



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

T E S I S

*Caracterización de la Migmatita Magdalena y
Geoquímica de los Diques San Miguel,
Grupo Petlalcingo, Complejo Acatlán, Sur de México*

Presentada para obtener el título de:

GEÓLOGO

Por:

Germán Darío Figueroa Salguero

Sinodales

Dra. Diana María Meza Figueroa

M.C. Ricardo Vega Granillo

M.C. Saúl Herrera Urbina

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10

FAX 259 21 11

Agosto 25, 2003.

60 AÑOS GENERANDO FUTURO, GENERANDO SABER

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA

Jefe del Departamento de Geología
Universidad de Sonora

Presente

Por este conducto me permito someter a su consideración el siguiente tema de tesis intitulada:

ha concluido la realización de su tesis de licenciatura titulada

***“CARACTERIZACION DE LA MIGMATITA MAGDALENA Y
GEOQUÍMICA DE LOS DIQUES SAN MIGUEL, GRUPO
PETLALCINGO, COMPLEJO ACATLAN, SUR DE MÉXICO”***

Esto es con el fin de que el alumno:

GERMAN DARIO FIGUEROA SALGUERO

Puedan presentar su examen profesional, para la obtención de su título. En espera de su respuesta, quedo de Usted.

ATENTAMENTE


DRA. DIANA MA. MEZA
Director de Tesis



C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

Agosto 28, 2003.

60 AÑOS GENERANDO FUTURO, GENERANDO SABER

DRA. DIANA MA. MEZA

Director de Tesis
Departamento de Geología
Universidad de Sonora
P r e s e n t e

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

“CARACTERIZACION DE LA MIGMATITA MAGDALENA Y GEOQUÍMICA DE LOS DIQUES SAN MIGUEL, GRUPO PETLALCINGO, COMPLEJO ACATLAN, SUR DE MÉXICO”

Esto es con el fin de que el alumno:

GERMAN DARIO FIGUEROA SALGUERO

pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

**M.C. SAUL HERRERA URBINA
M.C. RICARDO VEGA GRANILLO
DRA. DIANA MA. MEZA FIGUEROA**

**PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL**

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA

Jefe de Departamento



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO DE
GEOLOGIA

C.c.p. Archivo
C.c.p. Interesado





NOMBRE DE LA TESIS:

**“CARACTERIZACION DE LA MIGMATITA MAGDALENA Y
 GEOQUIMICA DE LOS DIQUES SAN MIGUEL, GRUPO
 PETLALCINGO, COMPLEJO ACATLAN, SUR DE MEXICO”**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

GERMAN DARIO FIGUEROA SALGUERO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

M.C. SAUL HERRERA URBINA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

M.C. RICARDO VEGA GRANILLO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

DRA. DIANA MA. MEZA FIGUEROA

**ATENTAMENTE
 “EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”**

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
 Jefe de Departamento



60 AÑOS GENERANDO FUTURO, GENERANDO SABER



**ESTE TRABAJO SE ENMARCA DENTRO DEL PROYECTO
CONACYT J32549-T "DETERMINACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS
DE PRESIÓN-TEMPERATURA-TIEMPO (P-T-t) COMO UNA VÍA
PARA ESTABLECER LA EVOLUCIÓN TECTONOMETAMÓRFICA
DEL COMPLEJO ACATLÁN"**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de licenciatura con mucho cariño a mis padres, por su valioso apoyo moral y económico que siempre brindaron a lo largo de mi formación académica.

**Ma. de Jesús Salguero
Francisco Figueroa Soto**

y a mi hermanos...

**Francia Lilian Figueroa Salguero
Ariel Arturo Figueroa Salguero**

Con mucho cariño a mi nana y abuela...

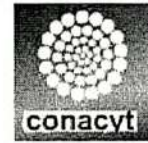
**Alta Gracia Soto
Ma. Luisa Salguero**

A mis tíos...

**Antonieta, Ciria, Ma. de Jesús, Carmelita, Catalina, Miguel, Alfredo,
Alejandro, Martha y Fm. Luviano Flores.**

AGRADECIMIENTOS

Instituciones



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme permitido realizar la tesis "Caracterización de la Migmatita Magdalena y Geoquímica de los diques San Miguel", dentro del proyecto "Determinación de las Trayectorias de Presión Temperatura Tiempo (P-T-t) como una vía para establecer la Evolución Tectonometamórfica del Complejo Acatlán" brindándome la oportunidad de titularme como Geólogo.



Universidad de Sonora y al Departamento de Geología por permitirme formar parte de esta institución y darme una formación profesional a través de esta tesis de licenciatura. De igual forma agradezco al Departamento de Minas por su apoyo brindado con la petrografía.



Universidad de Arizona: al Departamento de Geociencias y al Departamento de Ciencias Planetarias por permitir los estudios de Microsonda electrónica y a la Biblioteca de Ciencias por permitir la consulta bibliográfica.



Universidad Autónoma de Guerrero por todo su apoyo académico-profesional para el estudio de la geología de campo.



Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geología (Cd. Universitaria); por su apoyo en las expediciones de campo y a la ERNO (Hermosillo Sonora); por su apoyo en la molienda y consulta bibliográfica.

AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer a mi directora de tesis, **Dra. Diana María Meza Figueroa**, por darme su confianza para realización de este trabajo, paciencia, apoyo, atenciones y enseñanza de las rocas metamórficas y geoquímica aplicada, así como aprender las diversas las tareas desde el punto de vista académico como profesional. Nunca dejare de agradecerlo...

Agradezco al **M.C. Ricardo Vega Granillo** por su confianza, tiempo y compartir su sabiduría en la petrología, petrografía metamórfica, geología estructural y tectónica durante el trabajo de campo y gabinete. Sin duda su persona y carisma fue una de las mejores cosas durante esta etapa.

Agradezco al **M.C. Saúl Herrera** por aceptar ser mi sinodal sin objeción alguna, también por su asesoría en los trabajos y su atenciones en la escuela de Geología.

Agradezco al **Dr. Oscar Talavera** de la Universidad Autónoma de Guerrero por su gran confianza y enseñanza acerca del metamorfismo del Complejo Acatlán y geología de campo durante mi estancia en Puebla.

Agradezco con mucho cariño a **Rosa E. Gutiérrez**, por su compañía en las buenas y en las malas, siendo siempre mi brazo derecho ante muchas situaciones, su paciencia y apoyo durante tanto tiempo...

AGRADECIMIENTOS

Dr. Joaquín Ruiz del Dpto. de Geociencias de la Universidad de Arizona por su aceptación y hospitalidad durante la visita a dicha institución.

Dr. Kenneth Domanik del Dpto. de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona; por habernos apoyado con los análisis de microsonda electrónica.

Dr. Oscar Talavera de la Universidad Autónoma de Guerrero, Escuela Regional de Ciencias de la Tierra; por su confianza y gran ayuda en la geología de campo.

Dra. Diana Meza del Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica del Dpto. de Geología UNISON; por la realización de análisis geoquímicos.

Dr. Thierry Calmus del Instituto de Geología de la UNAM (Hermosillo Sonora) UNAM por facilitarnos el préstamo del automóvil en la UNAM (Cd. de México) para las excursiones geológicas.

M.C. Elizabeth Araux del Dpto. de Minas de la Universidad de Sonora; por permitir el préstamo de equipo de petrografía, minerografía y fotografía al microscopio.

Dr. Francisco Paz del Dpto. de Geología de la Universidad de Sonora; por el préstamo de equipo de pulverización de rocas y compañía.

Pablo Peñaflor y Rosy C. De la ERNO-UNAM; por su préstamo de equipo de molienda de rocas y atención en la búsqueda de información bibliográfica.

M.C. Ricardo Vega del Dpto. de Geología UNISON por su compañía en la visita geológica al Complejo Acatlán y préstamo de la cámara fotográfica.

M.C. Fco. Grijalva e M.C. Ismael Minjarez por su aceptación sobre el trabajo de tesis. Así como a los maestros: Olivía Pérez y las secretarías del Dpto. de Geología.

P.a. Rosa E. Gutiérrez del Geología de la UNISON, por su apoyo con la digitalización de mapas en AutocadMap2000.

P.a. Fco. Ariel Miranda (Paquito) y Geol. Saúl Peña (Saulito) del Lab. de Sensoria Remota del Dpto. de Geología de la UNISON por echarme la mano con Arc View y otros sistemas computacionales.

M.C. Rafa del Río y M.C. Víctor Valencia del Dpto. de Geociencias de la Universidad de Arizona, por ayuda y asesoría, de forma tan agradable en nuestra visita a la Universidad de Arizona.

Ing. Julio C. De la Cruz por su asesoría y ayuda con la molienda y pulverización de muestras además de su apoyo técnico.

P.a Sergio A. Salgado de la Universidad Autónoma de Guerrero (ERCT) por su apoyo con el vehículo en la geología de campo, apoyo y amable hospitalidad en Taxco Guerrero.

Gilberto Rosas estudiante de la Universidad Autónoma de Guerrero (ERCT) por su compañía y ayuda en la geología de campo.

De igual forma quiero agradecer a compañeros y amigos que siempre y en todo momento estuvieron apoyándome:

Geologuitos: Andrea Muñoz, Jorge Ortiz, Fco. Romero (paco), al compadre Luis López (Chiquis), y Hertha de la Parra, y la Fam. Palafox Moreno.

AGRADEZCO A TODA LA COMUNIDAD GEOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA.

Flascamate!!!

GERMAN D. FIGUEROA S.

GFS

La casualidad está a favor de la ciencia...

CPS

ÍNDICE

	Pags.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. COMPLEJO ACATLÁN	4
II. 1 Grupo Petlalcingo	4
II. 1. 1 Migmatita Magdalena	4
II. 1. 2 Formación Esquistos Chazumba	7
II. 1. 3 Formación Cosoltepec	7
II. 2 Grupo Piaxtla	8
II. 2. 1 Formación Xayacatlán	8
II. 2. 2 Granitoides Esperanza	9
II. 2. 3 Granitos Teticic	10
II. 3 Formación Tecomate	10
II. 4 Granitos Los Hornos	11
II. 5 Tronco de Totoltepec	12
II. 6 Diques San Miguel	12
II. 7 Olinala-Patlanoaya-Formación Matzizi	13
II. 8 Geocronología del Complejo Acatlán	14
III METODOLOGIA	16
III. 1 Trabajo de Gabinete	16
III. 2 Obtención de Análisis	16
III. 3 Recopilación de Información	18
IV GEOLOGIA LOCAL	19
IV. 1 Localización del área de estudio	19
IV. 2 Relaciones de Campo	19
IV. 3 Litología y estructuras	21
IV. 3.1 Migmatita Magdalena	21
IV. 3.2 Formación Chazumba	27
V OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	30
V. 1 Petrología	30
V. 1. 1 Petrografía	30
V. 1. 2 Química Mineral	38
V. 1. 3 Condiciones Térmicas de Metamorfismo	50
V. 2 Geoquímica	56
V. 2. 1 Selección del método Analítico apropiado	57
V. 2. 2 Generalidades de ICP-OES e ICP-MS	57
V. 2. 3 Resultados	60
V. 3 Deformación	67
VI CONCLUSIONES	72
VII TRABAJOS FUTUROS	76
VIII BIBLIOGRAFÍA	77
IX APENDICES	82
IX.1 Petrografía del Grupo Petlalcingo	82
IX.2 Cálculo de la fórmula estructural de un mineral	88
IX.3 Conceptos básicos sobre migmatitas	94
IX. 3. 1 Definición	94
IX. 3. 2 Estructuras megascópicas de las migmatitas	95
IX. 3. 3 Formación de las migmatitas	97
IX. 3. 4 Modelo orogénico propuesto por Vanderhaeghe	99

Índice de figuras

	Pags.
Figura 1. Tectonoestratigrafía del Complejo Acatlán del sur de México (Campa y Coney 1983)	1
Figura 2. Geología del Complejo Acatlán, después de Ortega-Gutiérrez et al (1999)	3
Figura 3. Columna Estratigráfica del Complejo Acatlán; Modificado de: Ortega-Gutiérrez et al (1999) y Ramírez Espinoza (2001).....	5
Figura 4. Plano de Localización de área de la Migmatita Magdalena	20
Figura 5. Geología Local del área de estudio	22
Figura 6. Sección A-A'; Santa María Ayú-Magdalena	24
Figura 7. Sección B-B'; Magdalena-San Miguel Ixtapan	26
Figura 8. Sección C-C'; Tultitlán-Santa Cruz Encinal-Cosoltepec	28
Figura 9. Columna Estratigráfica del Grupo Petlalcingo	29
Figura 10. Histograma en base a contenido de sílice de micas blancas	42
Figura 11. Esquema de clasificación de anfíboles cálcicos Leake et al. (1997)	44
Figura 12. Rango composicional de plagioclasas en facies de anfibolitas del Grupo Petlalcingo	46
Figura 13. Clasificación de granates, Coleman et al. 1965	48
Figura 14. Microfotografías de microsonda electrónica en esquistos de biotita y anfibolita cálcica	50
Figura 15. Variación composicional de anfíboles definiendo parte de historia retrograda del Grupo Piaxtla y anfibolitas del Grupo Petlalcingo	51
Figura 16. Geotermómetro de plagioclasa-anfibol Spears (1980)	52
Figura 17. Reacciones minerales en el sistema KFMASH (después de Spears y Cheny (1989), Yardley (1989), y Bucher y Frey (1994)) documentado para rocas pelíticas de la Formación Silgará (Colombia), comparado con el Grupo Petlalcingo del Complejo Acatlán	53
Figura 18. Comparación en la composición química de rocas pelíticas de la Fm Silgará (Andes Colombia) y rocas del Grupo Petlalcingo. $Fe/(Fe+Mg)$ contra Al IV y Celadonita vs $Na/(Na+K)$	54
Figura 19. Composición química de anfíboles en la Fm. Silgará. (a) Al en el sitio T1 contra el sitio A, (b) Al en sitio T1 contra Al en el sitio M2 y (c) Al en el sitio T1 contra Ti en el sitio M2 y anfíboles del Grupo Petlalcingo (Migmatita Magdalena y Fm. Chazumba).	55
Figura 20. Diagrama de discriminación de granitos (después de Paerce et al. 1984)	62
Figura 21. Diagrama de REE, Evensen et al (1978) condrita para el Grupo Petlalcingo	63
Figura 22. Diagrama de multielementos, Thompson (1982) condrita.....	65
Figura 23. REE y elementos traza de anfibolitas comparada con anfibolitas y eclogitas del Grupo Piaxtla	67
Figura 24. Proyección estereográfica de estructuras. Formación Tecomate y Formación Cosoltepec; (Malone et al 2001)	71
Figura 25. Mapa Complejo Acatlán, Grupo Petlalcingo	75
Figura 26. Nomenclatura de la migmatita estromática de acuerdo a Mehnert (1968) y Johannes (1983)	95
Figura 27. Modelo orogénico propuesto por Vanderhaeghe (2000)	100

Índice de tablas

	Pags.
Tabla 1. Edades correspondientes a la Migmatita Magdalena y rocas intrusivas asociadas	6
Tabla 2. Edades Radiométricas del Complejo Acatlán	15
Tabla 3. Cronología de eventos metamórficos de anfibolitas en la región de Santa Ma Ayú-Magdalena	34
Tabla 4. Cronología de eventos metamórficos de leucosomas en la región de Magdalena a San Miguel Ixtapan	34
Tabla 5. Cronología de eventos metamórficos esquistos de biotita/muscovita en la región de Magdalena-Santa Cruz Encinal-Tultitlán	35
Tabla 6. Cronología de eventos metamórficos diques pegmatíticos/aplíticos en la región de San Miguel Ixtapan Tultitlán y regiones aledañas	35
Tabla 7. Cronología de eventos metamórficos de diques graníticos en la región de Tultitlán-Santa Cruz Encinal	35
Tabla 8. Análisis de microsonda electrónica de micas en facies de anfibolitas	43
Tabla 9. Análisis de microsonda electrónica de anfíboles cálcicos en facies de anfibolitas	45
Tabla 10. Análisis de microsonda electrónica de feldespatos plagioclasa en facies de anfibolitas	47
Tabla 11. Análisis de microsonda electrónica de granate en facies de anfibolitas	49
Tabla 12. Tabla periódica de los elementos químicos mostrando los elementos traza, platinoides de transición y tierras raras	57
Tabla 13. Elementos químicos que pueden ser analizados por ICP-OES	58
Tabla 14. Elementos químicos que pueden ser analizados por ICP-MS	58
Tabla 15. Composición química de las rocas del Grupo Petlalcingo	61
Tabla 16. Procedimiento para el cálculo de la fórmula química de un mineral	88
Tabla 17. Pesos atómicos y moleculares	89
Apendices	
Tabla 18. Análisis de microsonda electrónica en micas de facies anfibolitas	90
Tabla 19. Análisis de microsonda electrónica en micas de facies anfibolitas	91
Tabla 20. Análisis de microsonda electrónica en feldespatos de facies anfibolitas	92
Tabla 21. Normalización de REE usando valores de condritas (diversos autores)	93
Tabla 22. Resumen de estructuras de migmatitas (Mehnert 1968)	98
Tabla 23. Características petrográficas de las migmatitas (después de Mehnert 1963)	99

Índice de fotos

	Pags.
SECCION A-A'	24
Foto A) Migmatita estromática	
Foto B) Nodulo de clinopiroxenita	
Foto C) Migmatita estromática plegada	
Foto D)Bloque anfibolitico abudinado	
Foto E) Estructura schollen	
SECCIÓN B-B	26
Foto A) Estructura Phebitic (vein)	
Foto B) Estructura Ptygmática	
Foto C) Estructura de hongo	
SECCIÓN C-C	28
Foto A) Dique pegmatitico fallado	
PETROGRAFÍA	
Foto P1. Anfibolita (Hornb + Plag), (ACA 98)	36
Foto P2. Anfibolita calcarea con piroxenos (ACA 100)	36
Foto P3. Trondhjemitita (ACA 103)	37
Foto P4. Aplita cuarzo feldespática con granate (ACA 45)	37
Foto P5. Esquisto de biotita con sillimanita (ACA 106)	38
Foto P6. Paragneis con biotita y muscovita (ACA 107)	38
Foto P7. Esquisto de sillimanitacon biotita (ACA 110)	39
Foto P8. Granito de biotita (ACA 111)	39
Foto P9. Esquisto de biotita (ACA 112)	40
Foto P10. Paragneiss? ó esquisto de biotita (ACA 114)	40
Foto 20. Microsonda electrónica CAMECA SX50	41
Foto 21. Espectrómetro de emisión óptica Perkin-Elmer 4200 DV. Depto. de Geología de la Universidad de Sonora	59
Foto 22. Área de preparación de muestras (Química Húmeda). Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora	59

I. INTRODUCCION

El Complejo Acatlán del sur de México se define como un complejo polimetamórfico del Paleozoico Inferior con variados y contrastantes regímenes de P-T, se ubica a unos 60 Kms. de la Costa del Pacífico y a 200 Kms. del Complejo Oaxaca, cubriendo una superficie aproximada de 10 000 Kms².

