente complejo y deformados. También en grupos esféricos radiales.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> perfecta. H 3 ½ - 4. G 3.77. <i>Brillo</i> vítreo. <i>Color</i> azul marino intenso. Transparente a Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂ . CuO 69.2%; CO ₂ 25.6 %; H ₂ O 5.2%; Cu 55.3%.
Yacimiento	La azurita tiene el mismo origen y la paragenesis que la malaquita pero más frecuente que ella.
Mineral	Bornita
Clasificación	Pertenece a la clase de los sulfuros.
Forma	Isométrico. Raras veces en cubos, y menos todavía en cristales dodecaédricos y octaédricos. Normalmente en masa.
Propiedades físicas	H 3. G 5.06 – 5.08. <i>Brillo</i> metálico. <i>Color</i> en superficie fresca bronce pardo, pero al aire se cubre rápidamente de una patina jaspeada, púrpura y azul y, finalmente casi negra. <i>Raya</i> negra grisácea.
Composición	<i>Formula</i> CU ₃ FeS ₄ . Cu 63.3%, no 11.2%, S 25.5%. Fragmentos microscópicos de otros minerales incluidos en la bornita hacen que su composición varíe considerablemente.

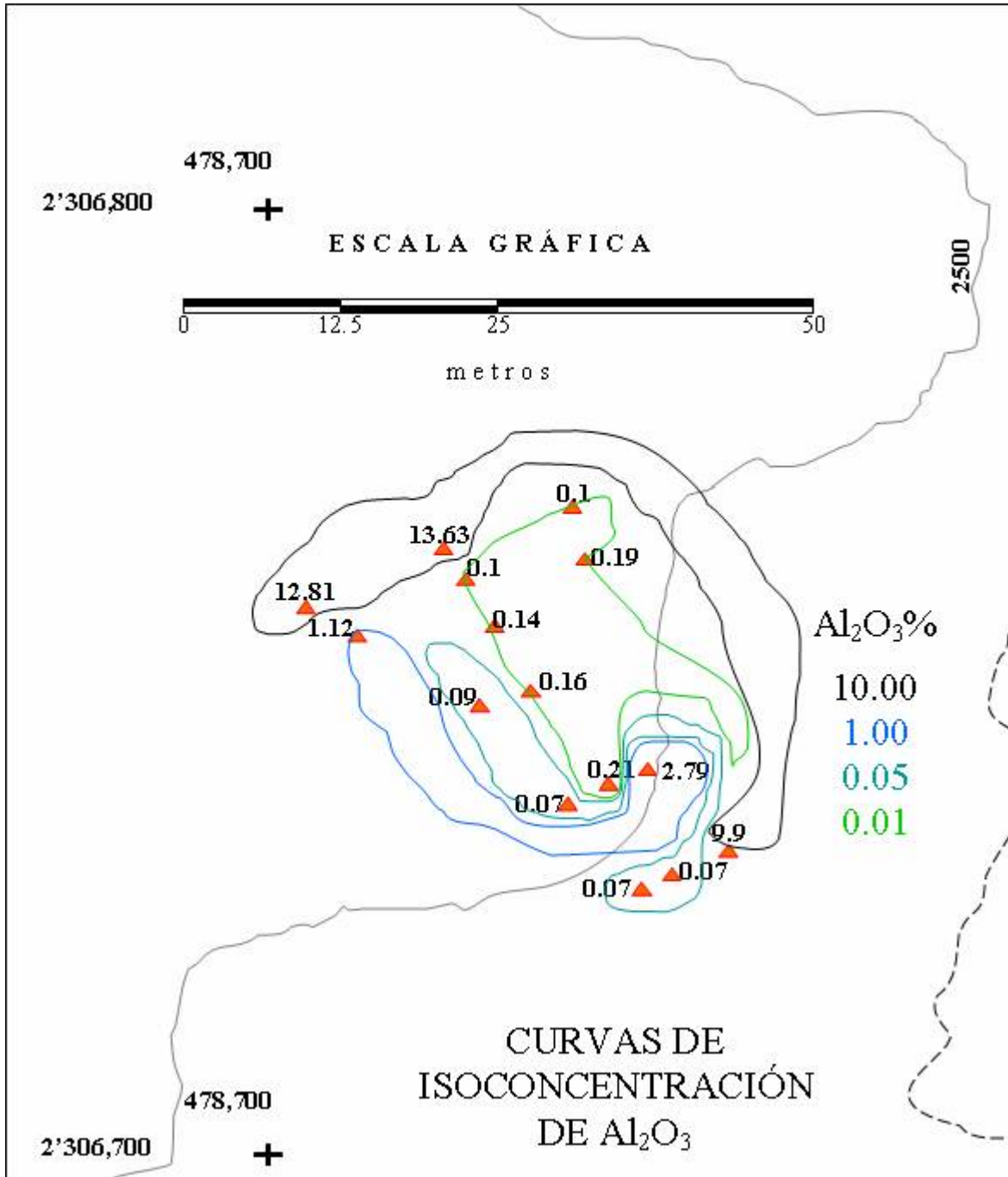
ANEXO B

Yacimiento	La bornita es una nove de cobre muy generalizada, que normalmente se encuentra con otros minerales de cobre en depósitos hipogénicos. Es menos frecuente encontrarla como mineral supergénico, formado en la parte superior de la zona de enriquecimiento de las vetas de cobre sobre la calcopirita. Se encuentra diseminada en rocas básicas, en depósitos metamórficos de contacto, en depósitos de remplazamiento y en pegmatitas. La bornita aparece frecuentemente en mezcla íntima con la calcopirita y la calcosita. <i>Alteración</i> se altera rápidamente a calcosita y novelita.
Mineral	Malaquita
Clasificación	Forma parte de la clase de los carbonatos.
Forma	Monoclínico. Los cristales son generalmente prismáticos delgados. Generalmente en fibras radiantes, formando masas botroidales o estalactíticas. A menudo granular o terroso.
Propiedades físicas	<i>Exfoliación</i> basal perfecta, aunque pocas veces se observa. H 3 ½ - 4. G 3.9 -4.03. <i>Brillo</i> adamantino a vítreo en cristales; sedoso en las variedades fibrosas; mate en el tipo terroso. <i>Color</i> verde brillante. <i>Raya</i> verde pálido. Traslúcido.
Composición	<i>Formula</i> $Cu_2(OH)_2CO_3$. CuO 71.9%; CO ₂ 19.9 %; H ₂ O 8.2%; Cu 57.4%.
Yacimiento	La malaquita es una mena supergénica muy importante del cobre y es muy frecuente. Se halla en la zona de oxidación de las vetas de cobre, asociada a azurita, cuprita, cobre nativo, óxidos férricos y diversos sulfatos de cobre y hierro. Generalmente en vetas de cobre que yacen en calizas
Mineral	Crisocola
Clasificación	Forma parte del grupo del berilo en la clase de los ciclosilicatos.
Forma	Criptocristalino. Se ha observado en cristales aciculares pequeños., pero por lo común criptocristalino o amorfo. Compacto o macizo. En algunos casos terroso.
Propiedades físicas	<i>Fractura</i> concoidea. H 2 - 4. G 2 - 2.4. <i>Brillo</i> vítreo a terroso. <i>Color</i> verde a azul verdoso; pardo a negro cuando es impuro.
Composición	La crisocola es un hidratado o precipitado gelatinoso que tiene un gran número de compuestos. Su análisis químico muestra: CuO 32.4 - 42.2% SiO ₂ 37.9 - 42.5 %; H ₂ O 12.2 - 18.8 %. En cantidades pequeñas se presenta con frecuencia Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃ .
Yacimiento	La crisocola en un mineral secundario que aparece en las zonas de oxidación de vetas de cobre. Asociado con malaquita, azurita, cuprita, cobre nativo, etc.

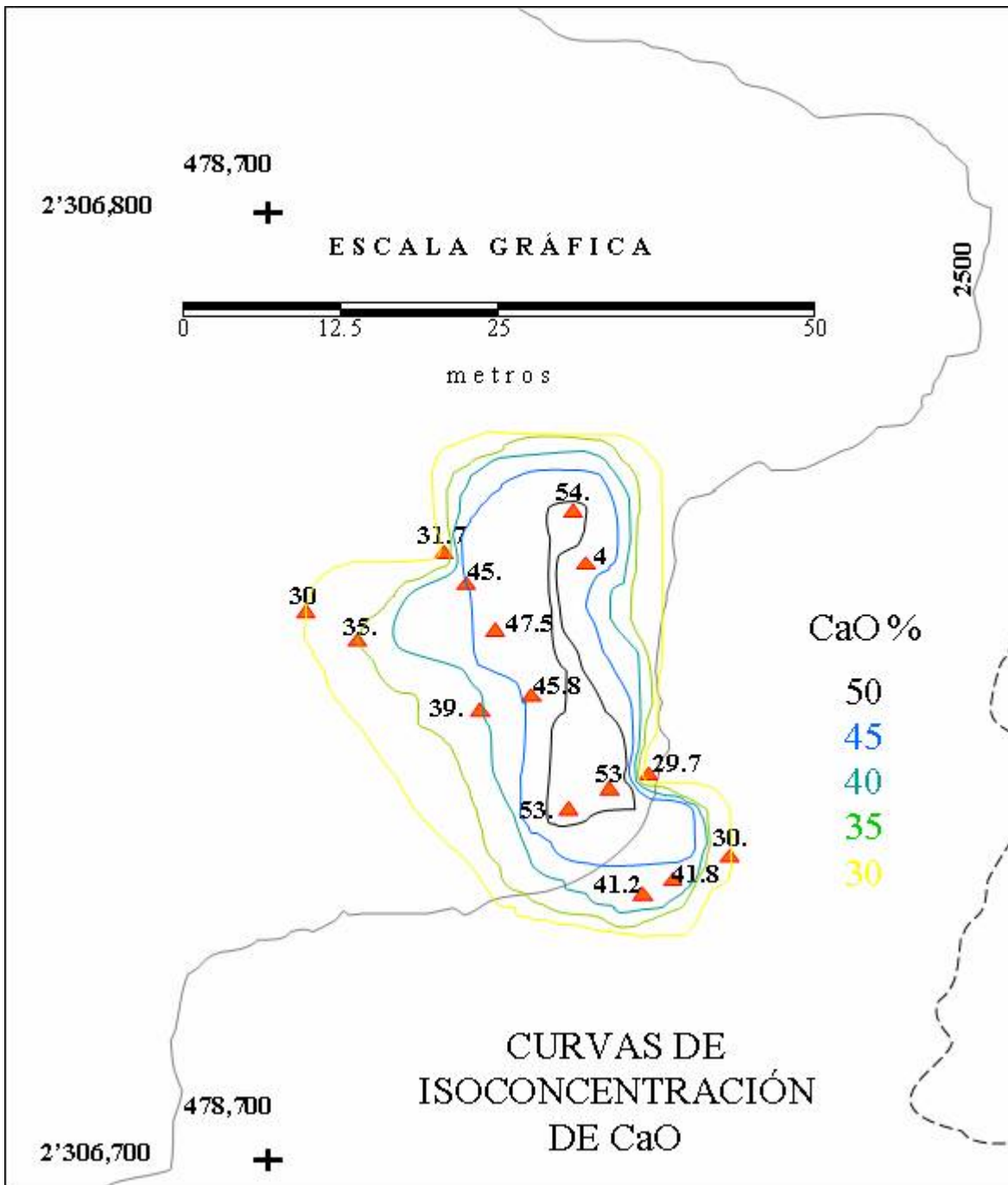
Fuente: Manual de mineralogía de Dana, 1978