El Complejo Acatlán, constituye geológicamente, el basamento del Terreno Mixteco de la región del sur de Puebla, noreste de Guerrero y noroeste de Oaxaca (Fig. 1). Se encuentra limitado hacia el este por el Terreno Oaxaca, hacia el sur por el Terreno Xolapa, hacia el oeste por el Terreno Guerrero y hacia el norte su límite es la cobertura del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (Campa y Coney 1983; figura 1).

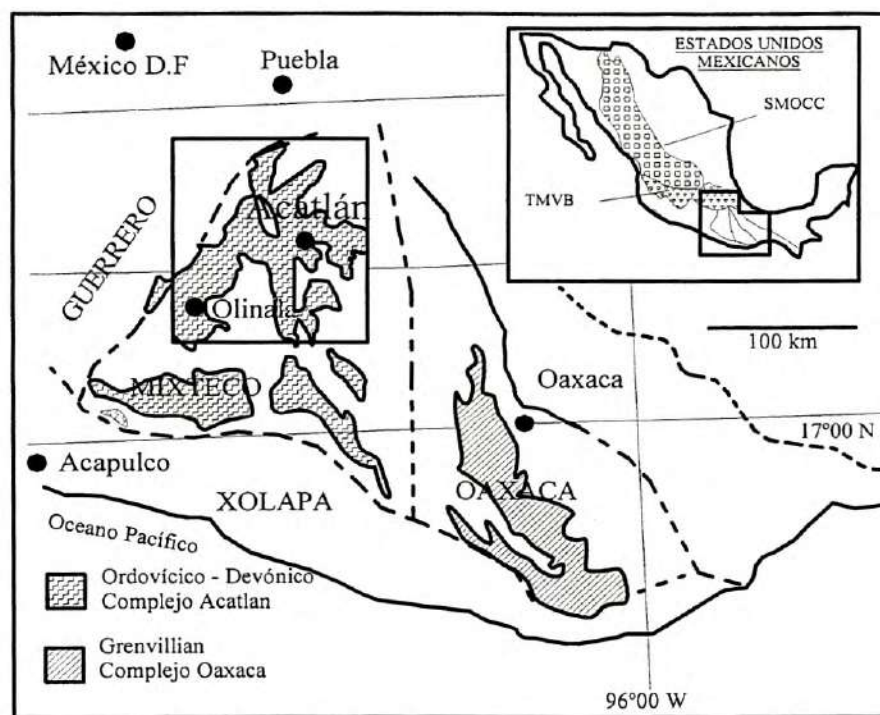


Figura 1. Tectonoestratigrafía del Complejo Acatlán del sur de México. Terrenos Guerrero y Xolapa de edad Mesozoica, Sierra Madre Occidental de rocas del Oligoceno y Plioceno-Cuaternario (SMOCC) y Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB) están incluidos en el mapa.

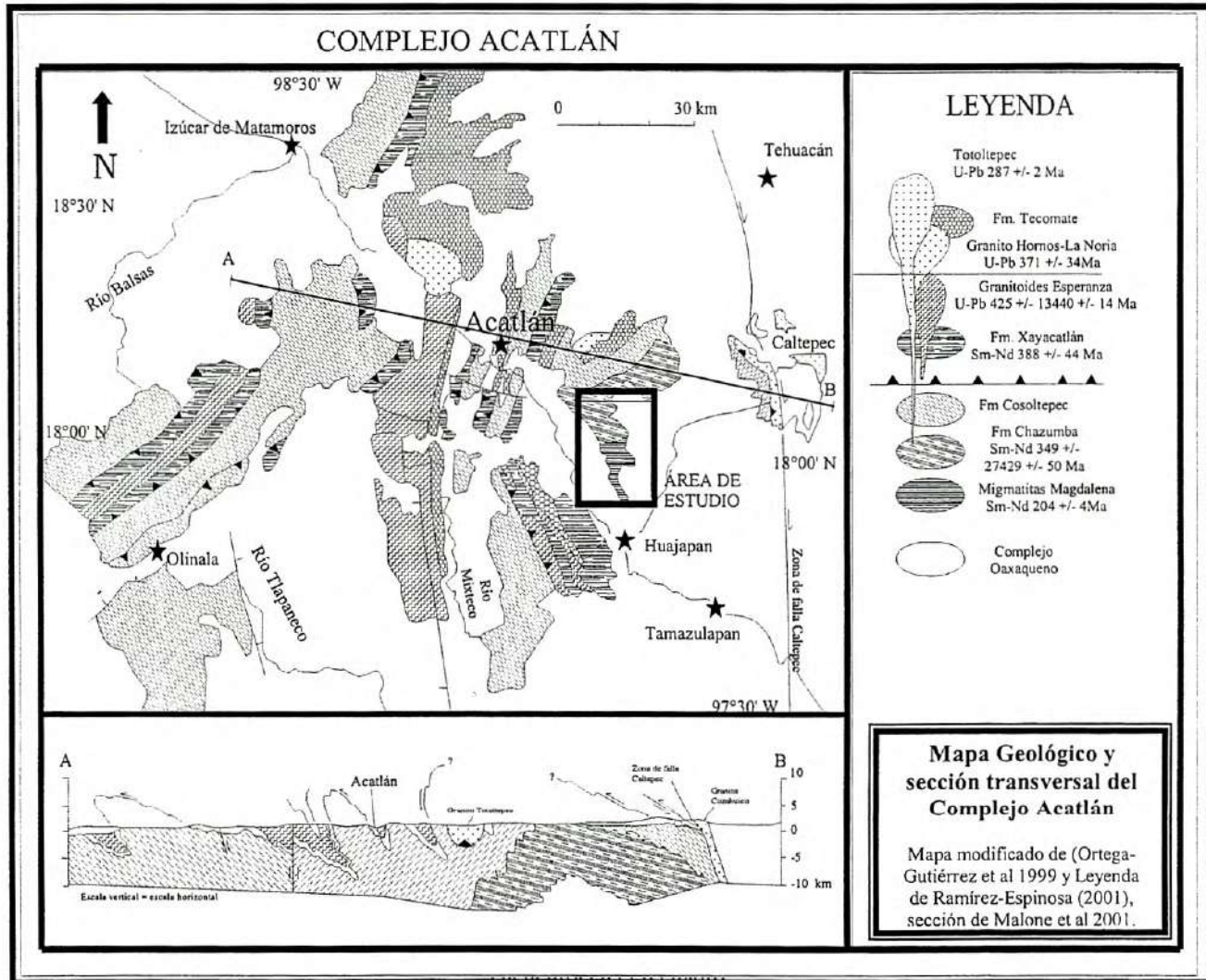
El Terreno Mixteco comprende la región del sur de Puebla, noreste de Guerrero y noroeste de Oaxaca y consiste de dos partes fundamentales: (i) un basamento Paleozoico Temprano-Medio llamado Complejo Acatlán (Ortega-Gutiérrez 1978) tectónicamente

yuxtapuesto al Complejo Oaxaca de edad Grenvilliana (ii) La cobertura continental está constituida por: sedimentos marinos someros del Paleozoico Tardío, como escasas unidades plutónicas (intrusivos y migmatitas del Triásico), y una extensiva y gruesa capa de lechos rojos e intervalos marinos con lavas ocasionales basálticas e intrusivos graníticos del Jurásico. En la región oeste del Terreno Mixteco predominan rocas volcánicas y sedimentarias Cretácicas y Terciarias. La secuencia Cretácica se encuentra constituida por una plataforma de capas de calizas con edad Albiana-Cenomiana llamada Formación Morelos y es limitada por un flysch Cretácico Tardío nombrada Formación Mezcala.

El Terreno Mixteco limita al este por el Terreno Oaxaca, el cual se compone de rocas Paleozoicas y Mesozoicas no deformadas a débilmente deformadas que cubren a un basamento granulítico de edad Grenvilliana, ambos terrenos a su vez, están cubiertos por secuencias a las que se les ha atribuido una edad del Pensilvánico al Pérmico (Formación Matzizi). El Terreno Xolapa, compuesto por rocas plutónicas y rocas metamórficas que han sido muy poco datadas con edades posiblemente Mesozoicas y Terciarias. El Terreno Guerrero está constituido por una asociación de unidades litológicas de edad Mesozoica que corresponden a un o varios arcos de islas que fueron desplazados a finales del Cretácico, al este sobre el Terreno Mixteco (Campa y Coney, 1983). El límite norte del Terreno Mixteco se encuentra cubierto por el Cinturón Volcánico Transmexicano, y por lo tanto, se desconoce si su límite norte es con el Terreno Guerrero o el Terreno Sierra Madre.

En términos generales, el Complejo Acatlán está formado por dos unidades estructurales, la unidad tectónica inferior se conoce como Grupo Petlalcingo y consiste de un paquete de rocas metasedimentarias en la cual se incluyen migmatitas, esquistos de biotita, filitas y cuarcitas. Desde la parte inferior a la parte superior, el Grupo Petlalcingo se divide en tres unidades: (i) Migmatita Magdalena, (ii) Formación Esquistos Chazumba, y (iii) Formación Cosoltepec. La unidad estructuralmente superior es llamada Grupo Piaxtla la cual se forma de (i) rocas máficas-ultramáficas eclogitizadas y anfibolitas con granate intercaladas con rocas pelíticas y rocas metasedimentarias silíceas (Formación Xayacatlán). La unidad anterior se encuentra sobreyacida estructuralmente por (ii) una secuencia de rocas graníticas aplíticas pegmatíticas cataclásticas así como cuerpos tabulares de dimensión variable, fabrica y composición que varían de augengneis a augenesquisto presumiblemente afectados por metamorfismo de alta presión (Granitoides Esperanza). Ambas unidades tectónicas son cubiertas discordantemente por una unidad

vulcanosedimentaria débilmente metamorfoseada pero fuertemente deformada de edad Devónica nombrada Formación Tecomate, así mismo son cortadas por intrusivos de cuerpos plutónicos postectónicos (Totoltepec, Granito Los Hornos) Figura 2.



El Complejo Acatlán representa una pieza importante en las reconstrucción de los orógenos Paleozoicos. Debido a las similitudes tectonoestratigráficas del Complejo Acatlán con otras partes de las cadenas Apalachanas y a la proximidad con gneisses grenvillianos del Complejo Oaxaca, se ha interpretado que el Complejo Acatlán es producto de la colisión Laurentia-Gondwana (Yáñez et al, 1991, Ortega Gutiérrez et al 1999, Keppie y Ramos, 1999). Sin embargo, la posición paleogeográfica del Complejo Acatlán durante el Paleozoico se desconoce y existen varios modelos que intentan explicar su evolución tectónica, pero a la fecha ningún modelo se considera definitivo, básicamente porque se carece de información sistemática

(geocronología, geología isotópica, geoquímica, petrología y estructural) que permita una correlación más directa con otros orógenos Paleozoicos del mundo.

La mayoría de los estudios elaborados en el Complejo Acatlán se han centrado en las dos formaciones del Grupo Piaxtla. Por otra lado, la Formación Cosoltepec del Grupo Petlalcingo ha sido estudiada por Ramírez (2001) en la región occidental del Complejo Acatlán, sin embargo no hay estudios sistemáticos de las formaciones del Grupo Petlalcingo en la región oriental salvo los trabajos pioneros de Ortega (1975, 1978). Este trabajo genera información básica de rocas del Grupo Petlalcingo en la región de Santa María Ayú y Magdalena (región oriental Complejo), aportando nuevos datos en lo que concierne a la caracterización geoquímica y petrológica de la Migmatita Magdalena y los Diques San Miguel que intrusionan a la Formación Chazumba.

II. COMPLEJO ACATLÁN

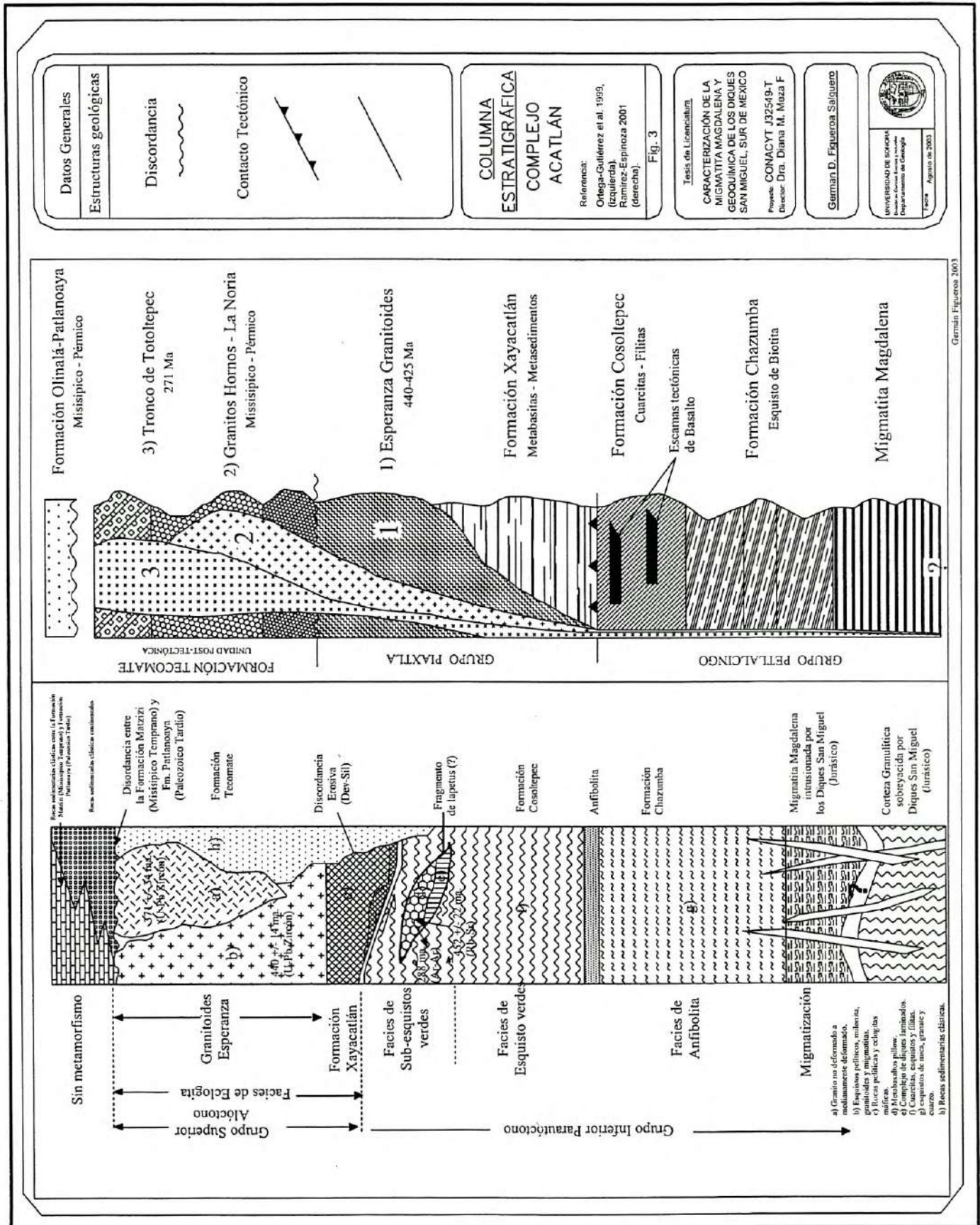
En la siguiente sección se describe la estratigrafía del Complejo Acatlán de la base a la cima.

II.1 Grupo Petlalcingo

Su nombre se toma del poblado de Petlalcingo y forma la parte inferior del Complejo Acatlán, consiste de un paquete de rocas metasedimentarias en la cual se incluyen migmatitas, esquistos de biotita, filitas y cuarcitas. Desde la parte inferior a la parte superior, el Grupo Petlalcingo se divide en tres unidades: La Migmatita Magdalena, la Formación Chazumba y la Formación Cosoltepec, que se ubican entre las poblaciones de Santa María Ayú y Totoltepec en los Estados de Oaxaca y Puebla respectivamente. (Fig. 3).

II.1.1. Migmatita Magdalena

La Migmatita Magdalena se encuentra en los niveles más bajos del Complejo Acatlán, consiste principalmente de una alternancia de neosomas graníticos y paleosomas ricos en biotita. La Migmatita Magdalena exhibe estructuras principalmente bandeadas de tipo "lit-part-lit", nebulíticas y de plegamiento (Mhenert 1968, ver apéndice IX.2), con raras zonas de agmatitas, ofalmitas (augen) y ptygmatitas que sugieren alto grado de fluidez y homogeneidad mecánica en las partes todavía sólidas de la migmatita durante su formación (Ortega-Gutiérrez 1978). El neosoma (anatexítica) es leucocrático y leucopegmatítico, de composición granítica-granodiorítica (Ortega 1978), mientras que el paleosoma probablemente fue una sucesión de rocas calcáreas, areniscas, y dolomias, esto se infiere en base a la presencia de mármoles y rocas



metacalcáreas (piroxenita, calsilicatita) incluidos en la Migmatita Magdalena. Los niveles calsilicatados se componen de cristales de calcita de 1 mm, hasta formar porfiroblastos mayores a 3mm, cristales de diópsida, y pequeños granates de 0.5 mm de diámetro probablemente de tipo grosularia o andradita, también contienen cuarzo y en menor proporción esfena, muscovita y wollastonita?

La edad del protolito y la migmatita hasta hoy permanece incierta. Las edades reportadas para la Migmatita con Sm/Nd en granate roca total y Rb/Sr en muscovita roca total es de 204 ± 6 y 163 ± 2 Ma, respectivamente, (Yáñez et al. 1991); la edad de Sm/Nd es muy parecida a la de las intrusiones de los Diques San Miguel de 207 ± 9 Ma obtenida por Ruiz-Castellanos (1979). En la tabla siguiente se muestra las diferentes edades en la Migmatita Magdalena y rocas intrusivas asociadas.

Roca	Método	Mineral	Edad Ma.	Comentario	Referencia
Paragneis	U-Pb	Circón	$1,187 \pm 52$ 356 ± 140	Interceptas de discordia	2
Migmatita	Sm-Nd	Granate-roca total	204 ± 4		1
Migmatita	Rb-Sr	Granate-roca total	163 ± 2		1
Esquisto	Rb-Sr	Muscovita	220 ± 22		2
Esquisto	Rb-Sr	Biotita	163 ± 16		2
Granito	Sm-Nd	Roca Total	1,870 - 1,320	Edad Modelo	1
Anfibolita	Sm-Nd	Roca Total	760-670	Edad Modelo	1

Tabla 1. de edades de la Migmatita Magdalena y rocas intrusivas asociadas. Yáñez et al 1991; 2 Ruiz Castellanos 1979

La similitud de la deformación y composición entre los granitoides de San Miguel y la Migmatita Magdalena sugieren que ellas pudieron haber sido el resultado de un mismo evento tectonotermal (Yáñez et al. 1991). Sin embargo, si estas edades representan el reseteo de minerales es objeto de debate. La biotita más joven en roca total es de 163 ± 2 Ma para la Magdalena pudiendo ser el resultado de una temperatura de bloqueo de la biotita de aproximadamente $300 \text{ }^\circ\text{C}$ (Dodson 1973). Originalmente Ortega (1975) consideró la migmatización contemporánea con la formación del Grupo Petlalcingo, con un metamorfismo de alto grado que iba decreciendo hacia las formaciones superiores (Chazumba y Cosoltepec).

II.1.2. Formación Chazumba

Esta secuencia cubre estructuralmente a la Migmatita Magdalena, se compone principalmente de micaesquistos pelíticos ricos en biotita y cuarzo, también metapsamitas, pocas cuarcitas y menor cantidad rocas máficas y ultramáficas metamorfizadas. Los esquistos de biotita, que son las rocas más comunes de esta unidad están compuestos mineralógicamente por cristales de tremolita-antofilita-clinocloro y algo de flogopita, y localmente presenta cristales de turmalina (Ortega 1978); el metagabro consiste de labradorita-tremolita cummigtonita-clinocloro con relictos de hornblenda magmática, y como accesorios opacos y circón. Los esquistos de biotita ocurren en diferentes niveles y consiste de biotita-muscovita-granate y cuarzo, ocasionalmente con sillimanita o estaurolita. Toda la secuencia se ve afectada por metamorfismo en facies de anfibolita (Ortega-Gutiérrez 1974) y está extremadamente deformada presentando fases penetrativas de foliación y plegamiento. Ortega-Gutiérrez (1978) consideró que en la parte inferior de la unidad todavía existían esquistos "lit part lit", apareciendo éste en contacto gradual con la Migmatita Magdalena mientras que en la parte superior y en menor abundancia existen intercalaciones de cuarcitas masivas con rocas verdes (Ortega, 1993) que arbitrariamente pudieran ser asignadas a la Formación Chazumba o a la Formación Cosoltepec.

Aunque Ortega (1993) menciona que el metamorfismo de facies anfibolita es Triásico, el metamorfismo de la Formación Chazumba se ha datado en 429 ± 50 Ma (Sm/Nd en granate-roca total, Yáñez et al 1991) con un amplio rango de error que varía del Ordovícico Medio al Devónico Medio; así mismo se ha reportado una edad de 349 Ma por Rb/Sr (muscovita-roca total, Ruiz-Castellanos 1979) con un intervalo de error que va del Devónico Medio al Misisípico. Otra edad reportada en los Esquistos Chazumba es la de Cserna et al (1980) que es de $386 \pm$ Ma (Rb/Sr roca total).

II.1.3. Formación Cosoltepec

La Formación Cosoltepec representa casi el 70% de los afloramientos del Complejo Acatlán. Se encuentra sobreyacida por el Grupo Piaxtla o cubierta discordantemente sobrepuesta por la Formación Tecomate y otras secuencias más jóvenes. La Formación Cosoltepec está constituida por pizarras oscuras, filitas y cuarcitas de grano fino. En la parte este, se presenta un metamorfismo progrado representado por zonas de clorita-biotita-granate; mientras que en la parte oeste, solamente se encuentra caracterizado por la clorita, sericita en rocas psamíticas y pelíticas. Se han reportado bloques dentro de esta unidad, formados por lavas almohadilladas y

macizos rocosos basálticos que presentan el mismo metamorfismo y deformación. Las edades reportadas en estos bloques son de 288 ± 13 Ma ($\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ roca total, Campa y López 2000) y 452 ± 22 Ma (Rb/Sr roca total; Ortega-Gutiérrez et al. 1999). Campa y López (2000) reportaron la presencia de exceso de argón, el cual puede estar asociado al metamorfismo de facies de esquistos verdes, y por esto la edad de estas rocas no está bien definida. La Formación Cosoltepec se encuentra sobrepuesta por el Grupo Piaxtla del Ordovícico Tardío – Silúrico Temprano, así como por la Formación Tecomate de probable edad Devónica. Basado en esto, Ramírez-Espinosa (2001) reporta una mejor estimación de edad de la depositación de la Formación Cosoltepec como Cámbrico(?)–Ordovícico con un amplio registro poblacional de circones detríticos de 560 Ma (Ramírez-Espinosa et al. 2002).

Ramírez-Espinosa (2001) propone que el Grupo Petlalcingo tiene una afinidad oceánica y, basándose en geoquímica y datos isotópicos, sugiere un ambiente de formación de margen continental pasivo. Propone que las rocas volcánicas de esta formación constituyen el piso oceánico donde el sedimento de afinidad Precámbrica fue depositado. Se ha propuesto que esta unidad puede ser correlacionada con aquellos márgenes pasivos compuestos por sedimentos siliciclásticos que limitan a los márgenes Gondwanianos (Ramírez-Espinosa 2001).

II.2. Grupo Piaxtla

La parte superior del Complejo Acatlán, originalmente nombrada por Ortega-Gutiérrez (1974) como Grupo Acateco, fue renombrada como Grupo Piaxtla por Ramírez-Espinosa (2001). La introducción del nombre Grupo Piaxtla es debido a la localidad donde aparecen relacionados la Formación Xayacatlán y los Granitoides Esperanza y también debido a que es la localidad en la cual Ortega-Gutiérrez (1975, 1991, 1993, 1997) ha estudiado y descrito la mayoría de las características petrológicas y estructurales de esas unidades (Fig. 3).

II.2.1. Formación Xayacatlán

Esta unidad está formada por rocas metabasitas, esquistos de mica blanca, gneisses, esquistos azules, anfibolitas porfidoblásticas y en menor escala serpentinitas y rocas ultramáficas, localmente las rocas de esta unidad presentan paragénesis que pueden atribuirse a las facies eclogitas, epidota-anfibolita, esquistos verdes y esquistos azules. Las eclogitas de la Formación Xayacatlán reportan una edad de 388 ± 44 Ma (Sm/Nd granate y roca total, Yáñez et al. 1991). La geoquímica de las eclogitas, esquistos azules y anfibolitas de granate demuestra

que representan material oceánico mezclado con rocas continentales durante la subducción (Meza-Figueroa et al en progreso, comunicación personal). Los análisis de elementos traza y mayores del área de Mimilulco y Piaxtla consistentemente indican dos grupos geoquímicos diferentes: protolitos que consisten de basaltos de dorsal meso oceánica (MORB) y basaltos de isla oceánica OIB o intraplaca (Piaxtla) y basalto de arcos de islas (Mimilulco) (Meza-Figueroa 1998), ambas localidades consideradas como parte del mismo cinturón metamórfico.

La termobarometría indican que el metamorfismo de facies eclogitas fue durante el Ordovícico con temperaturas de $560 \pm 60^\circ\text{C}$ y presiones entre 11 y 15 Kbar (1kbar=100 Mpa). Recientemente se ha reportado la presencia de rocas con facies de esquistos azules en la Formación Xayacatlán hacia la parte oeste del Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza et al, 2002; Meza-Figueroa et al 2003). La termobarometría indica que los esquistos azules se formaron a temperaturas en el rango de $315\text{-}330^\circ\text{C}$ y presiones de 5 y 7 Kb mientras que la retrogresión tuvo lugar a temperaturas entre $340\text{-}350^\circ\text{C}$ y presiones del orden de los 2 Kb (Talavera-Mendoza et al 2002).

II.2.2. Granitoides Esperanza

Rodríguez-Torres (1970) nombra como Formación Esperanza a una secuencia de esquistos y gneisses cuarzo-feldespáticos de supuesto origen volcánico, que consideró como una unidad basal del Complejo Acatlán encima del Complejo Oaxaqueño. Ortega (1978) propone el nombre de Granitoides Esperanza para una unidad equivalente a la propuesta originalmente, consistente de granitos milonitizados con asociaciones de diques pegmatíticos, aplíticos, y máficos. Sus texturas de metamorfismo dinámico son muy complejas, van de ultramilonita a augengneis, protomilonitas, blastomilonitas y raramente granitos sin deformación y pegmatitas.

Los Granitoides Esperanza se han asociado junto con la Formación Xayacatlán debido a que mantienen un metamorfismo similar de alta presión pero erróneamente se había considerado una edad Devónica (U/Pb zircón de 371 ± 34 Ma, Yáñez et al. 1991), ya que Ortega-Gutiérrez et al. (1999) reportaron en dos diferentes localidades de los Granitoides Esperanza, edades del Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano (U/Pb zircón 440 ± 14 Ma.). Ramírez y Talavera (1997) y Farfán-Panamá (1998) determinaron que los Granitoides Esperanza están constituidos por conjuntos litológicos distintos con diferencias mineralógicas, composicionales y deformacionales importantes en la región de Tehuizingo y Olinalá. Los mismos autores

proponen que probablemente se trata de diferentes granitoides dentro del Complejo Acatlán con similar deformación milonítica pero diferentes en metamorfismo y edad.

II.2.3 Granitos Teticic

Estos granitos están representados por una fase leucocrática alta en sílice en la cual se incluyen diques, así como cuerpos de stock de grano fino a medio. Estos granitos constituyen el único grupo que presenta relaciones claramente intrusivas con los grupos metamórficos dentro del Complejo Acatlán (Petlalcingo y Piaxtla) Ramírez-Espinoza (2001). Este tipo de granito presenta variaciones texturales del rango de milonitas a fábricas de grano fino suavemente deformadas. Localmente, algunos diques desarrollan fases micro-augen esquistosas con pequeños cristales de cuarzo (0.5 a 1 cm.) como los principales porfiroblastos. Muchos stocks milonitizados foliados se encuentran muy asociados con los Granitoides Esperanza, mientras aquellos intrusivos que exhiben cristales de grano medio y débil deformación parecen estar más asociados a la Formación Tecomate. Ramírez-Espinoza (2001) asignó una edad Carbonífera a los Granitos Teticic basándose en la relación intrusiva con la Formación Xayacatlán y los Granitoides Esperanza, sin embargo en las inmediaciones de Teticic, Xixila y Tecosajca, Campa-Uranga et al (2002) reporta una edad Ordovícica para los Granitos Teticic (análisis de U/Pb en circón, 478 ± 5.2 Ma). Aunque no se han considerado a los Granitos Teticic como parte del Grupo Piaxtla, esta unidad es incluida aquí debido a su edad Ordovícica.

II.3 Formación Tecomate

La Formación Tecomate es una secuencia compuesta principalmente por rocas volcánicas básicas, areniscas y filitas afectadas por un metamorfismo de facies de esquistos verdes, su deformación se caracteriza por pliegues isoclinales, crenulación e intensa cataclasis en la base (Ramírez-Espinoza 2001). Se distribuye ampliamente en la región central norte del Complejo Acatlán (Fig 2), la mayoría de los afloramientos se extienden con una orientación NNE-SSW a NW-SE dejando estructuras que convergen al oeste por más de 25 kilómetros. Hasta la fecha, la Formación Tecomate se considera como la unidad metamórfica estructuralmente más alta y representa las asociaciones postectónicas más tempranas. Los datos estructurales y procedencia sedimentaria sugieren que esta formación se encuentra discordantemente sobre el Grupo Petlalcingo y Grupo Piaxtla (Ortega-Gutiérrez 1993; Sánchez Zavala y Ortega-Gutiérrez, 1997, 1998), y ésta a su vez se encuentra cubierta por sedimentos marinos y continentales sin metamorfismo de edad Carbonífera-Pérmica (Formación Patlanoaya, Olinalá y Matzizi). La

Formación Tecomate también se ve afectada por múltiples intrusiones como el granito Los Hornos del Devónico Tardío y el Tronco de Totoltepec del Pensilvánico Tardío (Ramírez-Espinosa 2001).

Las rocas volcánicas de la Formación Tecomate son de composición principalmente basáltica con escasos flujos riolíticos; esta asociación sugiere un magmatismo bimodal donde no hay andesitas (Ramírez-Espinosa 2001). Aunque se ha sugerido que los basaltos fueron inyectados en un ambiente marino (Ortega-Gutiérrez 1993), la presencia de lavas almohadilladas no es muy notable (Yáñez et al. 1991).

Estudios geoquímicos establecen que las rocas volcánicas se formaron dentro de ambientes de intraplaca con magmas derivados del manto (Ramírez-Espinosa 2001). Esta interpretación es consistente con la posición de esta unidad que cubre a los grupos Petlalcingo y Piaxtla después del evento orogénico. Por esto la Formación Tecomate representa la primera unidad postcolisional generada por el colapso extensional de la orogenia Acatecana (Ortega-Gutiérrez et al 1999).

II.4 Granito Los Hornos

Este tipo de granitos han sido identificados en la región norte de Tehuitzingo como dos cuerpos separados pero posiblemente continuos. En el área de Tehuitzingo, estos granitos intrusionan a las rocas de la Formación Tecomate y son discordantemente sobreyacidos por sedimentos del Paleozoico Superior de la Formación Olinalá-Patlanoaya (Ramírez-Espinosa 2001).

El granito Los Hornos-La Noria está caracterizado por una textura porfídica donde el feldespatos potásico rosado es rodeado por una matriz de grano grueso granular formada de cuarzo, plagioclasa, biotita y raramente hornblenda, cuya deformación varía desde casi nula hasta un alto grado de milonitización. Se menciona que los fenocristales de estas facies son de color rojo-naranja lo que los distingue de los porfidoclastos de las facies de Esperanza con cristales de feldespatos potásico de color rosa (Farfán-Panamá 1998). Cabe aclarar que la datación obtenida por Yáñez et al, (1991) se realizó en esta facies en la roca menos deformada (Localidad de La Noria: 371 ± 34 Ma). Los análisis geoquímicos de Los Hornos – La Noria muestran una composición granítica (Farfán-Panamá 1998).

II.5 Tronco de Totoltepec

El Tronco de Totoltepec con dimensiones aproximadas de 8 Kms. de largo y 5 Kms. de ancho y al parecer intrusivo en las formaciones de Tecomate y Cosoltepec fue descrito en un corto artículo por Fries et al. (1970), dando a conocer su datación radiométrica (Pb/alfa) ordovícica tardía (440 ± 50 Ma). Se describe como una leucogranodiorita con foliación ligera general E-W, mineralogía primaria: oligoclasa, ortoclasa, albita y cuarzo, y secundarios: cuarzo, augita, antigorita, calcita, epidota y pirita. Se indica que su composición es varía de granítica a trondhjemítica (Farfán-Panamá 1998).

El Granito de Totoltepec es descrito en el noreste del poblado de Acatlán exhibiendo un clásico tipo de stock. Al sur el contacto es una falla de cabalgamiento de Totoltepec sobre Cosoltepec (Malone et al. 2002), mientras que en el norte, se ve afectado por una falla normal, la cual juxtapone las rocas Mesozoicas en el mismo nivel del granito. Estructuralmente, los granitos de Totoltepec muestran una foliación suave y, más localmente, planos de cizalla.

Aunque Ortega (1975) originalmente sugirió que el Tronco de Totoltepec y los Granitoides Esperanza eran estructuralmente comparables, Ruiz-Castellanos (1979) señaló que ambos conjuntos tenían diferencias isotópicas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) que sugerían diferentes orígenes, confirmando una edad Pérmica Temprana, la cual es similar a la de otros cuerpos intrusivos datados que cortan al Complejo Oaxaqueño (Ruiz-Castellanos 1979; Torres et al, 1993; Grajales et al, 1986; Grajales 1988).