Anexo C

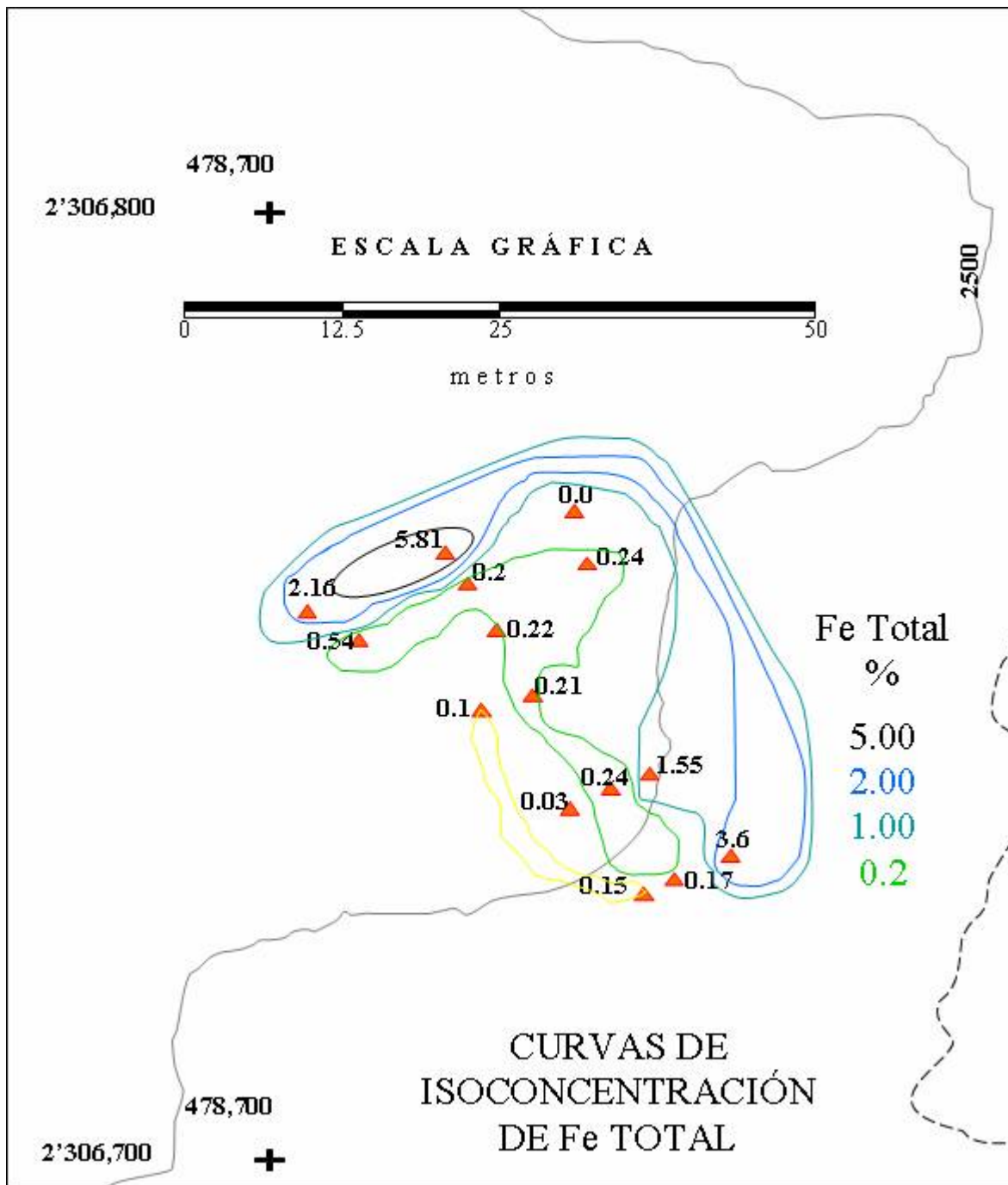
Curvas de isoconcentración



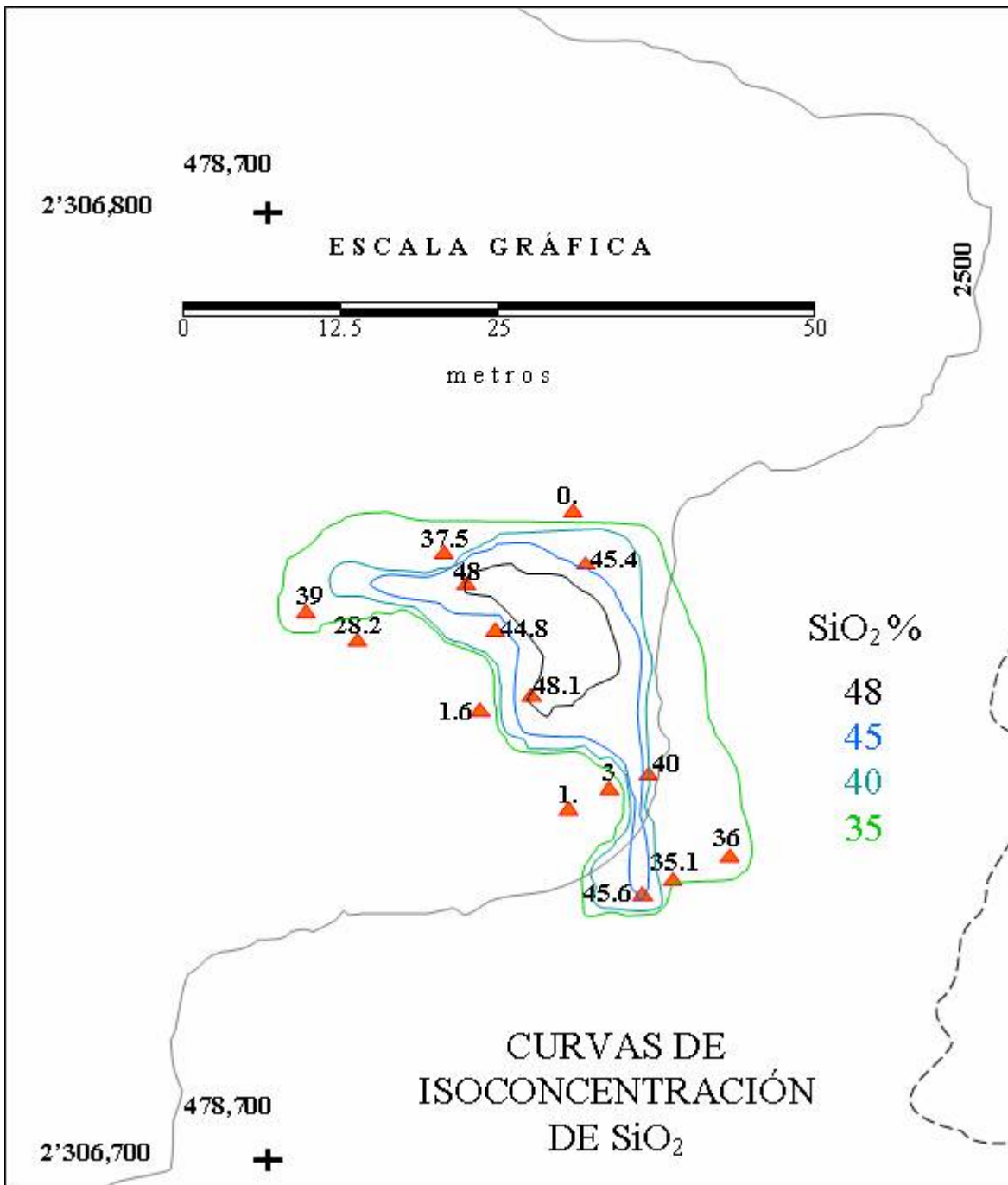
Gráfica 1C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Al₂O₃ del primer banco