II.6 Diques San Miguel

Bajo este término Ortega-Gutiérrez (1975, 1978) incluyó un conjunto de rocas intrusivas posttectónicas que afloran principalmente en la parte oriental de los afloramientos del Complejo Acatlán. La unidad consiste de una gran cantidad de diques (ocasionalmente diquestratos) que varían en espesor de algunos centímetros hasta más de 100 m. Su orientación general es NW, pero también se observan direcciones e inclinaciones muy variables. Se señala que no obstante su carácter posttectónico se ven afectados por plegamiento suave y fallas inversas (Ortega-Gutiérrez 1978). Según sus relaciones se dividió la unidad en conjuntos petrográficos desde los más antiguos a los más jóvenes.

i) Granito de muscovita y granate. Consiste de un cuerpo granítico y pegmatitas asociadas. El granito tiene un foliación débil y una mineralogía compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y muscovita como esenciales, así como granate y mirmequitas accesorios.

ii) Tonalita de hiperstena. Este intrusivo parece un dique de varios cientos de metros de espesor intrusionando a la Formación Chazumba, a la que provoca alteración hidrotermal, brechamiento y migmatización de varios metros de espesor. Está formado por cuarzo, plagioclasa, hiperstena y biotita, de grano medio ligeramente porfídica.

iii) Granitos de biotita y pegmatitas. Este conjunto es el más abundante, intrusiona al granito de muscovita-granate y a la tonalita. Consiste de microclina algo perfitica, oligoclasa, andesina y cuarzo, feldespato y granate. Grandes cristales de muscovita, feldespato potásico y turmalina integran algunas pegmatitas.

iv) Aplitas. Estas rocas intrusionan los niveles superiores de la Formación Chazumba y a la tonalita de hiperstena, son afaníticas y están formadas de cuarzo, feldespato y muscovita.

Las edades radiométricas señalan dos periodos de intrusión de diques, uno durante el Jurásico Temprano y otro en el Jurásico Medio. Las fechas del primer periodo de emplazamiento de diques coinciden con edades de migmatización en la unidad Migmatita Magdalena. Estos datos, y la proximidad entre ambos conjuntos litológicos, indican la existencia de un evento térmico importante en esta región del Complejo, a principios del Jurásico. (Tabla 2).

II.7 Olinala-Patlanoaya-Formación Matzizi

Esta secuencia sedimentaria fue denominada informalmente por Vásquez A. (1986) como formación Patlanoaya para una secuencia de rocas sedimentarias de tipo marino litoral que sobreyacen las rocas metamórficas del Complejo Acatlán de edad Ordovícica Temprana Devónica, y subyacen en discordancia angular a las rocas clásticas probablemente pertenecientes a la Formación Tecmazuchil del Jurásico Medio.

En las cercanías de Izúcar de Matamoros, Puebla (Mimilulco), afloran paquetes sedimentarios (925 Mts. de espesor) en el que se distinguen cuatro unidades litoestratigráficas

constituidas principalmente por rocas arcillosas, arenosas, limolíticas y calcáreas con fósiles primordialmente braquiópodos, pelecípodos, cefalópodos, crinoides y plantas, que permitieron asignar a estas unidades al Mississípico Inferior-Pérmico Inferior. Estas secuencias contienen flora y fauna del Pensylvánico-Pérmico (Formación Matzizi-Olinalá, Patlanoaya) que sobreyacen a Granitoides Esperanza, La Noria y a ensambles de rocas máficas ultramáficas (Xayacatlán).

Resultados de análisis de procedencia de circones detríticos encontrados en los horizontes Mississípicos de la Formación Patlanoaya, indican una fuente Precámbrica con edades mayores a 1500 Ma, muy distintas a las de los circones detríticos encontrados en las unidades similares de la cubierta Carbonífera del Terreno Oaxaqueño, por lo que algunos modelos de colisión deben discutirse (Flores de Dios-González et al 2002).

II.8 Geocronología

La edad de las unidades del Complejo Acatlán no se han definido en su totalidad, ya que varias edades reportadas presentan incertidumbre (tabla 2) tanto de tipo analítico (error de isócrona), como interpretación (no es claro que generación de minerales se han datado, por ejemplo existen al menos dos generaciones de mica blanca en varias unidades del complejo y corresponden con diferentes deformaciones y metamorfismos, en algunos trabajos no especifican que se ha datado). Sin embargo, es posible establecer una cronología parcial de los eventos. La siguiente tabla muestra las edades radiométricas del Complejo Acatlán obtenidas hasta la fecha por distintos autores. Algunos de los eventos que afectan al Complejo Acatlán pueden correlacionarse en edad tanto con rocas de los Apalaches como con rocas metamórficas de Sudamérica, en específico con Colombia (Restrepo-Pace 1995; Yáñez et al. 1991).

Formación	Autor	Muestra	Método	Edad (M.a.)	Periodo
Magdalena	Yañez et al. 1991	Biotita	Rb/Sr	204±6	Jurásico Temprano
		Granate	Sm/Nd	163±2	Jurásico Tardío
Chazumba	Yañez et al. 1991	Granate	Sm/Nd	429±50	Silúrico Temprano
		Muscovita	Rb/Sr	349±27	Missisipico
Cosoltepec	Ramírez-Espinoza 2002	Zircón	U/Pb	560	Cámbrico Temprano
	Ortega-Gutiérrez et al. 1999	Lavas almohadilladas	Ar ³⁹ /Ar ⁴⁰	288±13	Pensilvánico
	Campa y López 2000	Lavas almohadilladas	Rb/Sr	452±22	Ordovícico Tardío
Xayacatlán	Yañez et al. 1991	Roca total	Sm/Nd	388±44	Devónico Temprano
		Muscovita	Rb/Sr	332±4	Missisipico
		Muscovita	Rb/Sr	318±4	Pensilvánico
		Granate	Sm/Nd	416±12	Silúrico Tardío
Esperanza	Ortega-Gutiérrez et al. 1999	Zircón	U/Pb	440±14	Ordovícico Tardío
	Yañez et al. 1991	Zircón	U/Pb	371±34	Devónico Tardío
		Muscovita	Rb/Sr	330±5	Missisipico
	Campa-Uranga et al. 2002	Zircón	U/Pb	1163±30	Proterozoico Medio
Hornos-Noria	Yañez et al. 1991		U/Pb	371±34	Devónico Tardío
Tecomate					
Totoltepec	Yañez et al. 1991	Zircón	U/Pb	287±2	Pensilvánico
Teticic	Campa-Uranga et al. 2002	Zircón	U/Pb	478±5,2	Ordovícico Medio
San Miguel	Yañez et al. 1991	Roca total	Sm/Nd	172±1	Jurásico Medio
		Muscovita	Rb/Sr	175±3	Jurásico Medio
	Ruiz Castellanos 1979	Muscovita	Rb/Sr	207±9	Jurásico Temprano
Olinala-Patlanoaya Matzizi	Flores De Dios-González 2002	Zircón	U/Pb	1500	Proterozoico Medio

Tabla 2. Edades radiométricas del Complejo Acatlán

III. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración de este trabajo consiste en el desarrollo de tres partes fundamentales descritas a continuación:

III.1 Trabajo de Gabinete

- i) **Análisis bibliográfico.** Para obtener una base teórica y plan de trabajo eficiente acerca de la problemática del tema de tesis, se acudió a la Biblioteca de Ciencias de la Universidad de Arizona, la biblioteca del Instituto de Geología de la UNAM Unidad Regional Norte (Hermosillo, Sonora), y a la biblioteca de la División de Ciencias Exactas de la Universidad de Sonora donde se recopiló información relacionada con el Complejo Acatlán.
- ii) **Geología de campo:** En esta etapa se incluyeron dos visitas al Complejo Acatlán (2002-2003). La primera abarca 22 días efectivos de reconocimiento de la geología regional del Complejo Acatlán; la segunda, 15 días de geología local que abarca desde la Migmatita Magdalena, Diques San Miguel, Formación Chazumba y parte de la Formación Cosoltepec. Se utilizó la carta Topográfica "Huajuapan de León" E14D1, y "Petlalcingo" E14B84 ambas con escala 1:50000 de INEGI. En base a la cartografía de Ortega-Gutiérrez (1978) en la región oriente se realizaron cuatro secciones principales desde los poblados: i) Santa Maria Ayú-Magdalena (a través del arroyo que sigue el curso de Río Grande), ii) Magdalena-San Miguel Ixtapan (por el camino), iii) San Miguel Ixtapan-Tultitlán, Tultitlán-Santa Cruz Encinal y de Tultitlán a Cosoltepec. Se describieron megascópicamente los afloramientos obteniéndose datos estructurales así como se colectaron un total de 48 muestras para su respectivo análisis petrográfico, geoquímico y química mineral.

III.2 Obtención de Análisis

- i) **Petrografía:** Se elaboraron 31 láminas delgadas en el Laboratorio de Laminación de Geología de la Universidad de Sonora. La técnica es cortar la roca con un disco de diamante, se obtiene una esquirla de 2.5 por 4.5 cm de superficie y 0.5 cm de grosor, se pega en un porta objetos y se desbasta en un plato giratorio de acero utilizando abrasivos de carburo de silicio de diferente granulometría hasta tener un espesor de

300 micras. 20 muestras fueron pulidas al alto brillo, la técnica es la misma pero se continua con abrasivos grano más fino. Para el análisis petrográfico y megascópico se utilizó un microscopio óptico Nikon Eclipse E400 y Nikon SMZ645 respectivamente, del Departamento de Minas de la Universidad de Sonora.

- ii) **Geoquímica:** Se analizaron 11 muestras para geoquímica de elementos mayores con la técnica analítica de ICP-OES en el Laboratorio de Geoquímica y Cristalografía del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. El análisis de elementos traza (REE y multielementos) se efectuó en los Laboratorios de Chemex en Toronto, Canadá, a través de la técnica analítica de ICP-OES e ICP-MS respectivamente. Las muestras corresponden al área del Grupo Petlalcingo en el que se incluyen: cuatro de la Migmatita Magdalena: una restita (ACA 98; anfibolita), tres leucosomas (ACA, 104 a y b, 207; de composición leucocrática), y un mesosoma (ACA 105; esquisto de biotita). Tres muestras corresponden con la Formación Chazumba: (ACA 109; dique pegmatítico) y dos esquistos pelíticos (ACA 117, 119; esquisto de musc/biotita) y finalmente tres de los Diques San Miguel (ACA 121, 122, 123; diques graníticos). También se anexaron los datos geoquímicos del Tronco de Totoltepec (Malone et. al. 2002) para interpretar los datos en un contexto más general. La técnica empleada consiste en el quebrado y pulverización de la roca utilizándose entre 5 y 20 Kgs. de muestra sana (sin alteración), después se redujo su tamaño con marro de acero y se llevaron al Laboratorio de Preparación de muestras de la Estación Regional del Instituto de Geología de la UNAM, (Hermosillo, Sonora), donde se utilizó una quebradora y se redujo a menos de 1 cm; las esquirlas se molieron y pulverizaron en un mortero de ágata en el Laboratorio de preparación de muestras del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, donde finalmente las muestras quedaron listas para la digestión química y su análisis en un ICP-OES. La técnica empleada fue por la vía química húmeda; la muestra es fundida con metaborato de litio, digerida con ácido clorhídrico y posteriormente filtrada para analizar concentraciones de elementos (mayores y trazas) con un ICP-OES Optima 4200 DV (Perkin Elmer) en el Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. También se analizaron 38 elementos traza por medio de ICP-MS en los Laboratorios de Chemex Labs en Vancouver, Canadá en base al código

MS-MS81. Para los elementos de tierras raras (REE) analizados se utilizó la normalización propuesta por Evensen et al. (1978) con respecto a condrita. Los diagramas multielementales en base a Thompson (1982), y Pearce et al. (1984) para la discriminación de granitos.

- iii) **Química Mineral:** En base a la petrografía (relaciones texturales) se analizaron las composiciones químicas de minerales metamórficos en 8 muestras. Los análisis se llevaron a cabo con una microsonda electrónica marca CAMECA SX-50 en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA. Los cálculos para obtener las fórmulas minerales son de acuerdo a los procedimientos de Deer, Howie y Zussman (1966). Muestras analizadas: ACA 98 anfibolita, ACA 106 esquisto de biotita, ACA 102 anfibolita, ACA 117 esquisto de biotita, ACA 116a esquisto de biotita, ACA 112 esquisto de biotita, ACA 50 esquisto de biotita con granate, 220 esquisto de biotita con sillimanita. Los datos obtenidos se utilizaron para el diagnóstico de las paragénesis minerales metamórficas, obtención de rangos de presión y temperatura aproximados y clasificación

III.3 Recopilación de Información

La información fue interpretada y procesada con la ayuda de diferentes programas computacionales: el texto se elaboró en Microsoft Word 2000 y el tratamiento de datos, tablas y gráficos en Microsoft Excel 2000 y PowerPoint, y los planos se digitalizaron en AutocadMap 2000.

IV. GEOLOGÍA LOCAL

IV.1 Localización del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la región sureste del Complejo Acatlán, forma estructuralmente la parte inferior del Grupo Petlalcingo, y comprende las unidades Migmatita Magdalena, Diques San Miguel, y parte de la Formación Chazumba. Geográficamente se ubica entre los paralelos 97° 50' 00'' y 97° 45' latitud Norte y los meridianos 17° 55' 00' y 18° 05' 00'' de longitud Oeste. El área considerada está incluida dentro de las cartas topográficas del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) Huajuapán de León (E14D1) y la carta Petlalcingo (E14B84) de escala 1:50000 en los límites del Estado de Oaxaca y Puebla (Fig. 4).

Las tres formaciones que integran al Grupo Petlalcingo (Fm. Cosoltepec, Fm. Esquistos Chazumba y Migmatita Magdalena) son de origen metasedimentario (Ortega-Gutiérrez, 1978). El presente trabajo se centra en la unidad Migmatita Magdalena, los Diques San Miguel, y parte de los Esquistos Chazumba, describiéndose cinco secciones realizadas en las áreas de Santa María Ayú, Magdalena, Ixítlán, San Miguel Ixtapan y Santa Cruz Encinal-Tultitlán y a Cosoltepec.

IV.2 Relaciones de Campo.- La Migmatita Magdalena aflora entre los poblados de Santa María Ayú, Ixítlán y Magdalena (Fig. 5) a lo largo de una franja 10 Kms de longitud, se encuentra cubierta discordantemente por rocas volcanoclásticas Terciarias y presenta contactos transicionales en las inmediaciones con la Formación Chazumba, y similarmente hacia el norte con la Formación Cosoltepec. Los diques San Miguel intrusionan a la migmatita y a la Formación Chazumba a manera de enjambre, mostrando contactos bruscos, pero sin bordes que indiquen enfriamiento súbito (Ortega-Gutiérrez 1978). En ésta área se realizaron las siguientes secciones de referencia:

- i) arroyo del Río Grande, entre Santa María Ayú y Magdalena (sección A-A', fig. 5); cubriendo las mejores exposiciones de la Migmatita Magdalena.
- ii) camino Magdalena-San Miguel Ixtapan (sección B-B', fig. 5); en las cercanías al contacto con la Formación Esquistos Chazumba.
- iii) camino San Miguel Ixtapan-Tultitlán (sección C-C', fig. 5); cubriendo parte de la Formación Esquistos Chazumba.