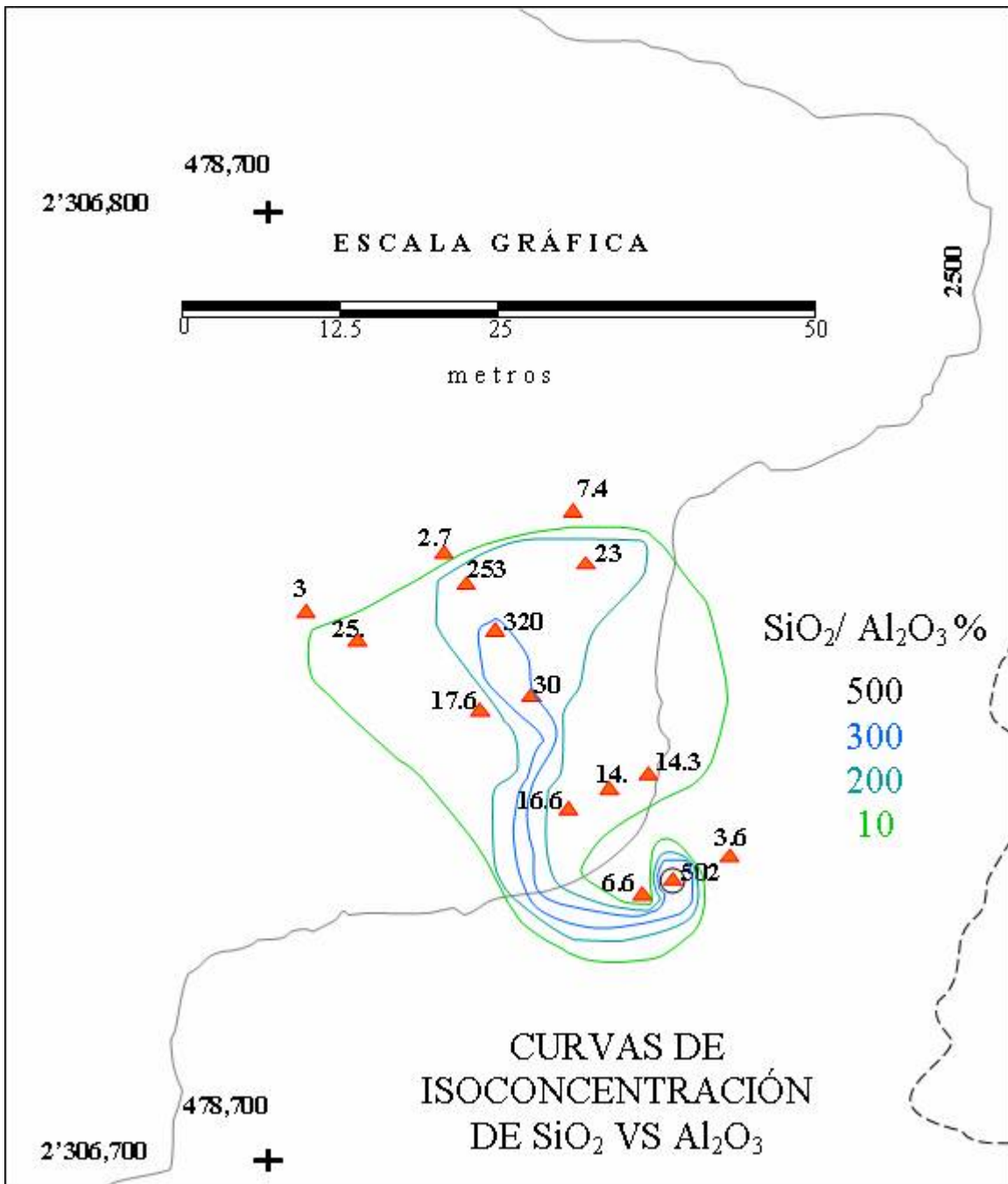
Gráfica 2C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de CaO del primer banco



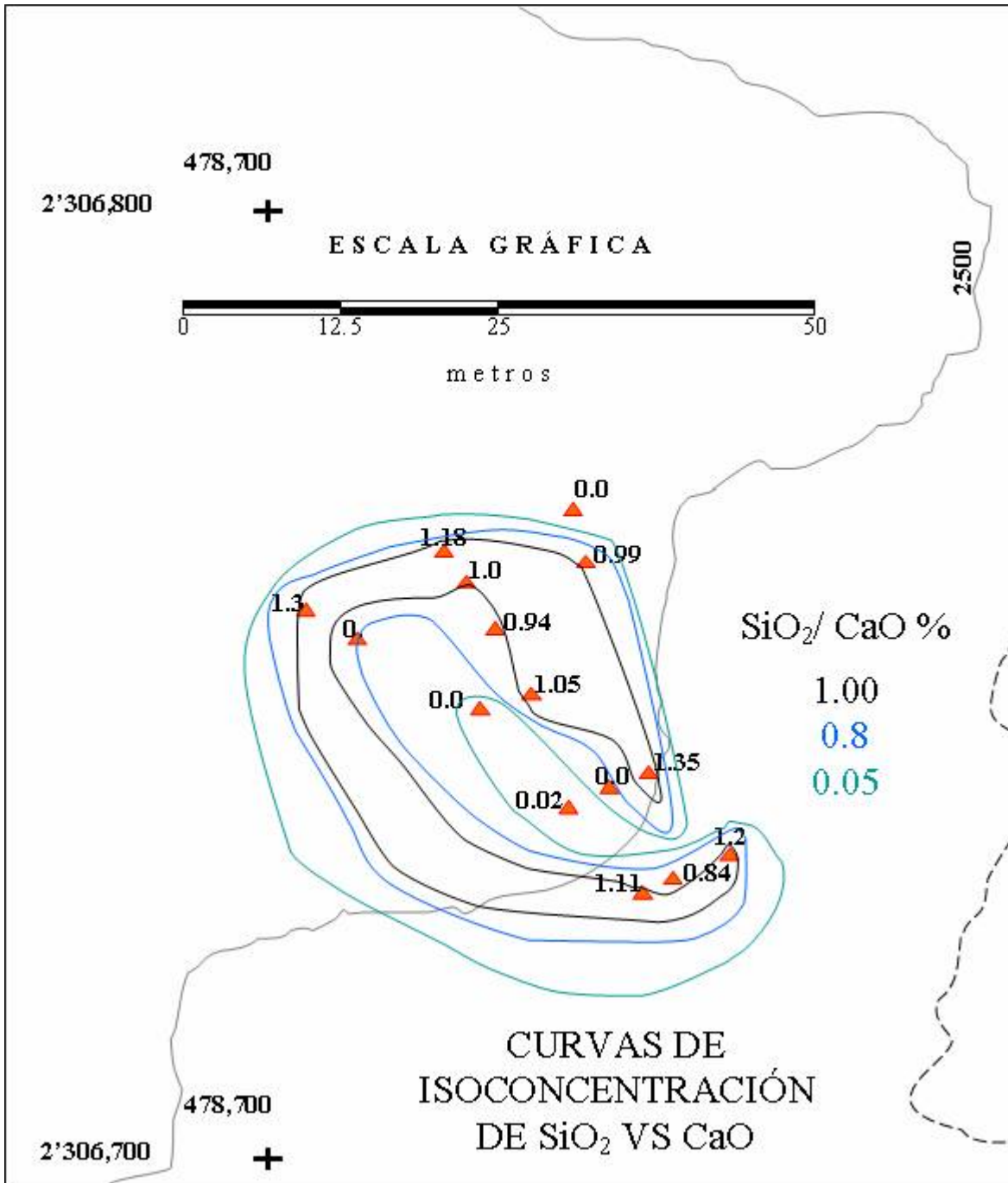
Gráfica 3C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Fe total del primer banco



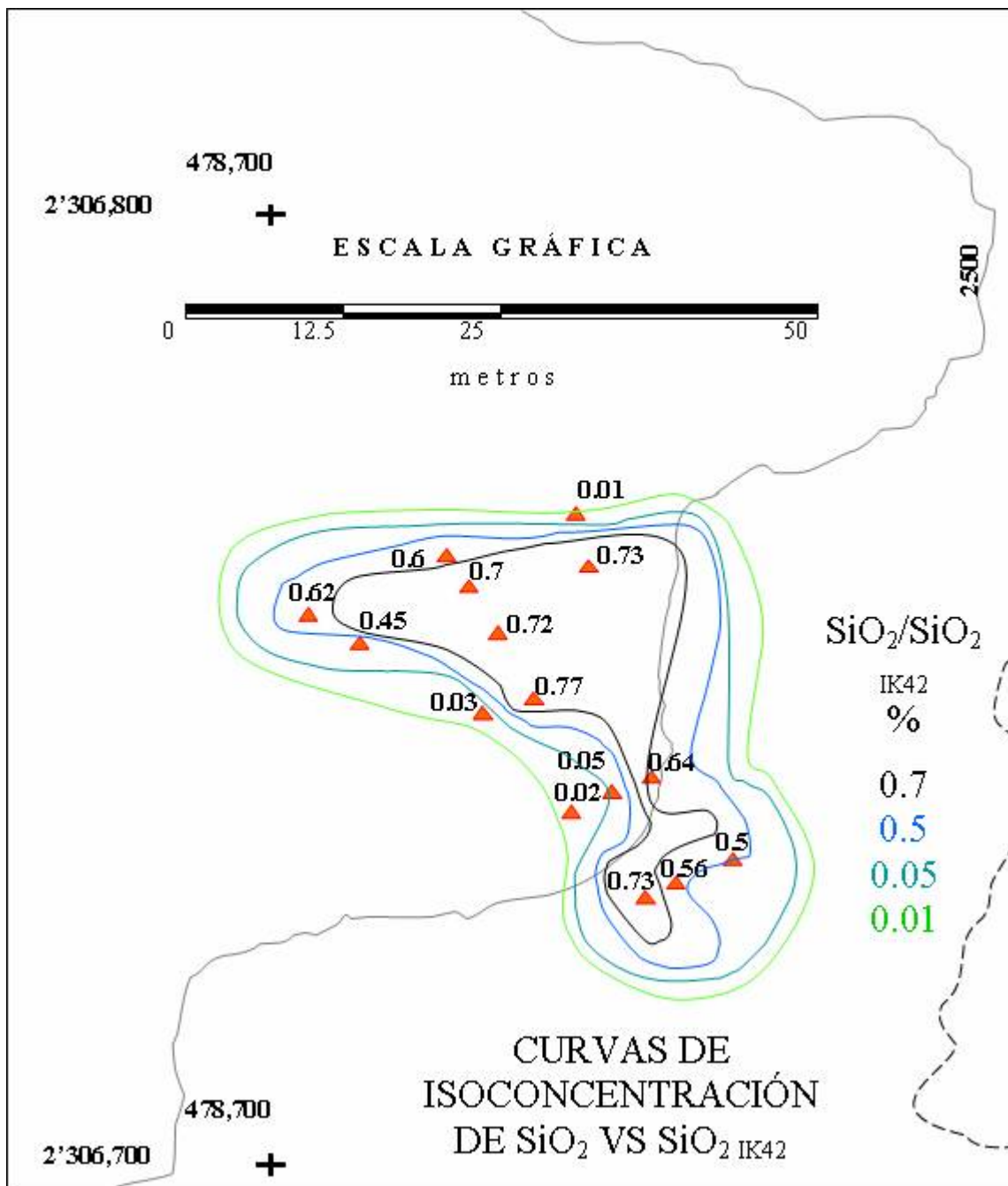
Gráfica 4C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ del primer banco