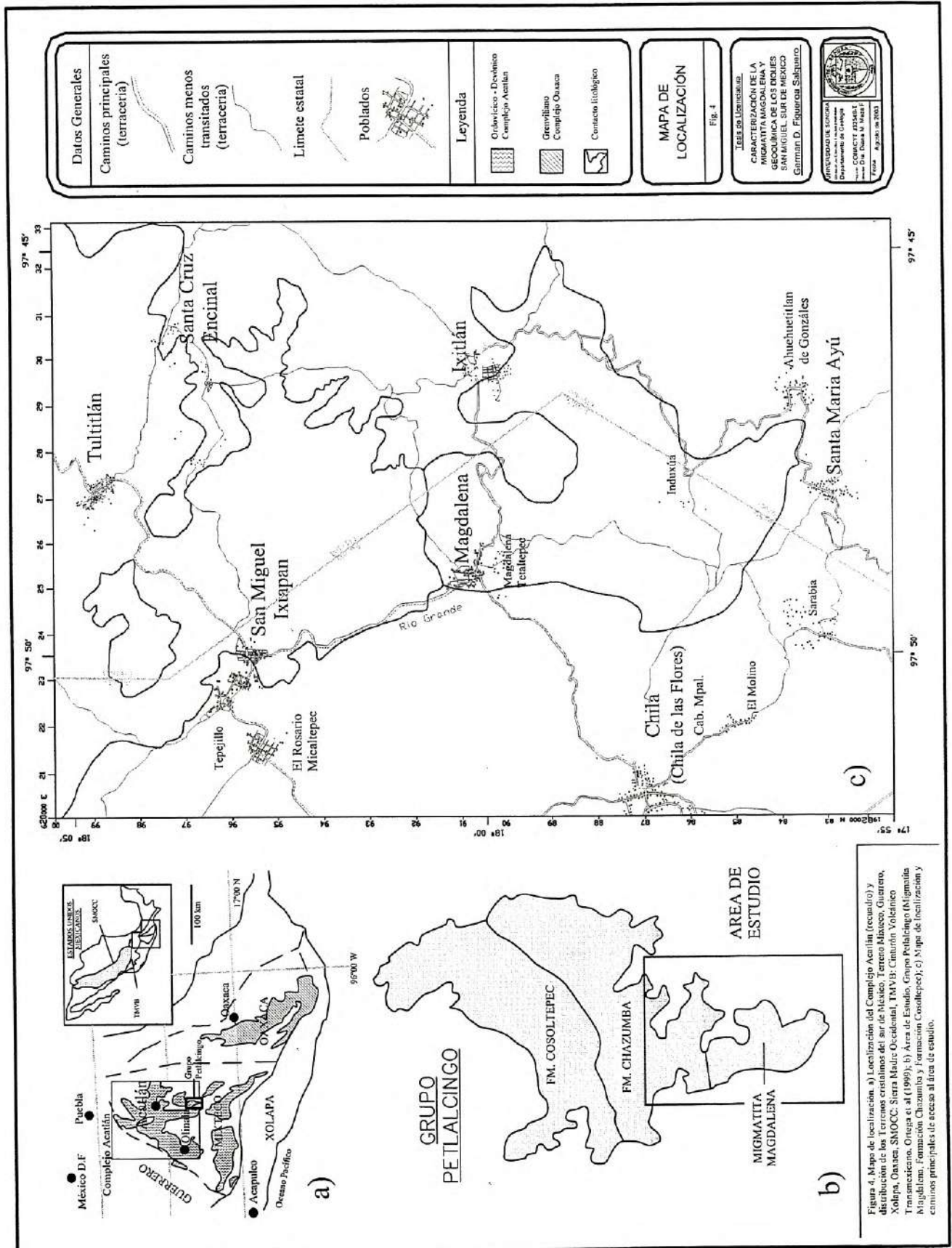


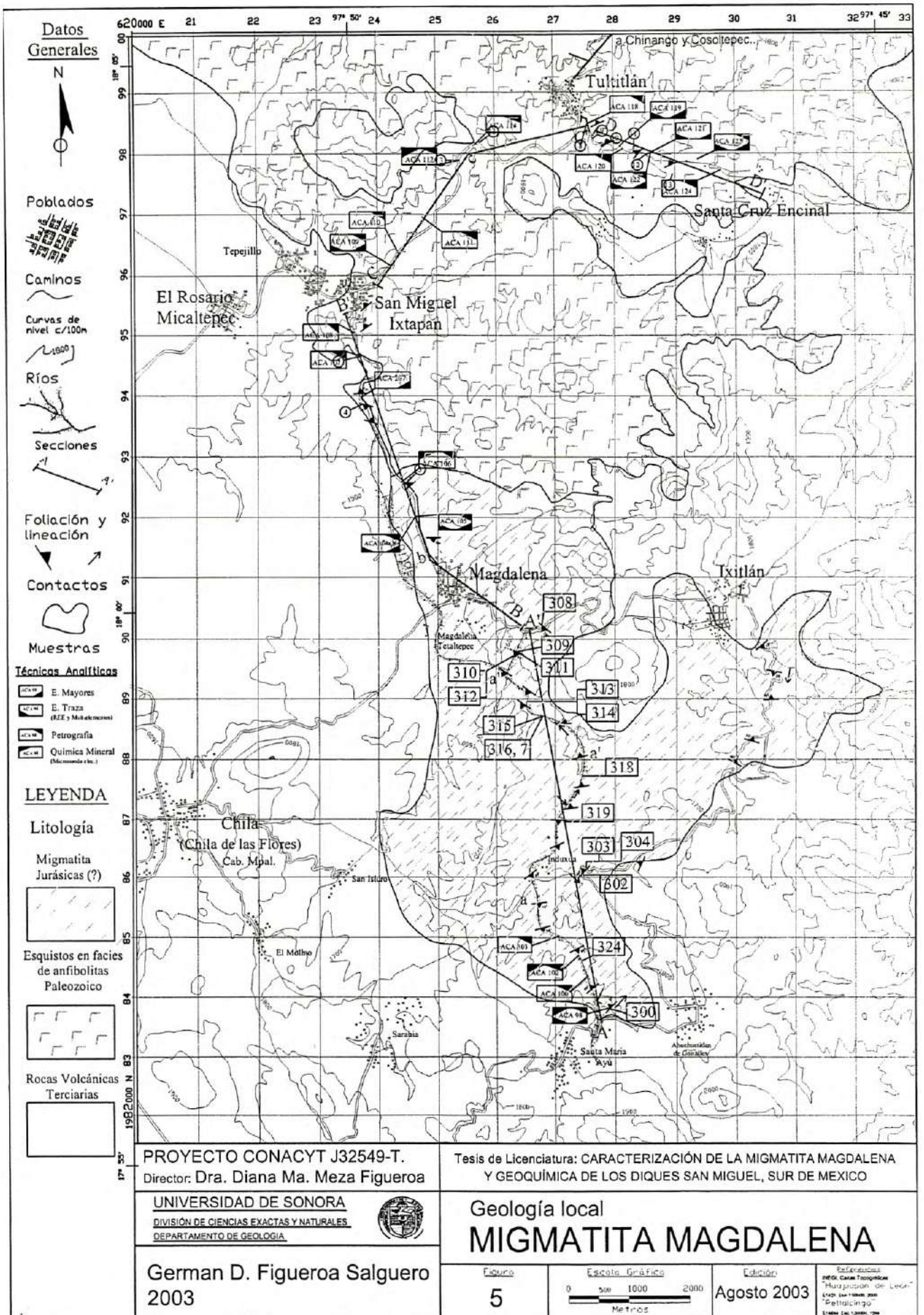
Figura 4. Mapa de localización. a) Localización del Complejo Acantilado (recuadro) y distribución de los Terranos cristalinós del sur de México, Terrano México, Oaxaca, Xolapa, Oaxaca, SMOCC, Sierra Madre Occidental, TMVB, Cinturón Volcánico Transmexicano, Orizaba et al (1999); b) Área de Estudio, Grupo Petalcingo (Migmatita Magdalena, Formación Chazumba y Formación Cosoltepec); c) Mapa de localización y caminos principales de acceso al área de estudio.

- iv) camino Tultitlán-Santa Cruz Encinal (sección D-D', fig. 5); en donde afloran también buenas exposiciones de los Diques San Miguel.
- v) reconocimiento parcial desde Tultitlán hasta el contacto geológico con Cosoltepec (fig. 5).

IV.3 Litología y estructuras

IV.3.1 Migmatita Magdalena: esta secuencia se encuentra constituida en un 70% por afloramientos de una migmatita de tipo estromática. Sin embargo, según la homogeneidad del protolito y condiciones de P-T se pueden encontrar en ciertos lugares, algunas zonas con evidencia estructural indicando un estado más avanzado de migmatización (en base a la clasificación de Menhert 1968). Por lo tanto, y en base a estas observaciones de campo, se pueden incluir importantes diferencias en la Migmatita Magdalena desde la parte estructuralmente inferior hasta la parte superior. Aunado con otras litologías, la secuencia también presenta unidades posttectónicas de intrusivos y diques lávicos deformados y metamorfizados intercalados con horizontes calcosilicatados en facies de anfibolitas. Por lo tanto, la Migmatita Magdalena se compone de: i) cuerpos anfibolíticos intercalados con mármoles de diópsida, ii) Migmatitas estromáticas; compuestas por leucosomas, mesosomas y melanosomas; gneisses (deformados), cuerpos graníticos, y por último una asociación de diques-estratos leucocráticos a manera de enjambre (leucosomas segregados: Diques San Miguel), que cortan a las capas de esquistos de la Formación Chazumba.

i) Anfibolitas.- En los niveles estructuralmente inferiores, cerca de Santa Maria Ayú e Induxúa, se encuentran afloramientos de metabasitas con relaciones de corte de diques graníticos no deformados con textura pegmatítica compuestos de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita, varían en otras zonas con cantidades de granate. La anfibolita se presenta como cuerpos potentes de dimensiones de hasta 20 metros de espesor y de color verde oscuro, también se desarrollan como diques tabulares que se intercalan con capas de esquistos de biotita que probablemente conforman el paleosoma de la Migmatita Magdalena. Los espesores son variables pero en general están en un rango de 10 hasta 60 centímetros. La textura de las anfibolitas es lepidoblástica de grano fino-medio compuesta de anfíboles (variedad edenita y magnesihornblenda) en un 70%, plagioclasa (oligoclasa), y una asociación de minerales secundarios producto de retrogresión (hornblenda-actinolita, plagioclasa-calcita-sericita-clinozoisita) y esfena.



Siguiendo el curso del arroyo estos diques se pueden encontrar plegados y aboudinados con un diámetro de hasta 30 centímetros entre las capas esquistosas de menor competencia a la deformación (fig. 6, foto D). La foliación penetrativa S2, se observa por la orientación preferente de cristales de hornblenda y biotita con NE-SW e inclinada al NW. Presenta niveles altamente deformados y plegados, raramente se pueden observar pliegues isoclinales, los cuales marca a S1 paralelo a S2 y localmente hay pliegues abiertos relacionados con intrusivos cercanos. La lineación, aunque es difícil de observar, se registra por la elongación de hornblenda y biotita con tendencia general hacia el NNW.

-Mármoles de diópsida; La abundancia de estas rocas es escasa, reportándose en los niveles inferiores de la unidad, se comportan como horizontes calcosilicatados con espesor general de 80 cms. y se intercalan con la foliación de los de los cuerpos anfibolíticos, su mineralogía esta constituida principalmente por calcita en un 70% y diópsida, pareciendo tener algo de wollastonita.

ii) Migmatitas estromática; Este tipo es el más abundante en la Migmatita Magdalena en un 80%, se localiza ampliamente desde Santa María Ayú hasta las inmediaciones de San Miguel Ixtapan (fig. 6 y 7). Se identifican por la alternancia de leucosomas graníticos y paleosomas esquistosos ricos en biotita que se formaron a partir de sedimentos metapelíticos hasta metapsamíticos, los cuales se desarrollan a través de la foliación S2. Las capas se encuentran comúnmente orientadas en todos los afloramientos dando una apariencia bandeada, y a comparación con las rocas metasedimentarias sin migmatización estas capas se pueden interpretar como producto de segregaciones anatéticas.

Leucosomas.- Es la parte granítica de la roca, ocurren en escalas que van desde milímetros hasta centímetros (1- 30 cm), pero ambos tipos se asocian con el melanosoma y mesosoma, los leucosomas son de composición granítica (cuarzo + plagioclasa ± feldespato potásico + muscovita + granate) siendo comúnmente las texturas interpretadas como ígneas de grano grueso que van desde 0.1 mm. hasta 30 cm con cristales de forma anhedral y subhedral, el cuarzo muestra extinción ondulante y la plagioclasa presenta normalmente zoneamiento siendo el mayor constituyente de estas rocas que indica una deformación.

Melanosoma.- Estas capas a veces se pueden observar que claramente definen el límite entre el leucosoma y melanosoma, con excepción de ciertos casos en donde no se encuentran

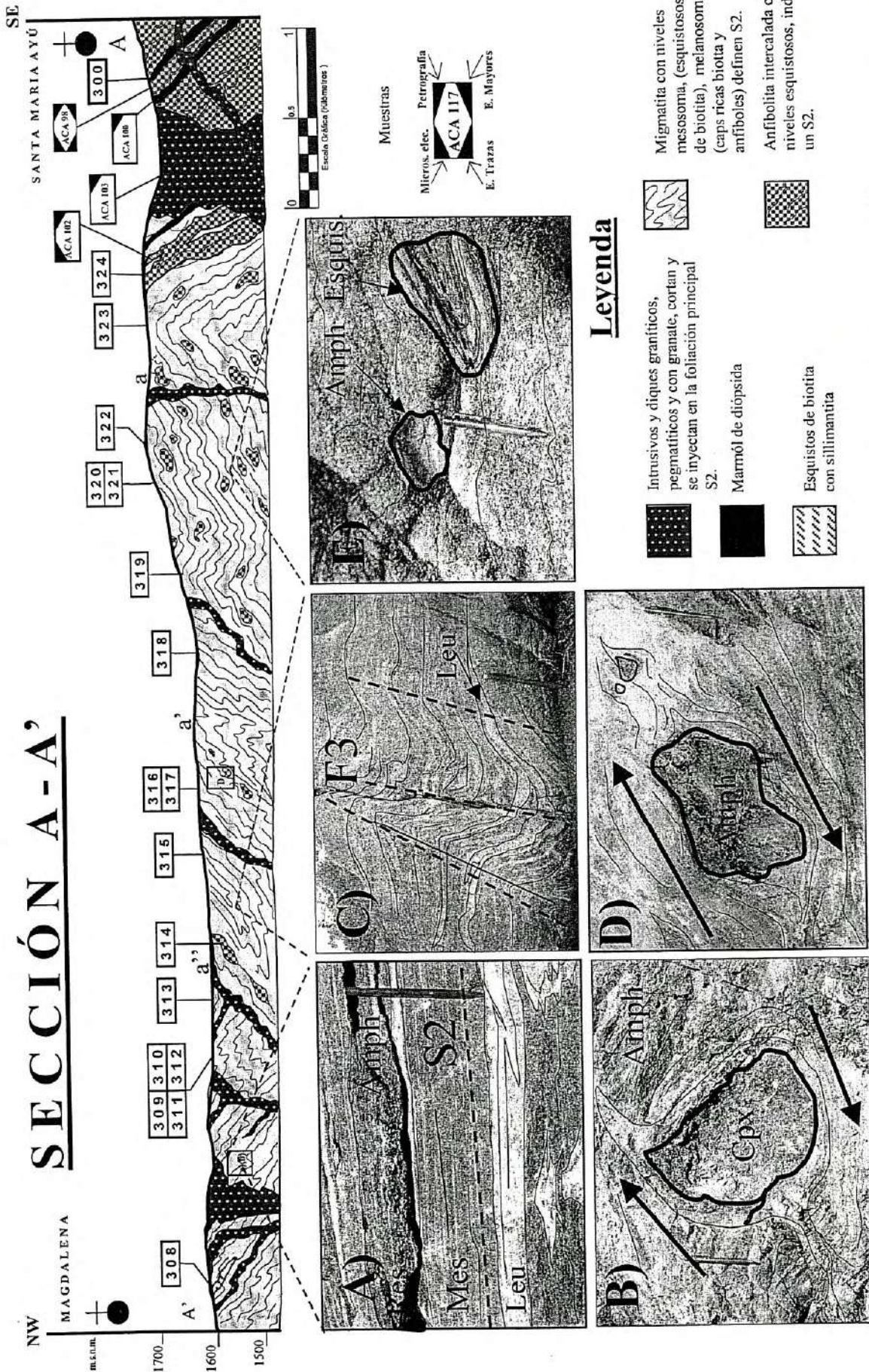


Figura 6. Sección en la unidad de la Migmatita Magdalena (A-A'); por el arroyo mostrando distintas estructuras siguiendo las definiciones de Melnert (1968). Fotos: A) Migmatita estromática con plegamiento paralelo a S2, compuestas por bandas del leucosoma, mesosoma y restitas formadas de anfíboles. B) En el mismo afloramiento nódulo de clinopiroxenita(?) embebido en banda leucocrática. C) Migmatita estromática plegada mostrando S2 que plegan a los leucosoma y mesosomas. D) Bloque de esquistos y anfibolita producido por boudinage de anfibolita en esquistos. E) Bloques de esquistos y anfibolita dentro de granito, ligeramente foliado formando estructura "Schollen". Escala en foto: 1.4ptz.

German Figueroa 2003

presentes. Su principal constituyente es la abundancia de biotita (85%), se asocia con cantidades menores de cuarzo, plagioclasa y clorita retrograda. Los rangos en espesor varían desde 0.1 hasta 3 cm. La biotita generalmente es de grandes dimensiones pero todas las demás fases son de grano más pequeño (2.0 mm) a excepción de la clorita que se observa remplazando a la biotita. La biotita está orientada definiendo una textura granolepidoblástica y una foliación paralela a los leucosomas. Por otro lado, en algunas ocasiones, estas capas son constituidas por una rica cantidad de hornblenda de hasta 7 cms. con cristales de grano grueso, en general mayores a un milímetro que se acuñan entre las capas adyacentes (fig. 6, foto A).

Mesosoma.- Estas capas son las zonas intermedias que se encuentran entre las capas de melanosomas (según Johannes 1983), están constituidas por un material de apariencia metamórfica identificado generalmente como un esquisto de biotita, sus espesores varían desde pocos centímetros hasta de 50 centímetros, se componen (cuarzo + plagioclasa + biotita ± muscovita tardía ± granate) los cuales definen una foliación (S2) paralela a las capas de los leucosomas y melanosomas. Los esquistos o paleosomas gradualmente varían a paragneises, principalmente en las regiones intermedias de la unidad (fig. 6, foto C) siendo más notable una proporción similar entre los neosomas y los paleosomas y su mineralogía se constituye de granate + biotita + muscovita + sillimanita.

La unidad también se encuentra intrusionada por diques de composición granítica que al parecer son producto de las mismas segregaciones de la migmatización, estos se observan formando inyecciones que siguen el plano de foliación y también cortando a la misma, de manera que se puede observar en el campo una variación en espesores de leucosomas o segregados leucocráticos, y localmente boudinaje, así como también una serie de pliegues isoclinales y abiertos de escala media-grande producto de la deformación que afecto a toda la secuencia.

Más adelante del poblado de Magdalena (fig 7, foto B-B') llegando casi al límite de la Migmatita Magdalena se observan cuerpos graníticos potentes (Qz + Fk + Plg + bio + musc) englobados por esquistos de biotita migmatizados y un bandeamiento gneisico, junto con las primeras apariciones (aunque muy locales) de sillimanita; éstos cuerpos graníticos a su vez son cortados por diques pegmatiticos que varían de muscovita + granate + biotita + granate (Fig. 7, sección B-B').

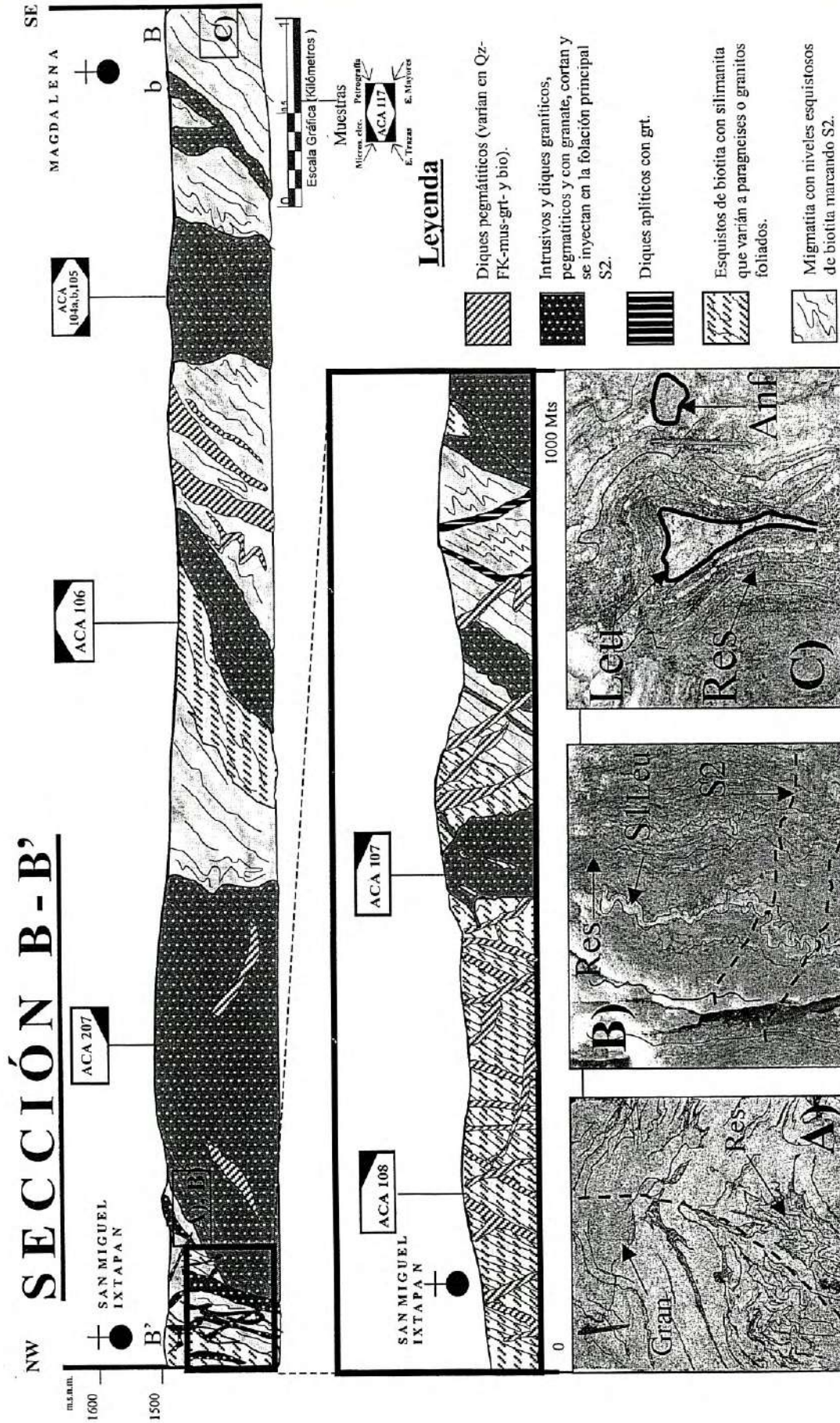


Figura 7 Sección en los inicios de la Formación Chazambía (B-B'); por camino) y detalle cerca del poblado a San Miguel Ixtapan. Fotos: A) Migmatita con estructura "venus piebaticas" formadas por biotita, en roca granítica. B) en el mismo afloramiento leucosomas muestran la estructura pygmáutica en gneis (neoxsona). C) afloramiento antes de llegar a Magdalena donde la migmatita presenta una estructura de "hongo" formado por el plegamiento de resita (biotita) envolviendo a la zona movilizada (leucosoma) (el orden de superposición de los planos axiales es evidente, enseguida un pequeño bloque de anfífolita. Escala en foto: Lapiz).

Germán Figueroa 2003

Aunque casi siempre existe una concordancia entre los tres componentes de la Migmatita Magdalena, es importante hacer mención, que la migmatita estromática es la más común del área, la cual indican segregaciones del material móvil de los leucosomas sobre el menos inmóvil del paleosoma. Sin embargo, debido a la movilización local más avanzada y la deformación que afectaron a los leucosomas, estos pueden presentar diferentes tipos de estructuras de igual importancia según la clasificación de Mehnert (1968), por ejemplo: estructuras plegadas en regiones locales del sur del área (fig 7, foto C); se interpreta como esfuerzos compresivos que afectaron a las capas migmatíticas dando el origen de diversas deformaciones (F3); y la estructura schollen en una franja importante por el curso del arroyo en el sur del área; se refiere a paleosomas embebidos en neosoma indicando un estado más avanzado de migmatización, lo cual es causa para que los bloques restíticos se aislen dentro del abundante leucosoma haciendo que estos roten y generen foliaciones de apariencia relictas (fig. 7, foto E). De menor importancia, se encuentran estructuras locales ptygmáticas; definidas por leucosomas milimétricos en neosomas gneisosos, y estructuras phlebiticas; que son conformadas por venas ricas en biotita emplazadas en granito ligeramente foliado (Fig. 6, foto A, B y C), también existen estructuras de hongo; cerca del poblado de Magdalena de bajas dimensiones (20 cms) definidas por el plegamiento de restita (esquisto rico en biotita) envolviendo a la zona movilizada (leucosoma) mostrando la superposición de los planos axiales de manera aparente (fig. 7, foto A, B y C).

IV.3.2. Formación Chazumba.- se define aproximadamente por un contacto transicional con la Migmatita Magdalena entre el Poblado de Magdalena y San Miguel Ixtlán. Consiste principalmente de un esquisto lit-part-lit, en la parte basal de la formación y de bandas de esquistos de biotita (paleosoma) y delgadas capas de composición félsica (neosoma) formadas por cuarzo, plagioclasa sódica, microclina y escasa biotita, este mineral suele estar concentrado en el área del contacto entre el neosoma y el paleosoma (Ortega-Gutiérrez 1978). Sin embargo, hacia el poblado de San Miguel Ixtlán la secuencia típica de esquistos de biotita empieza a aflorar de forma más homogénea. Esta secuencia consiste principalmente de esquistos de biotita, alternados con ligeras capas de cuarcitas, rocas ultramáficas y esquistos pelíticos. Desde San Miguel Ixtapán hacia Tultitlán (Fig. 8, sección C-C') la predominancia de esquistos de biotita y a veces de muscovita, se encuentra marcada por la orientación preferente de biotita + cuarzo +

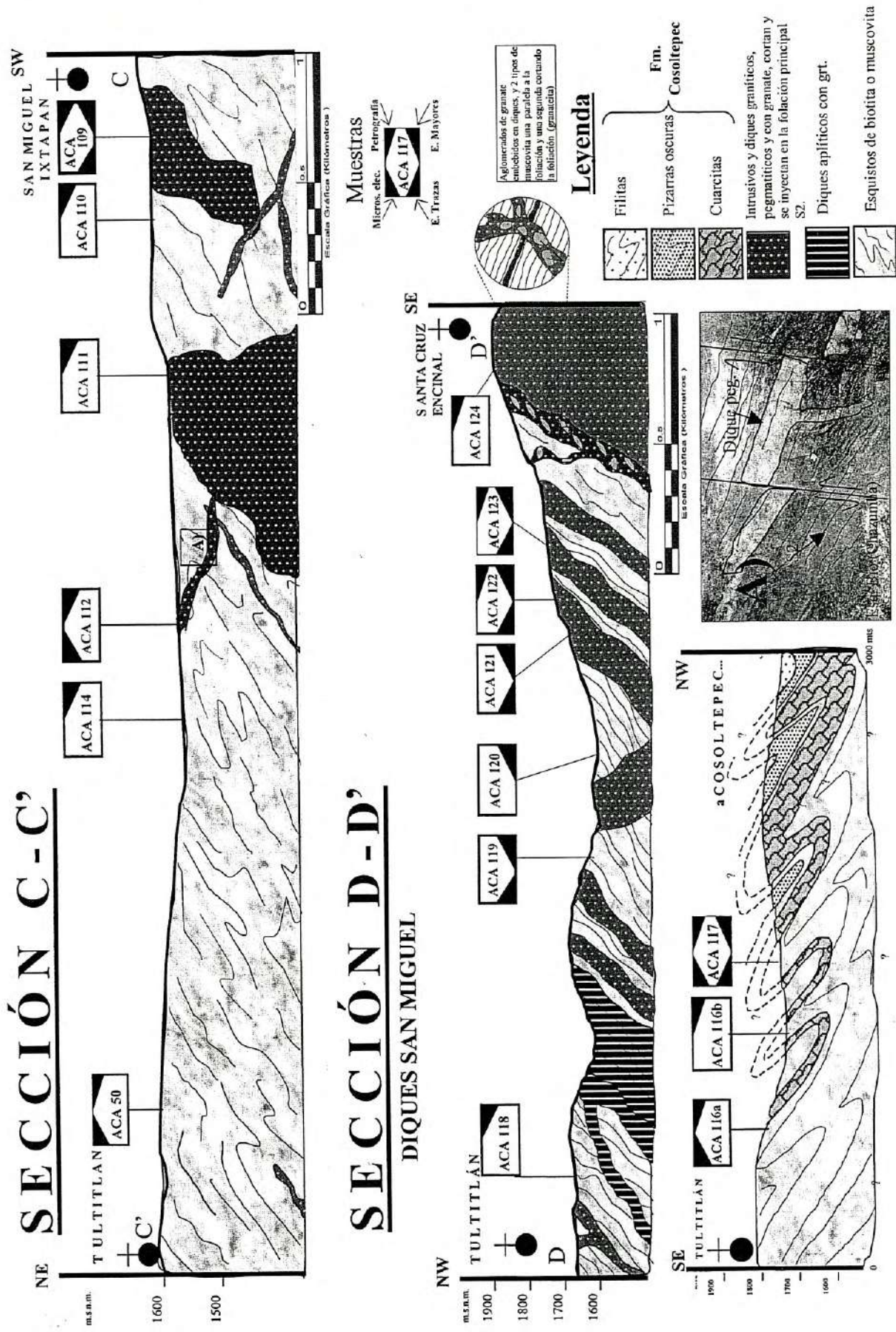
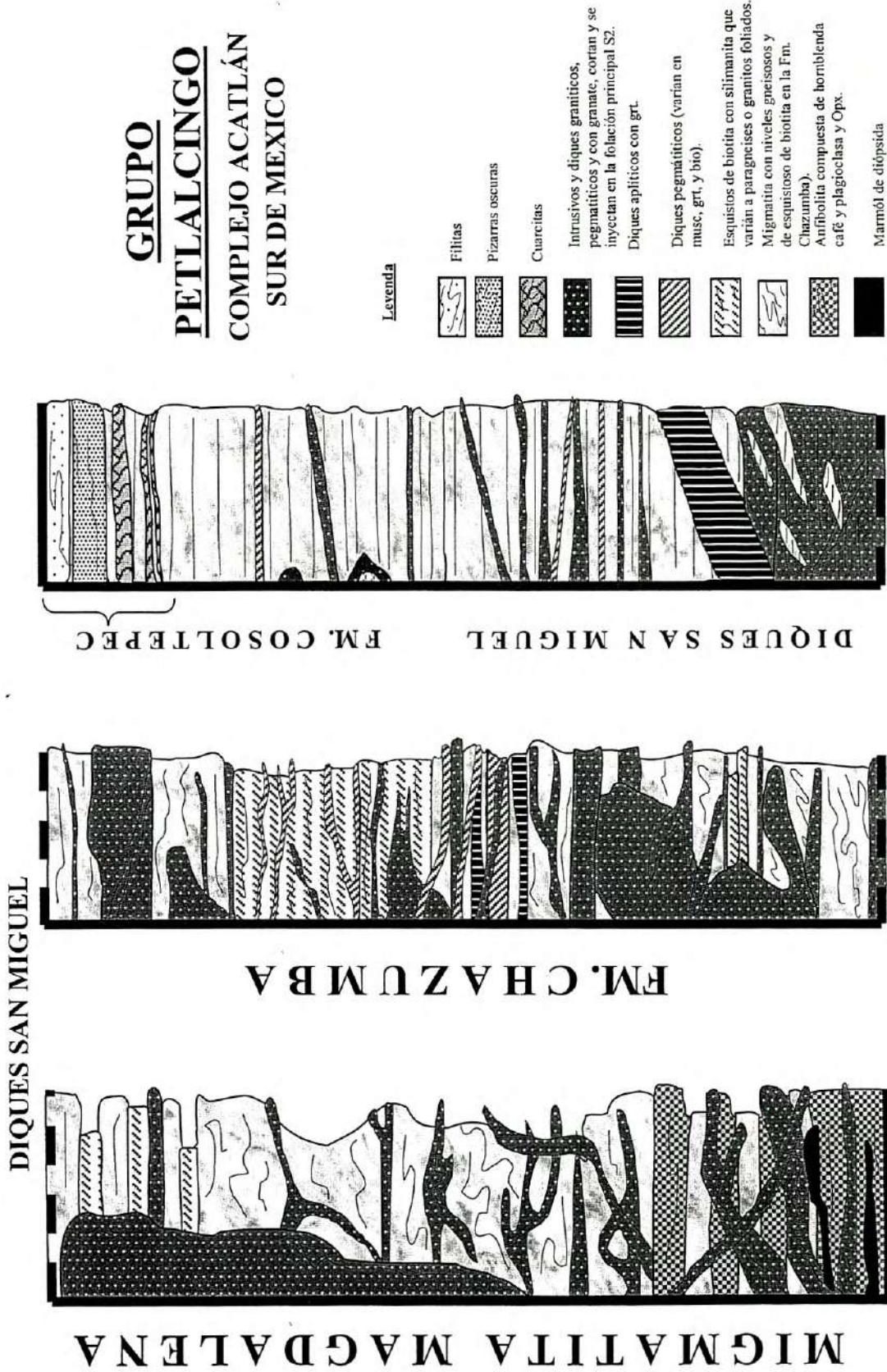


Figura 8. Sección por Fm. Chazumba (C-C') y otra (parte inferior) mostrando un contacto transicional de la Fm. Chazumba a Cosoltepec (ambas por el camino). Foto A) Dique pegmatítico que corta y sigue la foliación S2 de los esquistos de biotita de la Formación Chazumba, y es desplazado por fallas normales.

Germán Figueroa 2003

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA



gura 9. Columna estratigráfica del Grupo Petlalcingo, Migmatita Magdalena, Formación Chazumba y Diques San Miguel.

Germán Figueroa 2003

Plagioclasa, con variaciones de biotita/muscovita y algunas ocasiones se observa sillimanita fibrolítica y granate almandino.

La secuencia es cortada por diferentes diques (Diques San Miguel) que varían en texturalmente i) diques aplíticos y pegmatíticos: constituidos mineralógicamente de cuarzo, feldespato potásico, granate con espesores variantes (de hasta 5 metros de espesor y textura poikilítica) estos cortan y se inyectan en la foliación principal S2, la mayor parte de ellos se presentan fallados normalmente dando estructuras parecidas a un graben, que varían en un rango de 1 hasta 3 metros de espesor (Fig. 8, foto A); ii) intrusiones graníticas: estos cuerpos son muy potentes en algunas zonas, se constituyen de cuarzo + Feldespato potásico + Plagioclasa con biotita, y se pueden apreciar con una textura típicamente ígnea y se comportan como cuerpos homogéneos e veces con granate, presentan zonas aisladas de migmatización de los esquistos de biotita dentro de la Formación Chazumba.

Por otra parte, desde Tultitlán con rumbo a Cosoltepec la foliación principal de esta zona se comporta de manera general con tendencia hacia el NW y la normalidad de los esquistos continua, pero en las inmediaciones del camino que une a ambos poblados la alternancia de esquistos de biotita con granate y la aparición de cuarcitas de la Formación Cosoltepec hacen que el contacto más prolongado con distancias de hasta 800 metros, esto hace suponer que donde aparecen los primeros horizontes de cuarcita y filitas estos pudieran (y es lo más probable) estar plegados con vergencia hacia el norte, representando una zona de transición entre la Formación Chazumba y la Formación Cosoltepec muy amplia (Fig. 8 sección inferior).

V. OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

V.1. PETROLOGÍA

V.1.1. Petrografía

Desde su primer uso a fines de siglo, la sección delgada de una roca ha sido una fuente de información muy importante para los geólogos. Durante las últimas décadas, geólogos estructurales y petrólogos metamórficos han aprendido a aprovechar los datos que pueden ser obtenidos a partir de la geometría, evolución y procesos estructurales de las rocas metamórficas en dicha escala.

Las rocas deformadas son una de las pocas fuentes de información válida y directa para la reconstrucción de una evolución tectónica. Sin embargo, las observaciones deben tomarse con cuidado ya que estas representan el último estado de una compleja evolución.

El concepto de la deformación de las fases ha sido usado en la literatura geológica para reconstruir la evolución estructural de las rocas (e.g. Ramsay 1967; Hobb et al. 1976; Ramsay y Ubre 1987; Marshak y Mitra 1988). La idea general es que una deformación permanente ocurre cuando existe un esfuerzo diferencial que es relativamente alto, provocando que la orientación del campo de fuerza cambie en distintos periodos sin visibilidad en la fábrica de la roca.

La evolución metamórfica puede ser dividida en eventos metamórficos que se definen según el crecimiento de minerales metamórficos, en un sentido similar al concepto de la deformación de las fases. Algunas fábricas son indicativas del crecimiento de las rocas metamórficas (ej. Inclusiones en porfiroblastos y anillos de reacción), y las relaciones entre los porfiroblastos y la foliación comúnmente revelan el tiempo relativo acerca de su generación. Sin embargo, debemos de tomar en cuenta que un evento metamórfico es esencialmente de naturaleza distinta que las fases de deformación. Mientras que los periodos finales reflejan los intervalos de no y si deformación, la forma normalmente refleja solo los valores críticos necesarios de presión y temperatura para que la reacción química mineral empiece a producir nuevos minerales en la roca.