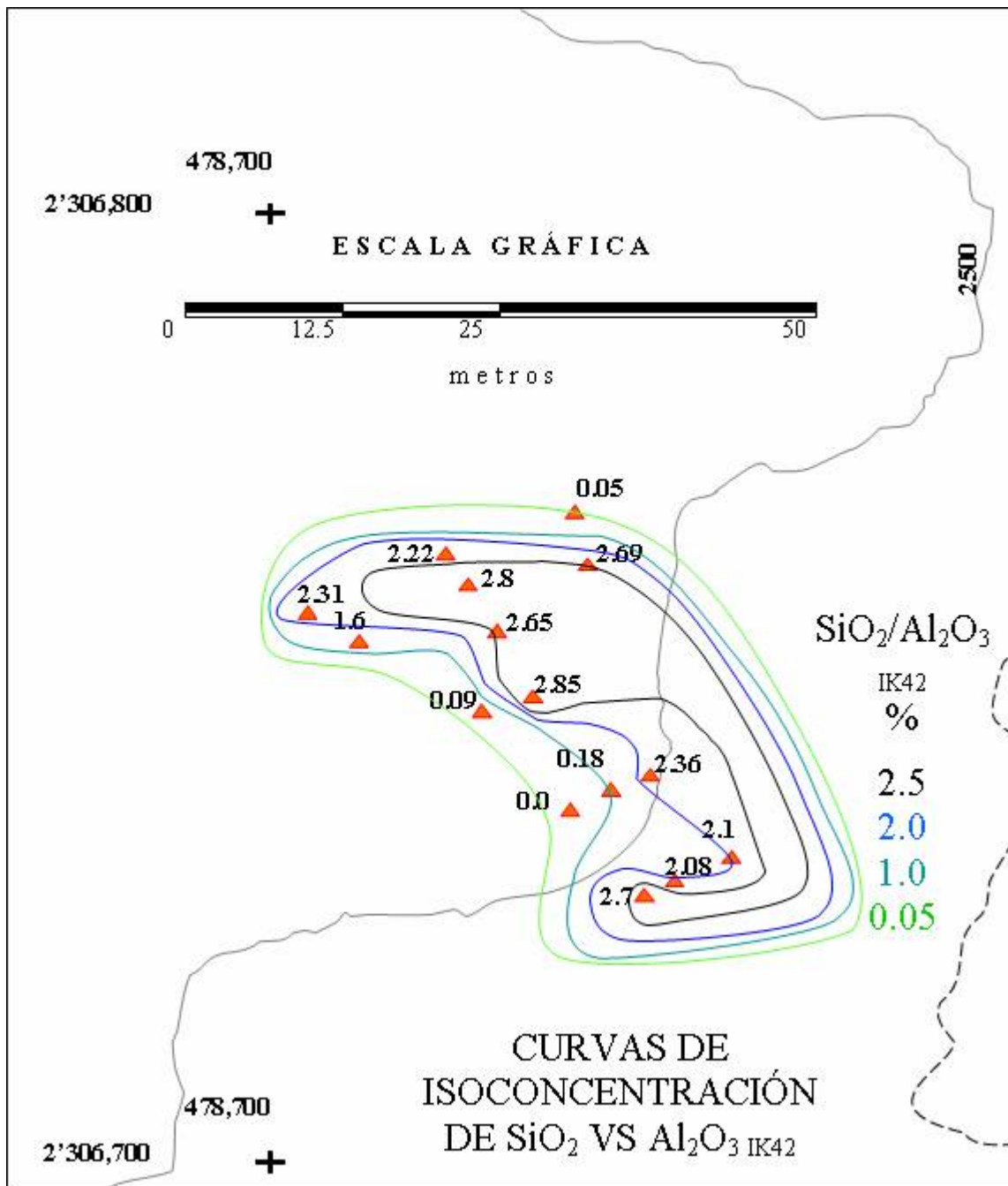
Gráfica 5C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs Al₂O₃ del primer banco



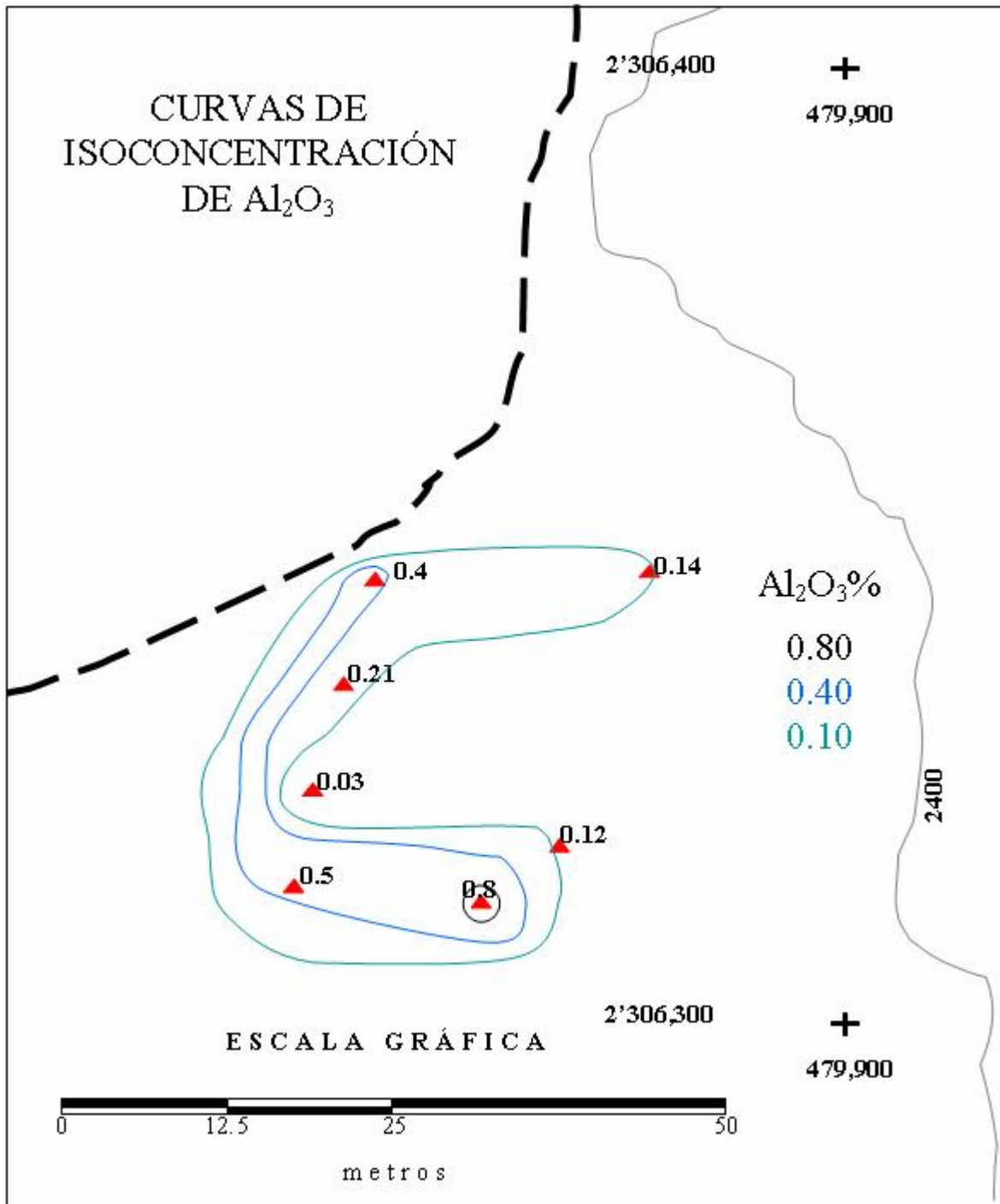
Gráfica 6C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs CaO del primer banco