Aunque Ortega-Gutiérrez (1978) en sus trabajos pioneros en el área, describió los aspectos generales petrográficos de las rocas de la Migmatita Magdalena y la Formación Chazumba, este trabajo describe el muestreo en secciones a detalle como la base a considerar en el análisis de química mineral.

Se seleccionaron 31 muestras para la elaboración de láminas delgadas y pulidas al alto brillo, de las cuales 11 corresponden a la unidad de la Migmatita Magdalena desde la sección Santa María Ayú-Magdalena hasta las partes intermedias del camino que sigue a San Miguel Ixtapan (Fig. 6 sección A-A' y B-B'); y 20 corresponden a la Formación Chazumba desde poco antes de llegar a San Miguel Ixtapan, hacia Tultitlán-Santa Cruz Encinal y Tultitlán-Cosoltepec.

La sección de la Migmatita Magdalena se caracteriza petrográficamente desde la parte inferior por rocas anfibolíticas de textura granoblástica con una fase de deformación bien desarrollada por la orientación de cristales de edenita y magnesiohornblenda, plagioclasa mayor a un milímetro alterada a arcillas y a un segundo evento mimético de retrogresión parcial bien plagioclasa-epidota (clinozoisita) probablemente asociada a un proceso hidrotermal que a su vez trajo consigo un evento frágil de vetillas rellenas de Calcita + FK + Clo + Clinoz + Qz transversales a la foliación, también hay cristales de esfena subhedral menor a 0.3 mm. De igual forma se encuentran los horizontes calcosilicatados intercalados con mármol de diópsida > 3 milímetros xenoblásticos formados mayormente de calcita, flogopita y diópsida, granate (grosularia o andradita), cuarzo aglomerado y en menor proporción esfena, clinozoisita y muscovita.

Los leucosomas se caracterizan por capas compuestas de cuarzo + plagioclasa ± feldespato potásico + muscovita + granate, su textura hipidiomórfica granular es a veces antipertítica y se compone de plagioclasa (con macla de deformación y zonada), horizontes cuarzo feldespáticos (ortoclasa), cuarzo con recristalización dinámica y cristales secundarios de clorita y clinozoisita. La parte del mesosoma (esquisto) de la migmatita se caracteriza por una roca texturalmente granolepidoblástica por la orientación preferente de cristales elongados de plagioclasa comúnmente y composiciones cuarzo feldespáticas, sus cristales micáceos orientados preferentemente de biotita y muscovita hipidiomórficos (0.5-1 mm) y presentan accesorios de circón. El melanosoma está constituido de biotita en un 85%, se asocia con cantidades menores de cuarzo, plagioclasa y clorita retrograda, plagioclasa y clorita retrograda. Los rangos en espesor varían desde 0.1 hasta 3 cm. La biotita generalmente es de grandes dimensiones pero todas las demás fases son de grano más pequeño (2.0 mm) a excepción de la clorita que se observa reemplazando a la biotita. También estas capas pueden estar constituidas por cristales ricos en anfíboles cálcicos

Los cuerpos graníticos que intrusionan en la unidad son de textura hipidiomórfica granular, se caracterizan por el contenido de Qz + Plg + Fk (40%) variando en el contenido de biotita/muscovita como segundo constituyente principal.

Los esquistos de la Formación Chazumba tienen cantidades variables de biotita y muscovita, pero, en esencia está constituida litológicamente por esquistos de biotita en su mayor

parte, estas rocas son muy homogéneas en la mayor parte del camino San Miguel Ixtilán-Tultitlán (Fig. 7, sección B-B'), observándose una continuidad de afloramientos con un tono oscuro por los cristales de biotita y delgadas capas de leucosomas (esquistos lit part lit Ortega 1978). Empezando cerca del poblado de San Miguel Ixtapan la foliación continua de estas rocas es bastante notable y es producida por la orientación preferente de biotita, pero en ciertas ocasiones por muscovita y biotita juntas. Localmente se notan foliaciones diagonales de muscovita tardías? e inclusiones de sillimanita variedad fibrolita biotita, que parecen tardías al no estar orientadas con la foliación S2, el cuarzo se halla elongado y en mosaicos granoblásticos de 3 mm con ligera extinción ondulante y recristalización estática, asociados con feldespatos potásico anhedrales; entre los minerales se encuentra una asociación de biotita prismática (1.5 mm) e, en menor proporción hay granate (almandino) xenomórfico e idiomórfico < 1 mm, con sombras de presión e inclusiones de cuarzo y muscovita orientadas al azar, circón y esfena subhedral como accesorios.

En la región norte pasando el poblado cerca del contacto más allá de Tultitlán (a 3 kms.) y con rumbo a Cosoltepec la mineralogía es similar, sólo que la foliación se desarrolla por abundante muscovita y menos biotita(?) y localmente granate.

En la zona donde abundan los diques San Miguel (Ortega-Gutiérrez 1978), en la región noreste del área de estudio, se encuentran diques graníticos postectónicos (Ortega-Gutiérrez 1978) con textura poikilítica, presentando antipertita y pertita. La roca se compone casi en su totalidad de Qz+Fk+Plg, la plagioclasa está alterada a arcillas y por su macla polisintética hay alteración que sigue ciertos planos del cristal, presentan granate de forma esquelética con inclusiones de cuarzo y, si fuera de éste, en agregados de 3 mm. a veces se observan texturas mirmequíticas y cuarzo anhedral con extinción ondulante.

Las descripciones de las muestras más representativas, por localidad estudiada, se indican en las páginas siguientes donde se resume la composición mineralógica más común y el anexo petrográfico.

Tabla 3

ANFIBOLITAS				
LOCALIDAD: SANTA MARIA AYU-MAGDALENA				
Rocas típicas de las facies de anfibolitas con una fase de deformación aparente, textura granolepidoblástica con foliación definida por anfíbol edenita±Plagioclasa. La edenita es >1 mm. en promedio, con alteración a clorita, se encuentra en contacto con plagioclasa algunas con ligera alteración a sericita mientras que otras casi por completo. vetillas de 1 mm de espesor rellenas de calcita asociada con minerales opacos. Epidota, (LN verde más claro). los anfíboles presentan retrogresión a actinolita?.				
Mineral	Foliación (S2)	(Hidrotermalismo)	Cristalización	
Edenita/mghornbl.	_____	_____	_____	
Plagioclasa	_____	_____	_____	
Diopsida	_____	_____	_____	
Epidota	_____	_____	_____	
Actinolita	_____	_____	_____	
Granate	_____	_____	_____	
Esfena	_____	_____	_____	
Clinozoisita	_____	_____	_____	
Muscovita	_____	_____	_____	
Clorita	_____	_____	_____	
Sericita	_____	_____	_____	
Minerales opacos	_____	_____	_____	
Mármol de diópsida: Roca de textura granoblástica compuestas de calcita entre 0.2-3 mm, de forma xenoblástica y en parte ligeramente elongada. La diópsida se presenta como cristales (1-2.5 mm.) de forma idioblástica, granate (<0.5 mm.) probablemente de tipo grosularita ó andradita por el contenido de Ca. El cuarzo (< 3 mm) se presenta muy limpio, y en algunas partes aglomerado (cristales <1 mm.). Minerales accesorios esfena, clinozoisita?, muscovita.				
Mineral	Inclusiones	Foliación (S2)	(Hidrotermalismo)	Cristalización
calcita	_____	_____	_____	_____
Diópsida	_____	_____	_____	_____
Cuarzo	_____	_____	_____	_____
Granate	_____	_____	_____	_____
Muscovita	_____	_____	_____	_____
Clinozoisita	_____	_____	_____	_____
Esfena	_____	_____	_____	_____
Circón	_____	_____	_____	_____

Tabla 4

LEUCOSOMAS		
LOCALIDAD: MAGDALENA-SAN MIGUEL IXTAPÁN		
Las rocas de composición leucocrática que corresponden al área de la Migmatita Magdalena son de textura ígnea hipidiomórfica granular, así como poikilítica, compuesta principalmente por cristal de forma ehedral y subehedral de plagioclasa variando a cantidades menores de cuarzo y FK, que varían de 1 hasta 8 mm en algunas rocas (pegmatíticas), presentan macla polisintética y de deformación así como zonada, grandes feldespatos potásicos (ortoclasa) con recristalización dinámica de tipo microclina en los bordes. Accesorios: zircón(inclusiones), granate, esfena, biotita y muscovita primaria? , y vetillas de calcita posterior y clorita secundaria.		
Mineral	cristalización ígnea	Hidrotermalismo
Plagioclasa	_____	_____
Feld. Potásico	_____	_____
Qz.	_____	_____
Granate	_____	_____
Cizoita.	_____	_____
Muscovita	_____	_____
Calcita	_____	_____
Esfena	_____	_____
Zircon	_____	_____

Tabla 5

MESOSOMAS (ESQUISTOS DE BIOTITA Y MUSCOVITA)				
LOCALIDAD MAGDALENA - SANTA CRUZ ENCINAL-TULTITLÁN				
Rocas generalmente con una esquistosidad continua (granolepidoblástica) marcada por la orientación preferente de cristales individuales de biotita y muscovita desarrollados durante la foliación S2 menor a 1 mm, la matriz es elongada, compuesta por cuarzo con extinción normal, plagioclasa y feldespato idiomorficos. Granate y (poikiloblastos) sillimanita fibrosa, apatito asociados con minerales opacos y zircón, clinozoisita (a veces), y alteriación a arcillas. zonas de cataclasis constituidas de cuarzo. micas tardias producto de otro esfuerzo tardío, formando arco poligonales además de microplegamiento y a veces crenulación.				
Mineral	Inclusiones	Foliación (S2)	S3 (Hidrotermalismo)	Oxidación
Plagioclasa				
Qz.				
Granate				
Clinozoisita				
Muscovita				
Biotita				
Sillimanita				
Calcita				
Esfena				
Zircón				
Apatito				
Epidota				

Tabla 6

DIQUES PEGMATITICOS/APLITICOS

LOCALIDAD: SAN MIGUEL IXTAPAN-TULTITLAN

Rocas ígneas con textura hipiomorfa-granular, de mineralogía constituida por plagioclasa, feldespato potásico, anhedral y subhedral con maclado polisintético y sin éste, zoneamiento, alterados a sericita. Matriz de biotita, muscovita y eventos que trajeron vetileo de minerales oxidados. Pocos cristales de zircón inclusionado normalmente en biotita y clorita de forma secundaria entre los planos de clivaje de la biotita y accesorios de apatito y esfena.

Mineral	Inclusiones	Cristalización (S2)	Hidrotermalismo
Plagioclasa			
Cuarzo			
Biotita			
Muscovita			
clorita			
Zircón			
apatito			
Esfena			
Rutilo			

Tabla 7

DIQUE GRANITICOS

LOCALIDAD: TULTITLÁN-SANTA CRUZ ENCINAL

Roca granítica con textura hipidiomorfa granuar y poikiliticas, mirmequitas, micrográfica entre cuarzo y plagioclasa, y texturas de antiperitita y perititas indicando posible retrogresión, se compone de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, muscovita, granates, óxidos de hierro y muy poca biotita, zircón, clorita formando de muscovita y presencia de minerales arcillosos.

Mineral	Inclusiones	Cristalización (S2)	Hidrotermalismo	Oxidación
Plagioclasa				
Feld. Potásico				
Cuarzo				
Biotita				
Muscovita				
clorita				
Zircón				
apatito				
Esfena				
Granate				

PETROGRAFIA DEL COMPLEJO ACATLAN, GRUPO PETLALCINGO, MAGDALENA, CHAZUMBA Y DIQUES SAN MIGUEL

Muestra No.: ACA 98
 Coordenadas: 0627863 E, 1983906 N
 Nombre: Anfibolita
 Composición principal: Básica

Formación: M. Magdalena
 Sección: San María Ayu-Magdalena
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con una fase de deformación y alto metamorfismo de textura granoblástica con foliación definida por la orientación preferente de Horn ± Plg. La homblendita se encuentra de forma subhedral elongada principalmente >1 mm. en promedio, con alteración a clorita o formándose de ella como cristales es café subhedral generalmente menores a 2 mm., se encuentra en contacto con plagioclasa <1 mm. euhedral y subhedral con elongación y en pequeñas segregaciones, con bordes rectos y redondeados, su macla es posible de observar en pocos cristales y también como inclusiones en la homblendita, algunos presentan ligera alteración a sercita mientras que otros en casi un 100% de remplazamiento. Esta roca está cortada por vetillas de 1 mm de espesor rellenas de calcita asociada con minerales opacos. Epidota pocos <1mm producto de retrogresión.

Minerales	%	SI=SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Horn.	80					
Plg	10					
Cl.	4					
Clzoiita	2					
Epi(?)	1					
Ser.						
Hematita	2					
Actinolita						
Mín Opc.	2					

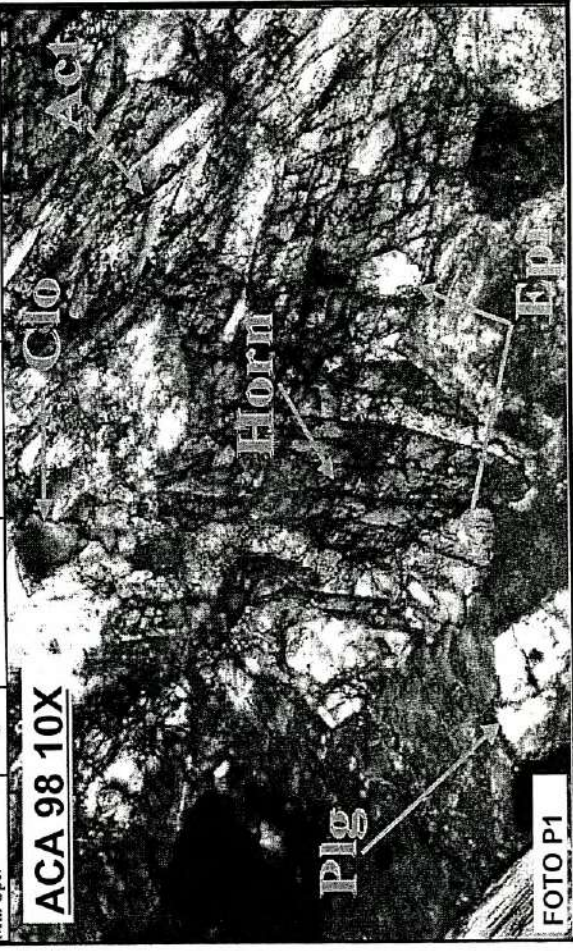


FOTO P1

Muestra No.: ACA 100
 Coordenadas:
 Nombre: Marmól de diópsida
 Composición principal: calcárea

Formación: Chazumba
 Sección: Magdaicna - San Miguel IX.
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: granoblástica

Roca de textura granoblástica, mineralogía: calcita (<1 mm.) y en porfiroblastos (>3 mm.) de forma xenoblástica y en parte ligeramente elongada. La diópsida se presenta como porfiroblastos (1-2.5 mm.) de forma chudral pareciendo desprender Fe. Granate (<0.5 mm.) probablemente de tipo grosularita ó andradita por el contenido de Ca. El cuarzo (< 3 mm) se presenta muy limpio, y en algunas partes aglomerado (cristales <1 mm.). Contiene en muy poca proporción esfena, clinozoisita?, muscovita.