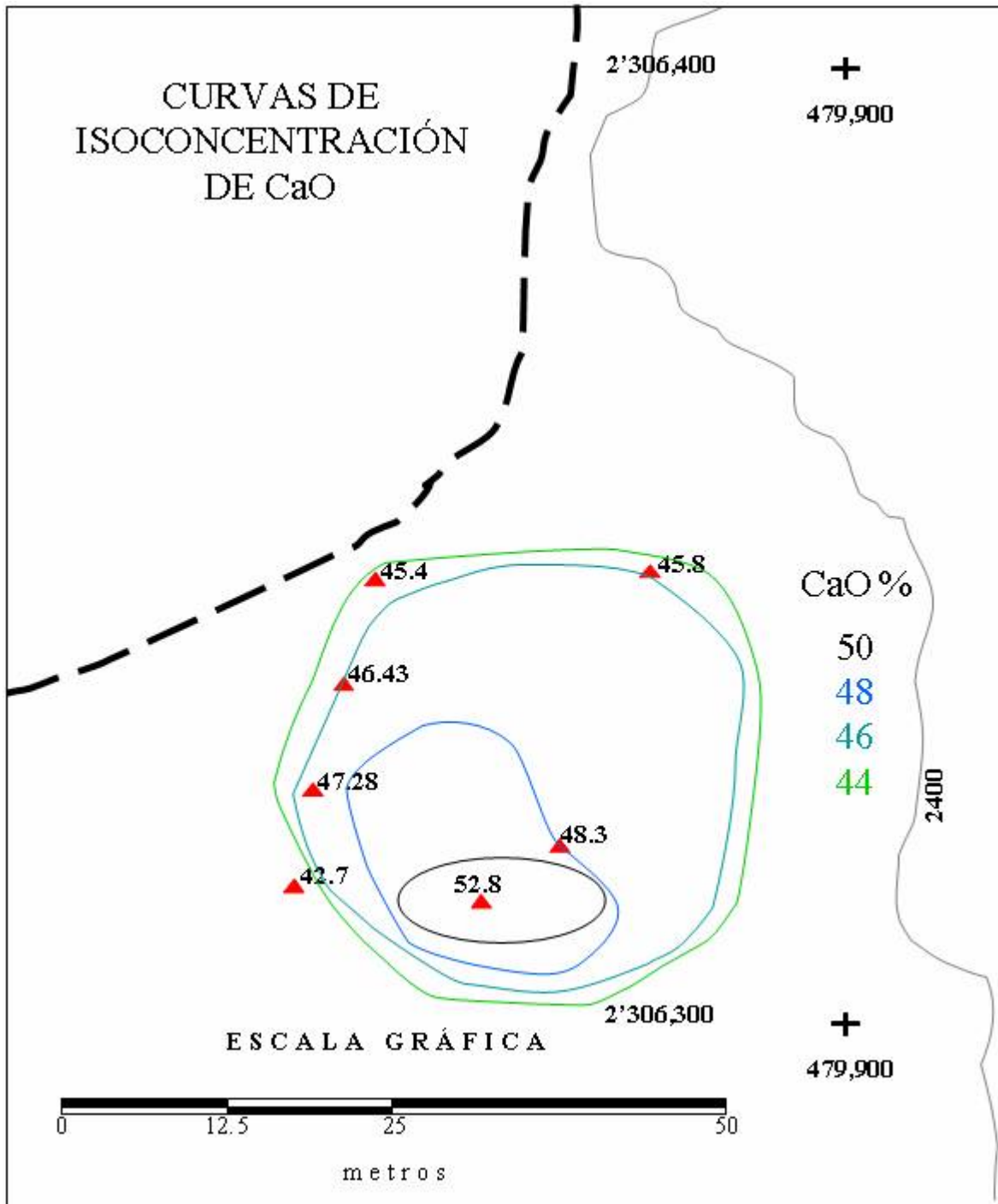
Gráfica 7C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs SiO₂, normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del primer banco



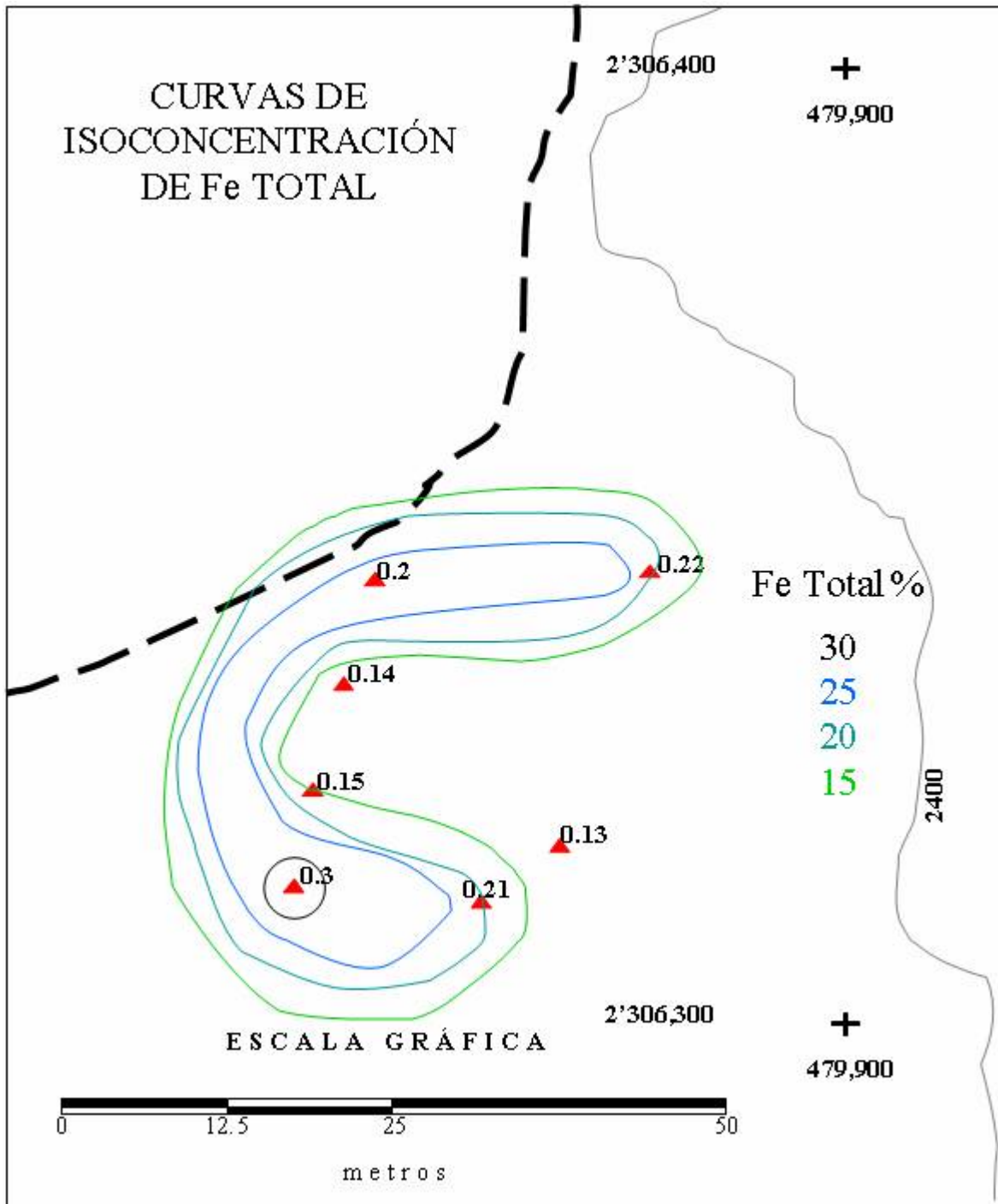
Gráfica 8C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs Al₂O₃ normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del primer banco



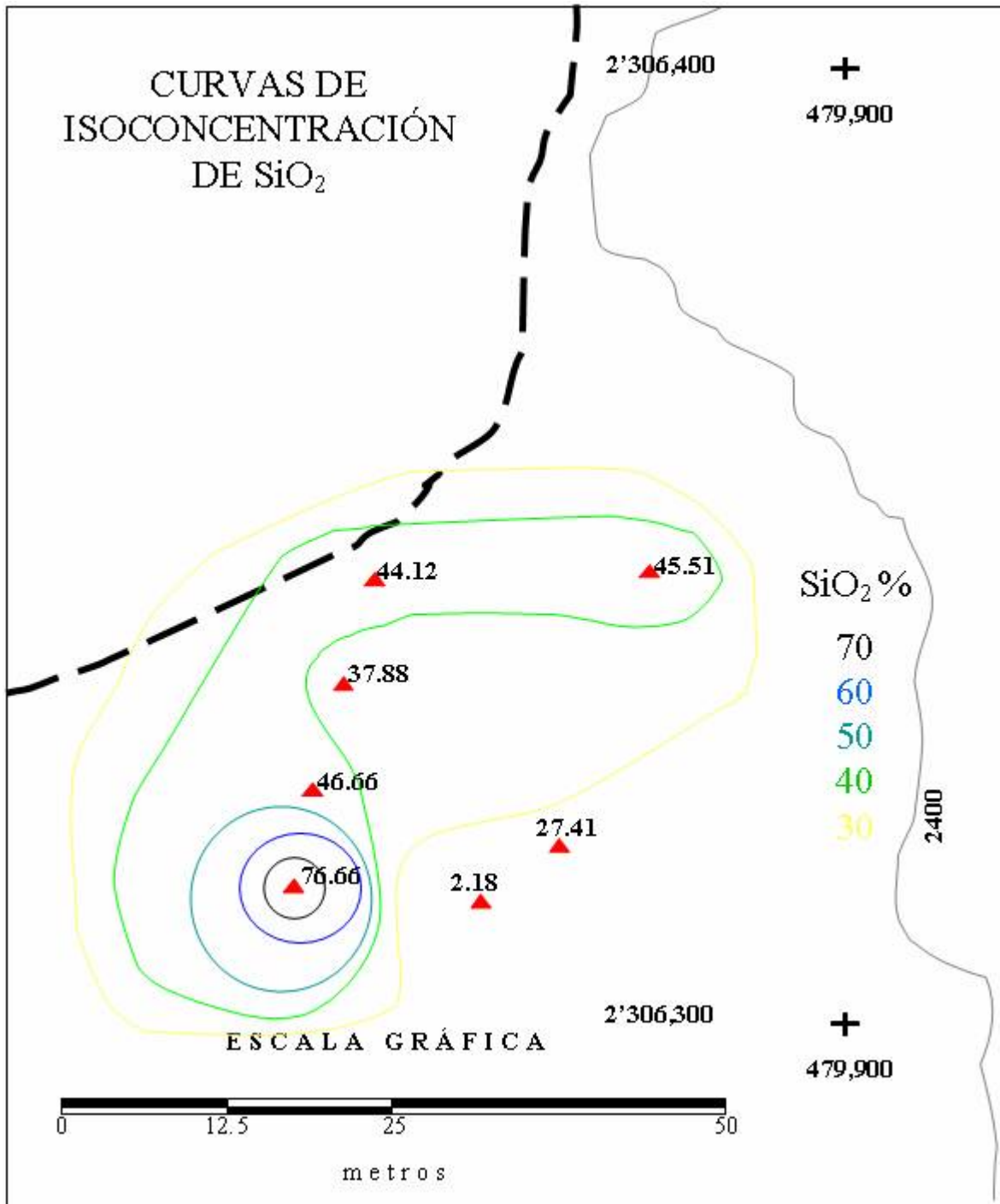
Gráfica 9C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Al₂O₃ del segundo banco



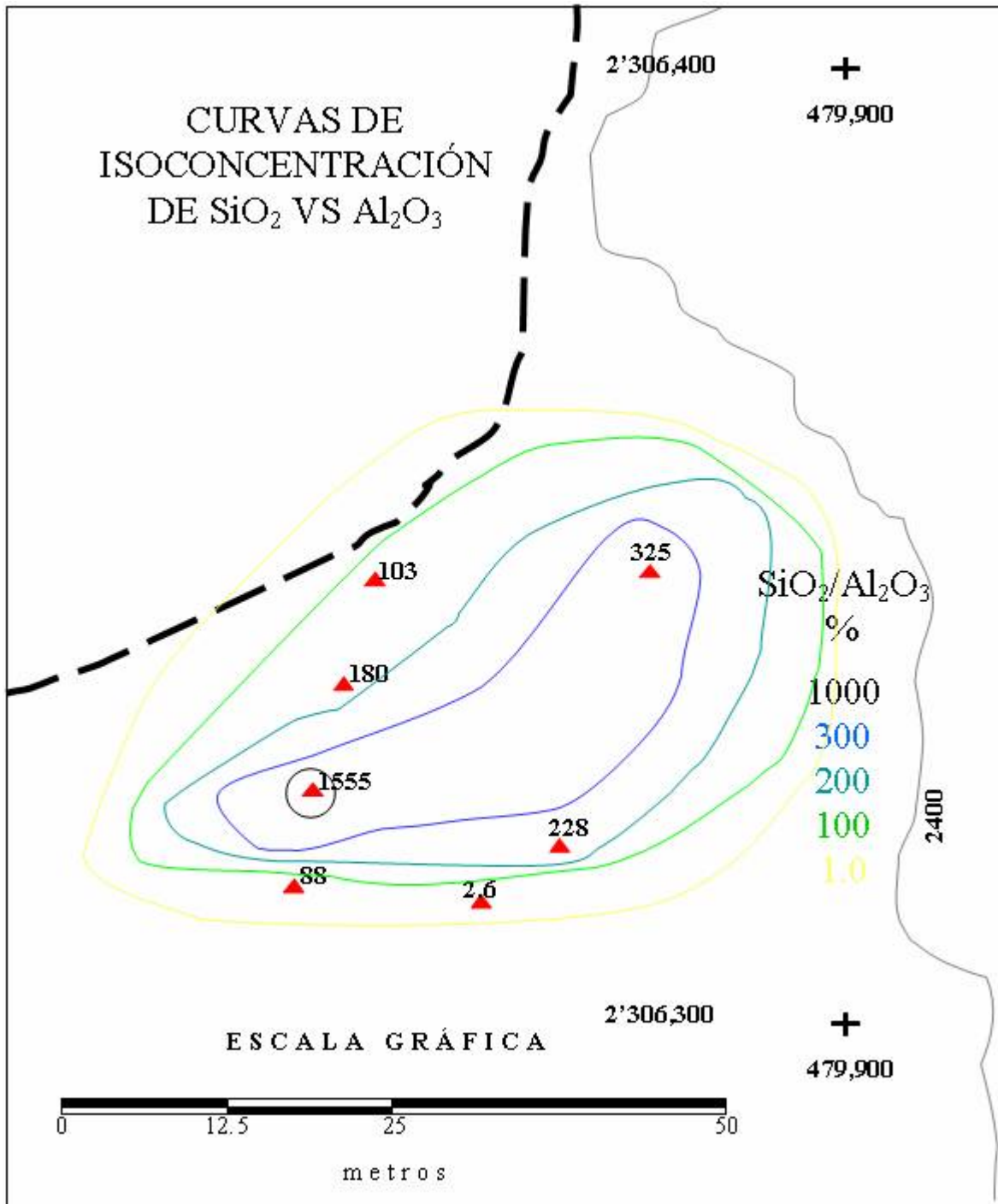
Gráfica 10C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de CaO del segundo banco



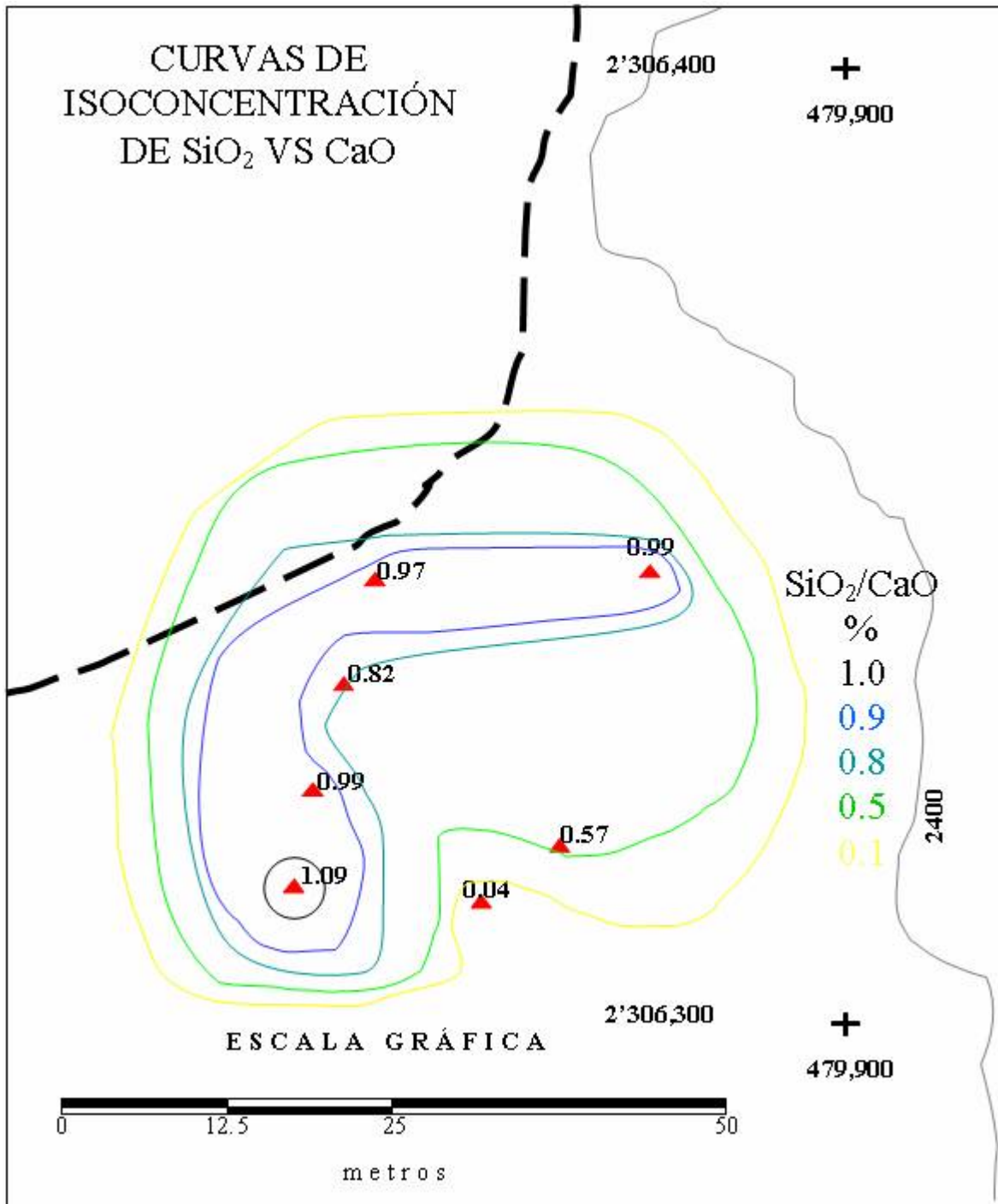
Gráfica 11C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de Fe total del segundo banco



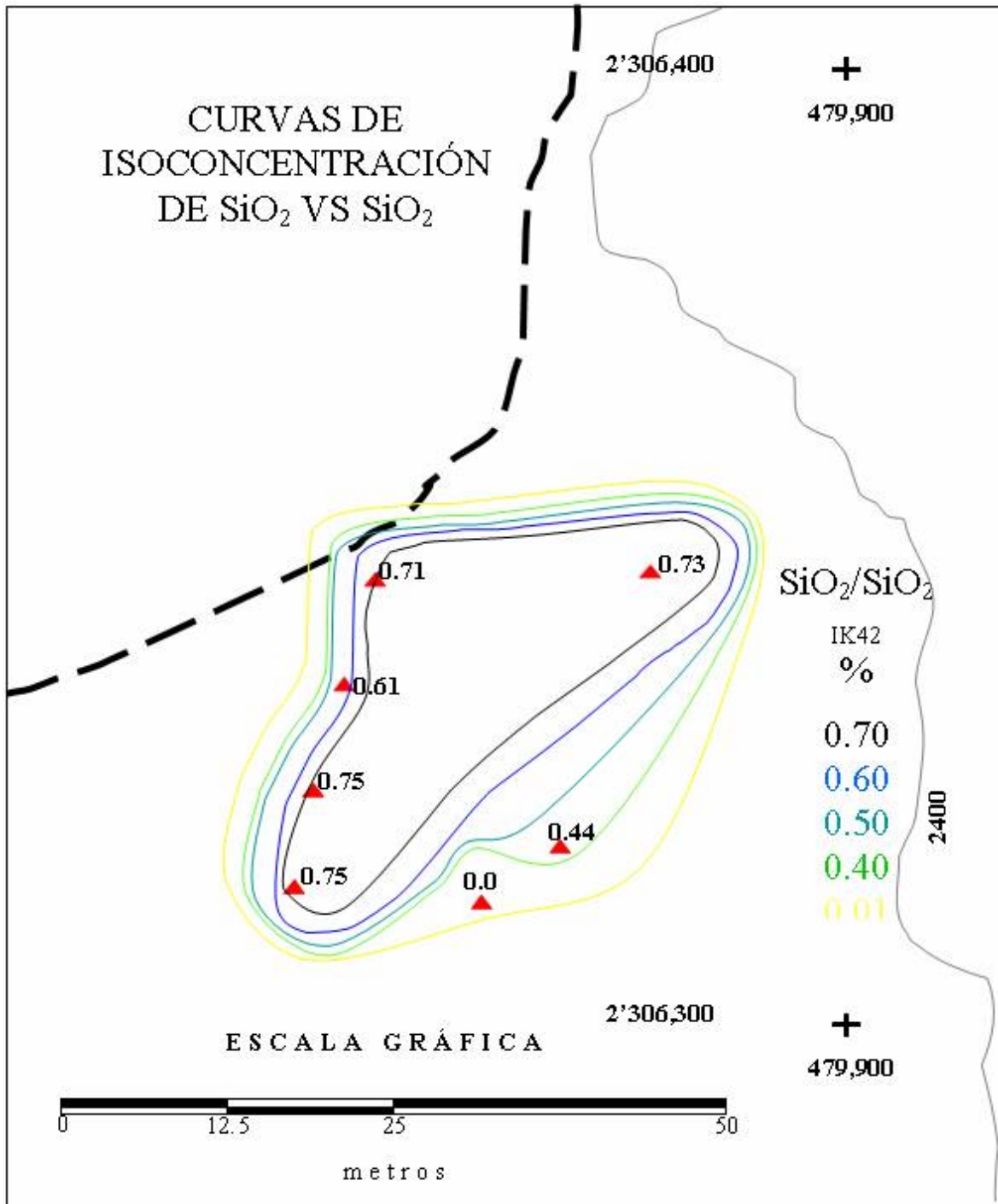
Gráfica 12C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ del segundo banco



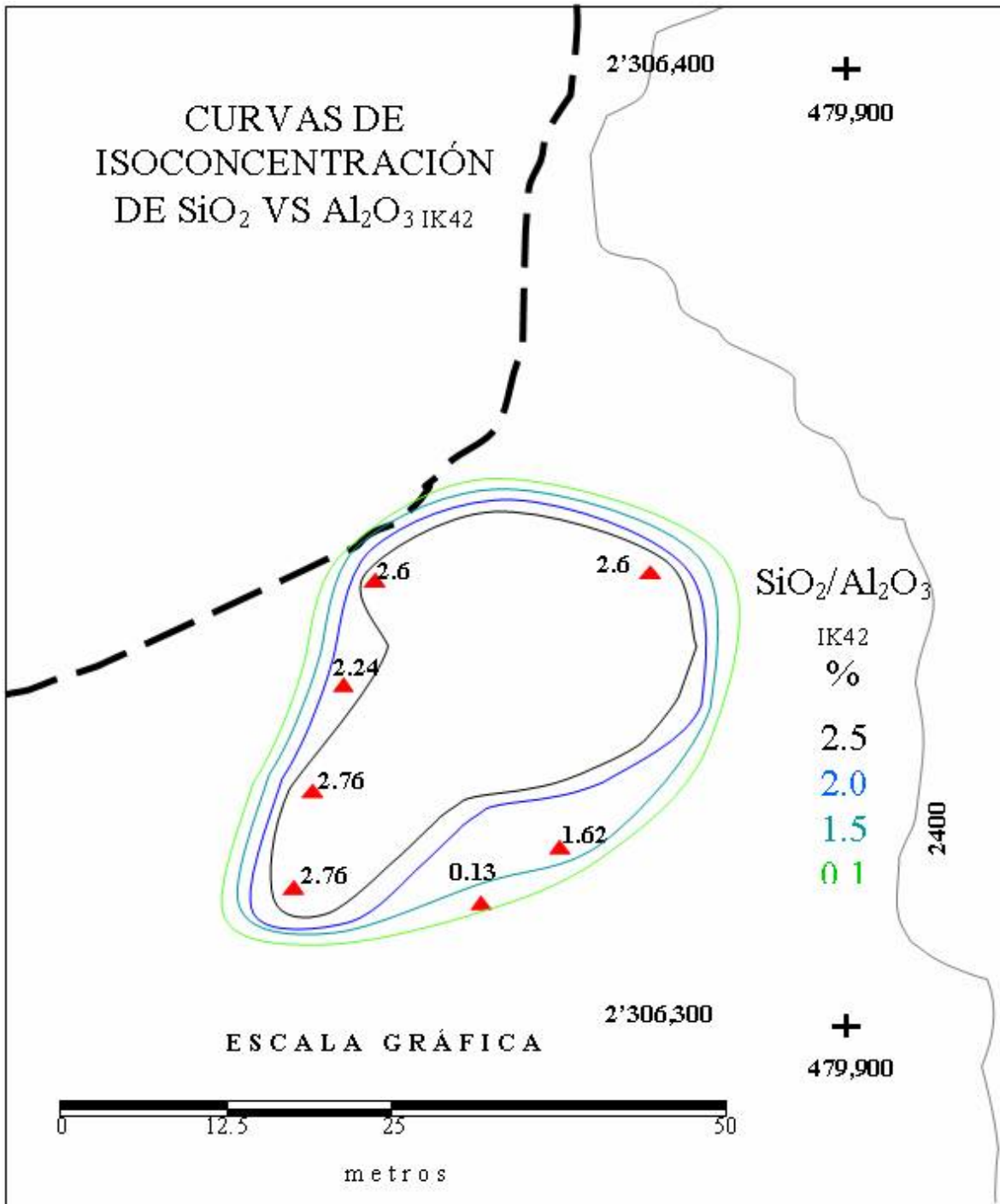
Gráfica 13C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs Al₂O₃ del segundo banco



Gráfica 14C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs CaO del segundo banco



Gráfica 15C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO₂ Vs SiO₂, normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del segundo banco



Gráfica 16C Curvas de isoconcentración correspondientes a la concentración de SiO_2 Vs Al_2O_3 , normalizada con la muestra IK42 (Flores–Castro, 2001) del segundo banco

Anexo D

Resultados de la difracción de rayos X

Tabla 1D Datos generados de la difracción de rayos X

MUESTRA	Porción	Especie Mineral	COMPOSICIÓN QUÍMICA
A-1	Mayor	Grosularia	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
	Mediana		
	Menor	Hematita - Calcita	Fe_2O_3 - CaCO_3
	Escasa	Cuarzo	$\alpha\text{-SiO}_2$
A-2	Mínima		
	Mayor	Dolomita - Calcita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - CaCO_3
	Mediana		
	Menor		
A-3	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
	Mayor	Calcita	CaCO_3
	Mediana	Cuarzo - Wollastonita	$\alpha\text{-SiO}_2$ - CaSiO_3
A-4	Menor	Grosularita	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
	Escasa	Hematita - Feldespato Potásico	Fe_2O_3 - KAlSi_3O_8
	Mínima		
	Mayor	Calcita	CaCO_3
A-5	Mediana		
	Menor		
	Escasa	Cuarzo	$\alpha\text{-SiO}_2$
	Mínima		
A-6	Mayor	Grosularita - Calcita	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ - CaCO_3
	Mediana		
	Menor	Cuarzo - Hematita	$\alpha\text{-SiO}_2$ - Fe_2O_3
	Escasa	Biotita	$\text{K}(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
A-7	Mínima		
	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana	Calcita	CaCO_3
	Menor		
A-8	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
	Mayor	Calcita	CaCO_3
	Mediana		
A-9	Menor		
	Escasa	Cuarzo - Muscovita	$\alpha\text{-SiO}_2$ - $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
	Mínima	Hematita	Fe_2O_3

 ANEXO D

A-8	Mayor	Grosularita	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
	Mediana	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Menor	Hematita - Cuarzo	$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \alpha\text{-SiO}_2$
	Escasa	Calcita	CaCO_3
	Mínima		
A-9	Mayor	Calcita	CaCO_3
	Mediana		
	Menor	Cuarzo	$\alpha\text{-SiO}_2$
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
Wo-1	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana	Calcita	CaCO_3
	Menor		
	Escasa	Hematita - Cuarzo	$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \alpha\text{-SiO}_2$
	Mínima		
Wo-2	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana		
	Menor	Calcita	CaCO_3
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
Wo-3	Mayor	Calcita	CaCO_3
	Mediana		
	Menor	Cuarzo	$\alpha\text{-SiO}_2$
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
Wo-4	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana	Calcita	CaCO_3
	Menor		
	Escasa	Hematita - Dolomita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Mínima		
Wo-5	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana		
	Menor	Calcita	CaCO_3
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
Wo-6	Mayor	Calcita	CaCO_3
	Mediana	Cuarzo	$\alpha\text{-SiO}_2$
	Menor		
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		
Wo-7	Mayor	Wollastonita	CaSiO_3
	Mediana		
	Menor	Calcita	CaCO_3
	Escasa	Hematita	Fe_2O_3
	Mínima		

ANEXO D

Wo-8	Mínima		
	Mayor	Wollastonita	CaSiO ₃
	Mediana		
	Menor	Calcita	CaCO ₃
Wo-9	Escasa	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Mínima		
	Mayor	Wollastonita -Calcita	CaSiO ₃ - CaCO ₃
	Mediana		
Wo-10	Menor		
	Escasa	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Mínima		
	Mayor	Wollastonita	CaSiO ₃
Wo-11	Mediana	Calcita	CaCO ₃
	Menor		
	Escasa	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Mínima		
Wo-12	Mayor	Wollastonita	CaSiO ₃
	Mediana	Calcita	CaCO ₃
	Menor		
	Escasa	Hematita	Fe ₂ O ₃
Wo-13	Mínima		
	Mayor	Wollastonita	CaSiO ₃
	Mediana		
	Menor	Calcita	CaCO ₃
	Escasa	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Mínima		

Ilustración 1D Difractograma de rayos X

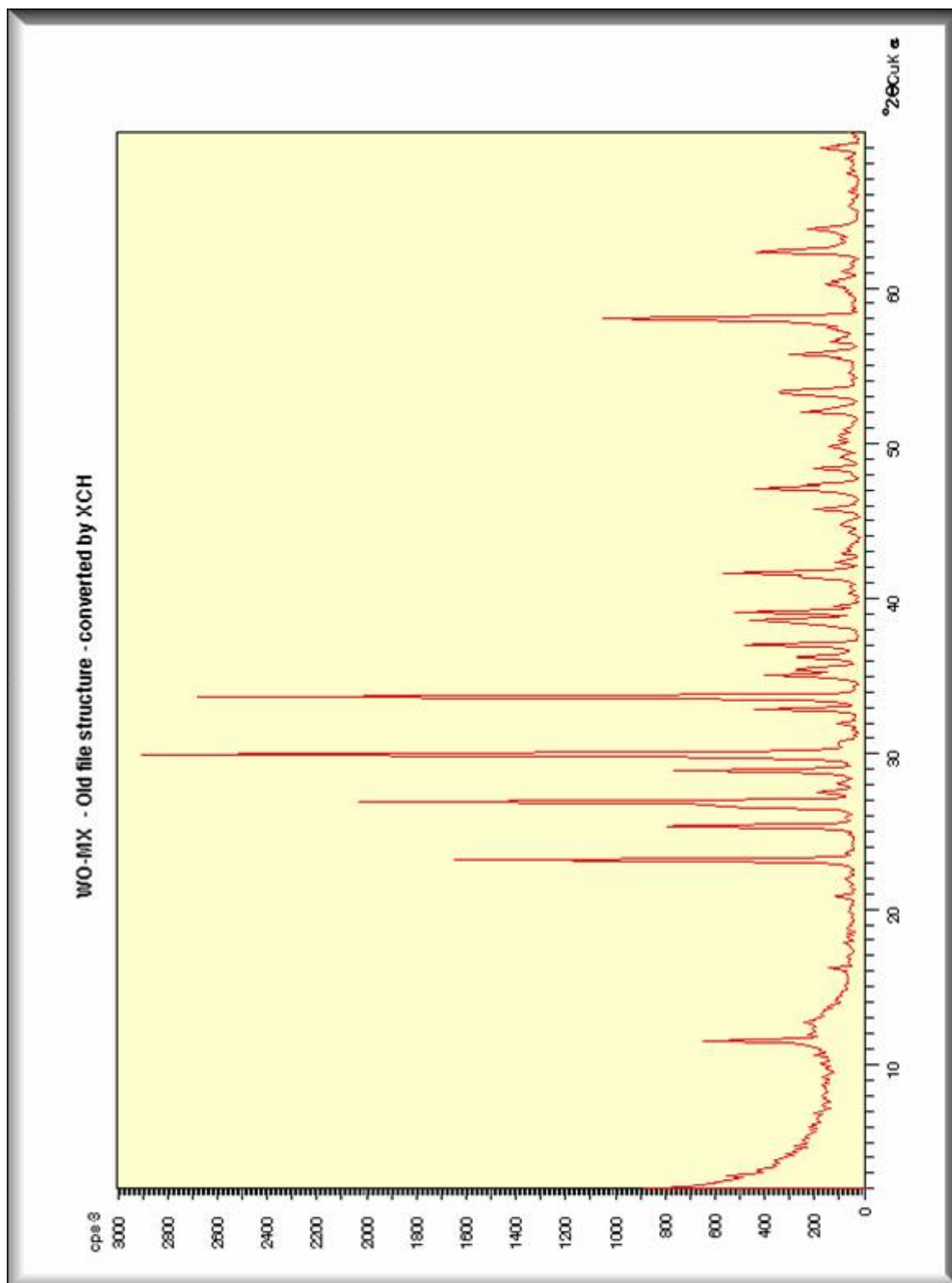
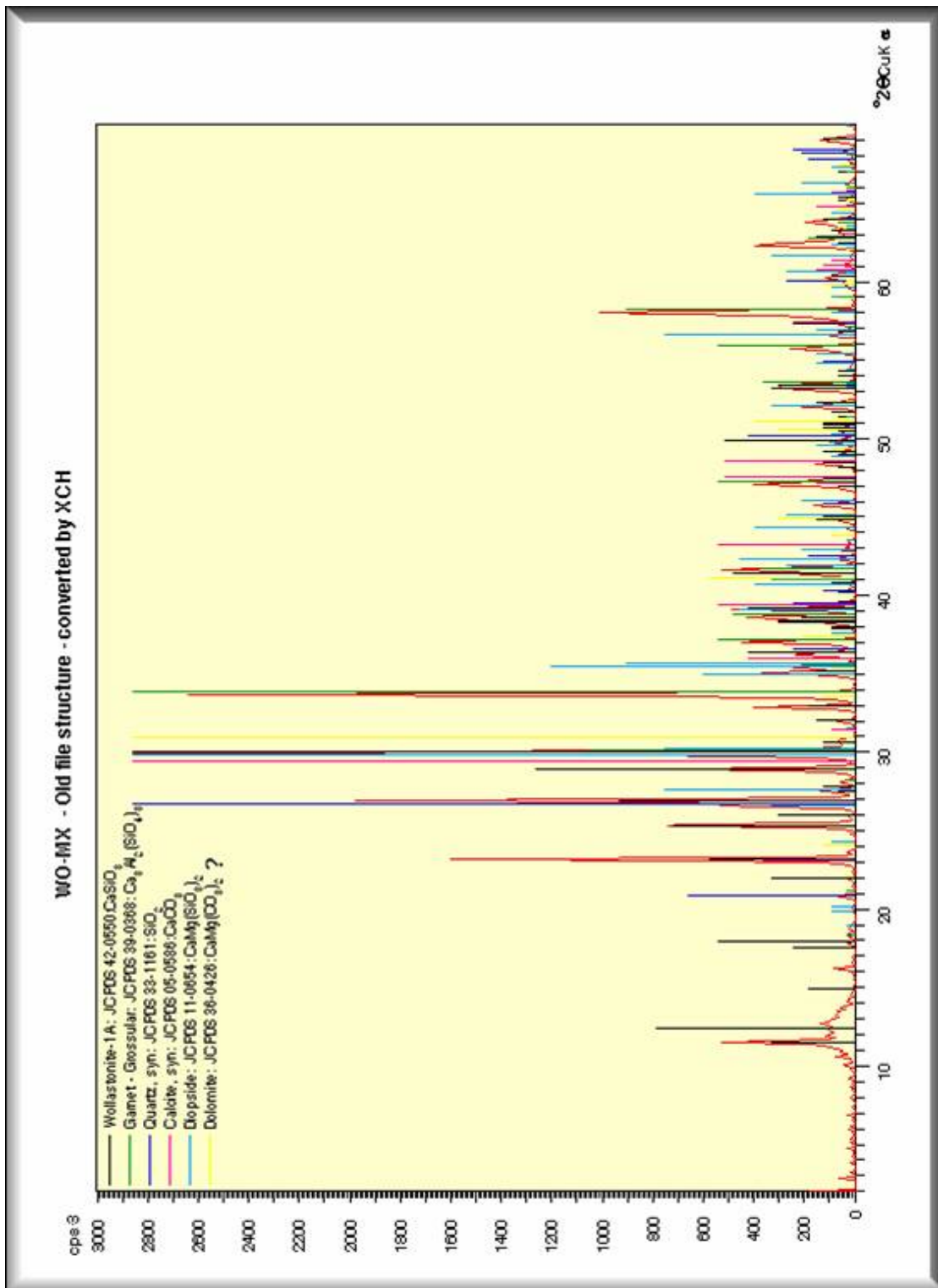


Ilustración 2D Interpretación de difractograma de rayos X



Anexo E

Producción mundial y principales empresas de wollastonita

Tabla 1E Producción a nivel mundial de wollastonita en toneladas

AÑO	EUA	CHINA	FINLANDIA	INDIA	MÉXICO	OTROS*	TOTAL
1990	110000	70000	40000	35000	15000	500	270500
1991	110000	90000	35000	35000	15000	700	285700
1992	110000	105000	35000	36000	15000	900	301900
1993	120000	120000	35000	60000	15000	1182	351182
1994	120000	150000	27000	78648	36000	1500	413148
1995	125000	250000	29000	79000	29000	2000	514000
1996	150000	250000	22300	80000	29000	2000	533300
1997	150000	300000	23000	80000	20365	2000	575365
1998	150000	300000	22000	83000	41264	2000	598264
1999	150000	300000	22000	83000	44126	2000	601126
2000	150000	200000	20000	100000	75000	5000	550000

* Incluye Republica Checa, Kenia, Corea del Norte, Namibia, Pakistán, Sudáfrica y Turquía
Fuente: Harben P., 2002. "Wollastonite" *The industrial Minerals HandyBook, 4th edition*

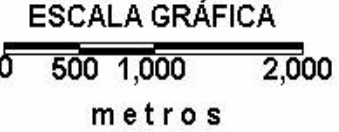
Tabla 2E Principales compañías mineras productoras de wollastonita a nivel mundial

PRODUCTOR	UBICACIÓN
NYCO Minerals Inc.	Dos minas (Lewis y Oak Hill), y planta en Willsboro, Nueva York, E.U.A.
Minera NYCO S. A. de C. V.	Mina y planta en Pilares, Sonora, México
RT Vanderbilt Co. Inc.	Coproductores de Gouverneur Talc mine, cerca de Harrisville Nueva York, E.U.A.
Wolken India Ltd	Dos minas en Belka Pahar y Kherataria, Rajasthan, India
Lishu Wollastonite Mining Industry Co.	Varias minas en las provincias de Jilin y Liaoning, China
Nordkalk Corp	Coproduce con la mina de caliza de Lappeenranta, Finlandia
Otros Productores Chinos a menor escala	
Nanchuan Minerals Group	Dos minas en la provincia de Jilin, China
Sanyi Mining Denvelopment Co. LTd	Cuatro minas en la provincia de Jilin, China
Jilin Shanwei Wollastonite Minino Co. Ltd	Una mina en la provincia de Jilin, China
Xinyu South Wollastonite Industry Co. Ltd	Una mina en la provincia de Jilin, China
<i>Fuente: Moore P., 2003 "Changing tracks, a switch in demand from commodity to high value wollastonite grades has prompted producers to target new markets" Industrial Minerals, September 2003</i>	



SIMBOLOGÍA

- Eoceno
Monzodioritas-granodioritas
(Intrusivo La Encarnación)
- Cretácico inferior
Calizas
(Fm. Tamaulipas-El Doctor)
- Cretácico superior
Margas, lutitas, limonitas
(Fm. Méndez-Soyata)
- Carretera federal
- Terracería
- Mina
- Cabalgamiento
- Banco de mármol
- Banco de wollastonita



**MAPA
GEOLÓGICO
DE VILLA JUÁREZ**

Yaneri López Acosta

Modificado de Flores-Castro (2001)