Minerales	%	SI=SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Cal.	70					
Px (Diop.)	17					
Qz.	6					
Gra.	2					
Mus.	3					
Clzita(?)	1					
Esf.	1					
Zr	1					

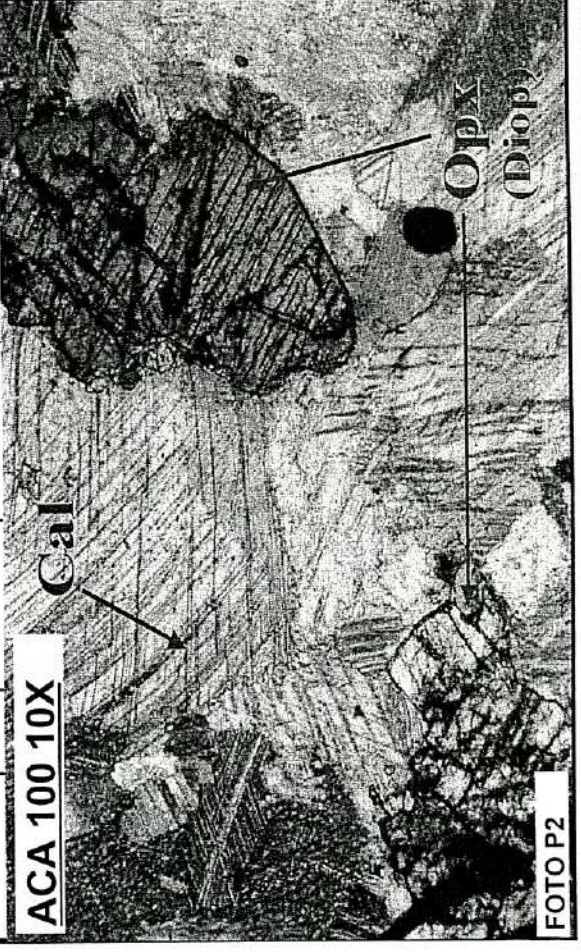


FOTO P2

Muestra No.: ACA 103
Coordenadas:
Nombre: Trondhjemita
Comp. ppal: Básica

Muestra No.: ACA 45
Coordenadas: (no, ubicada en mapa)
Nombre: Aplita Qz-feldespática
Composición principal: Félsica

Formación: Diques San Miguel
Sección: Magdalena-San Miguel IX
Tipo: Intrusivo granítico
Textura: Hipidiomorfica-granular

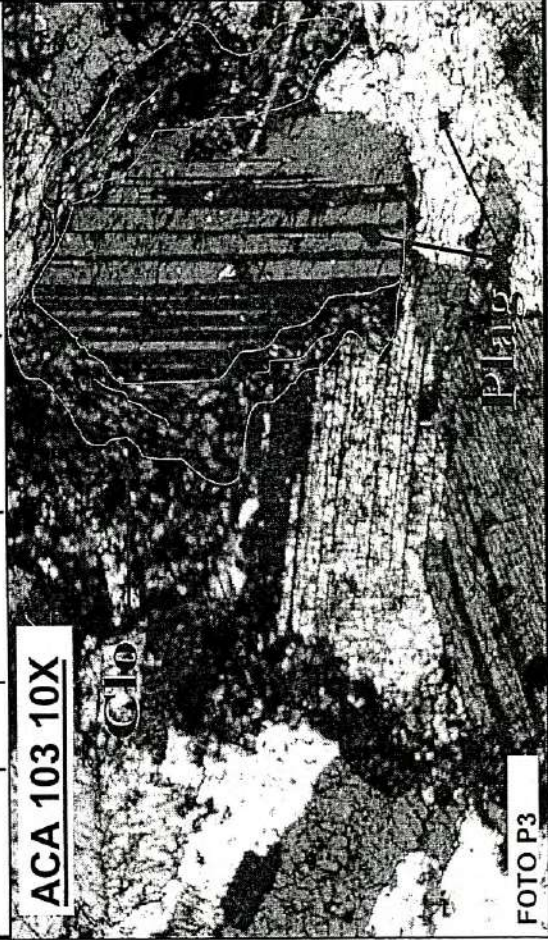
Formación: Diques San Miguel
Sección: Magdalena-San Miguel IX
Tipo: Intrusiva
Textura: Hipidiomorfica-granular

Roca con textura ígnea hipidiomorfica-granular y antipertita. Cristales euhedrales y subhedrales de plagioclasa (> 1mm) con mácla de deformación y en algunas zonas remplazada por clorita fibrosa con birrefringencia anómala azulada así como en los bordes, también se encuentran cortados por vetillas posteriores de 1mm de espesor rellenas de muscovita secundaria. inclusiones: Zircón.

Roca de textura hipidiomorfica granular con foliación no muy bien definida. Mineralogía constituida por plagioclasa (6-8 mm.) con mácla polisintética, anhedrales, levemente alterados a sercita, algunos bordes con mirmequitas finas a gruesas y antipertita. Grandes feldespatos potásicos, ortoclasa, también alterado a sercita, algunos perfiticos. Cuarzo anhedral con extinción ondulante (recristalización dinámica). Minerales accesorios: granate relativamente sano, algunos alterados a clinzoisita de 1 mm. a veces aglomerados. Minerales secundarios de clinzoisita y clorita formando un gran cristal con centro de calcita y borde de muscovita.

Minerales	%	SI-SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Plg	85					
Cl	9					
Musc.	5					
Zir.	5					
Cal.	1					
Ox. Fe	1					

Minerales	%	SI-SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Plg.	40					
Fk.	20					
Qz.	15					
Gran.	5					
Clzoiita.	12					
Musc.	3					
Cal.	2					
Esf.	1					
Zir.	<1					

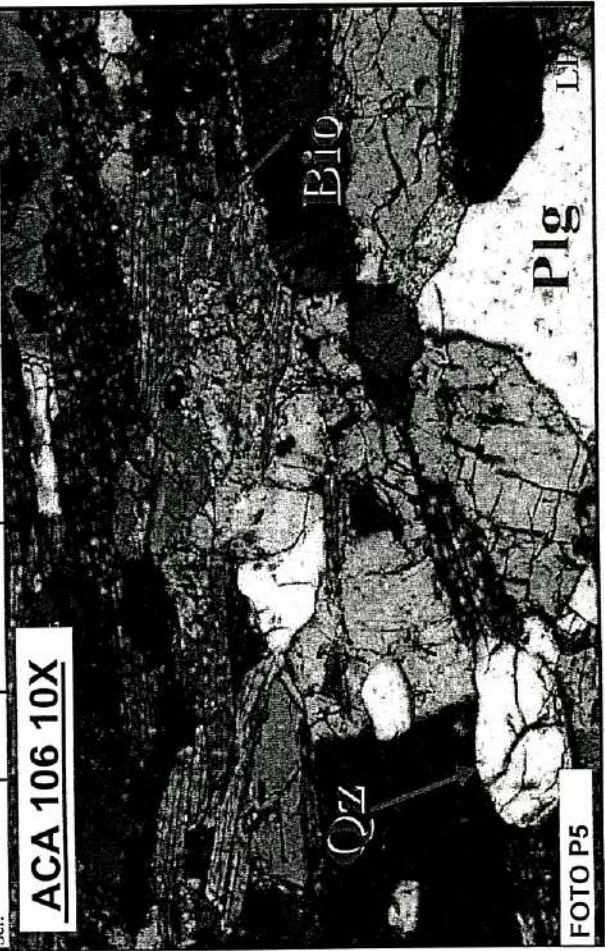


Muestra No.: ACA 106
Coordenadas: 0623652E, 1994705N
Nombre: Esquisto de sillimanita ?(campo)
Composición principal: Pelítica ?

Formación: Chazumba
Sección: Magdalena-San Miguel Ixitlán
Tipo: Metamorfismo regional
Textura: Granolepidoblástica

Cuarzo subhedral menor a 1 mm. con extinción normal, feldespatos potásicos ligeramente alterados a sercítica, plagioclasa en cristales anhedral a subhedral a subhedral mayores a 0.5 mm; biotita café, cristales de hasta 3 mm., subhedral con orientación marcada por la foliación; sillimanita, pequeñas fibras parecen estar creciendo de la biotita, muscovita anhedral cortando a la biotita o formándose de ella (?) y como inclusiones. Granate de tipo anhedral con pocas inclusiones de plagioclasa de 0.5 mm. además de muscovita acicular (se confunde con apatito).

Minerales	%	SI-SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz	30					
Fk	20					
Plg.	20					
Bio.	25					
Musc.	4					
Gr.	1 ?					
Sill.	5					
Ser.						

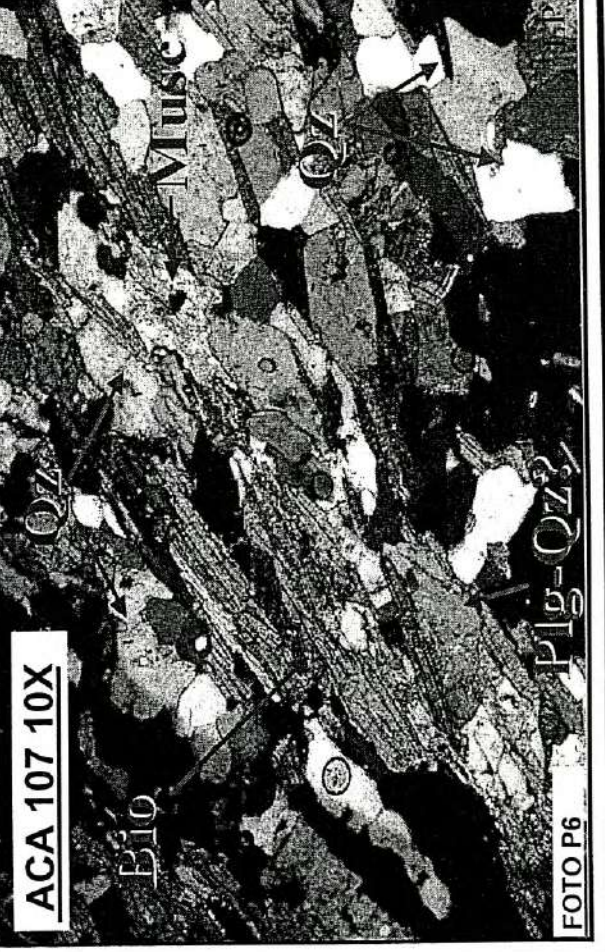


Muestra No.: ACA 107
Coordenadas: Ilegando a San Miguel Ixitlán
Nombre: Paragneis
Composición principal: Pelítica

Formación: Chazumba
Sección: Magdalena-San Miguel Ix.
Tipo: Metamorfismo regional
Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica, con una fase de deformación indicada por la orientación preferente de cristales de Qz+Musc. Cuarzo; anhedral y subhedral, en agregados y como porfiroblastos >3.5 mm. cortados por fracturas rellenas de arcillas. Se encuentran asociados con plagioclasa anhedral que varía de 2-3 mm de espesor, macla polisimétrica tenue o sin ella y más o menos alterada a sercítica, también con muscovita; subhedral de 2 mm. con orientación preferencial a la foliación además de granate anhedral de 1.5 mm con pocas inclusiones muy finas, apatito; asociado con minerales opacos y zircon, e incluso muscovita tardía de 0.3 mm. anhedral con alta birrefringencia.

Minerales	%	SI-SI	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz. ?	44					
Plg.	35					
Bio.	10-Ene					
Gran. ?	?					
Apat.	1					
Zirc.	<1					
Musc.	2					
Min. Acc.	<1					



Muestra No.: ACA 110
Coordenadas: Formación: Fm. Chazumba
 Sección: San Miguel Ixtapan-Tultitlán
Nombre: Esquisto de biotita
 Tipo: Metamorfismo regional
Composición principal: Pelítica ?
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con foliación continua marcada por la orientación preferente de muscovita y biotita aunque localmente se nota una foliación diagonal. Cuarzo formado en mosaicos granoblasticos (± 0.3 mm.) con ligera extinción ondulatoria, asociado con feldspato potásico como cristales anhedral. Entre los minerales accesorios se encuentra una asociación de biotita prismática de 1.5 mm con muscovita anhedral y localmente perpendicular a la foliación. Se encuentra una mica blanca con birrefringencia muy baja, no se sabe si es una variedad de muscovita, $E = 28^\circ$, parece uniaxial negativo, con inclusiones de agujas de sillimanita(?). Sillimanita de variedad fibrolita, agujas de grano fino que parecen formarse de la muscovita envueltas en cuarzo, parece tardía debido a no estar orientada con la foliación. Granate muy limpio en poca proporción.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz.	30				
Fk.	20				
Bio.	20				
Musc.	25				
Mica blanca	04				
Sill. ó Cio	05				
Gran.	01				

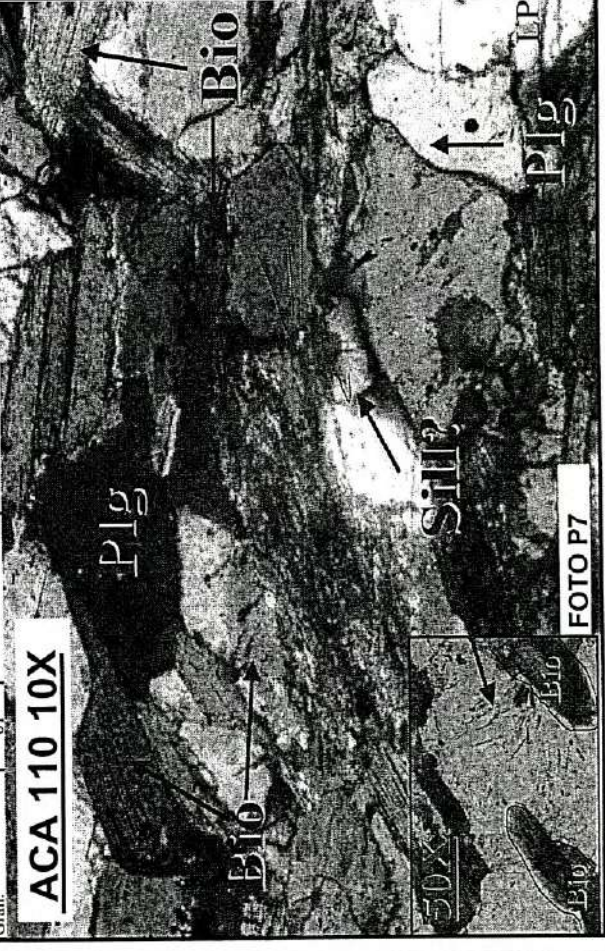


FOTO P7

Muestra No.: ACA 111
Coordenadas: 0625023E, 1995959N
 Sección: San Miguel Ix.-Tultitlán
Nombre: Granito de biotita
 Tipo: Metamorfismo regional
Composición principal: Plg. Qz. Bio
 Textura: Hipidiomórfica-granular

Roca ígnea similar a la ACA 109, con textura hipidiomórfica-granular, de mineralogía constituida por plagioclasa anhedral y subhedral (entre 1-3 mm.), con maclado polisintético moderadamente definido y sin éste, además de zonamiento, partes fracturadas, muy limpia y a veces poco alterada a sercicit. Se encuentran en contacto con biotita de 0.5 a 2mm. hipidiomórfica principalmente, y con muscovita primaria y en forma de vetillas con espesor <1 mm. Se forma clorita a partir de biotita. También contiene cuarzo como cristales más o menos redondeados y con cierta extinción ondulatoria, en general de tamaño menor a la plagioclasa, y poca muscovita.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz.	35				
Plg.	30				
Fk?	20				
Bio.	15				
Musc.	5				

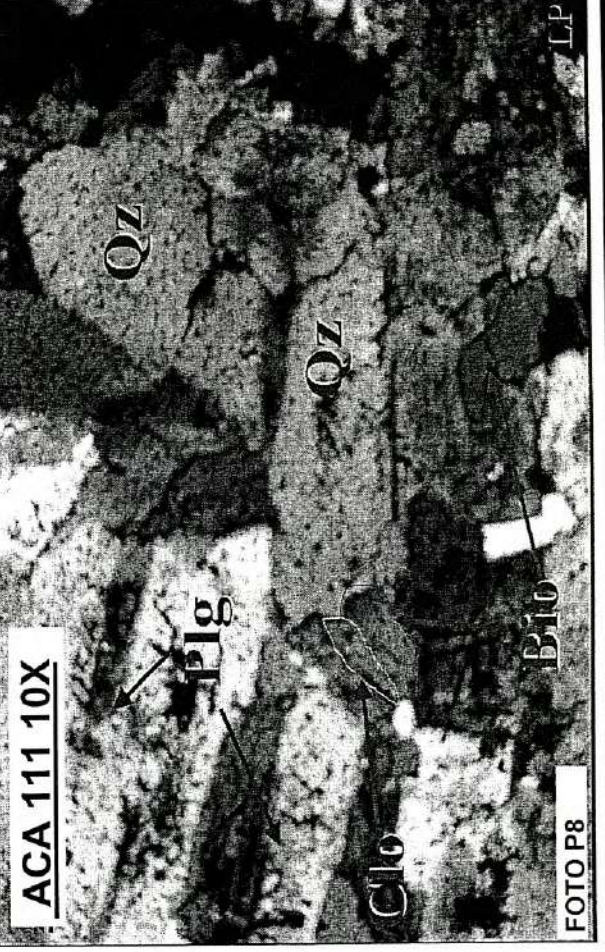


FOTO P8

Muestra No.: ACA 112
Coordenadas: Fm. Chazumba
Nombre: San Miguel IX.-Tultitlán
Composición principal: Pelítica

Roca con una fase de deformación y textura esquistosa indicada por la orientación preferente de cristales de Bio+Musc=Sil+Qz poco espaciada. Su mineralogía principal está constituida por cuarzo anhedral a subhedral >0.5 mm. y en agregados que alcanzan 5 mm. de diámetro, presentan extinción normal y ligera elongación, además de recristalización estática. En contacto con plagioclasa < 1mm. alteradas a sercita con macla polisintética y de deformación así como porfiroblastos de 4 mm; la biotita poligonal < 1.5 mm. oxidadas, con tendencia nodular o vagamente formando arcos poligonales. En menor proporción hay granate (almandino) xenomórfico e hipidiomórfico < 1 mm. muy limpio y con fracturamiento. Cristales de sillimanita aparecen formándose de la biotita como segregaciones ovoideas (aguja de fibrolita) graduando a cristales prismáticos elongados con extinción paralela, mayores a 1.5 mm. Poca muscovita y mica blanca xenomórfica-hipidiomórfica entre 0.5-1.5 mm., calcita en vetillas de 0.2 mm. de espesor y hematita pseudomorfa.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz. ?	36				
Bio.	32				
Pig.	22				
Sill. ó Clo. ?	02				
Musc.	02				
Gra.	02				
Mica bca.	01				
Ox. Fe	<1				
Ser.					



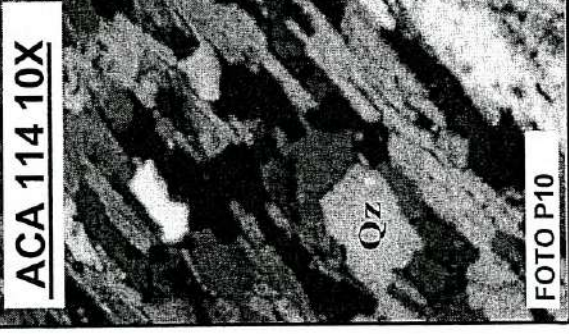
ACA 112 10X

FOTO P9

Muestra No.: ACA 114
Coordenadas: 0625382E, 1997663N
Nombre: Esquistos de biotita
Composición principal: ?

Roca con una fase de deformación y textura esquistosa indicada por la orientación preferente de cristales de Bio+Musc. Mineralogía constituida por cuarzo euhedral a anhedral, presentan ligera extinción ondulante, la biotita poligonal < 1.5 mm. Poca muscovita anhedral y euhedral entre 0.5-1.5 mm. que parece crecer de la biotita. En general todos los cristales son menores a 1 mm.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz-Pig	50				
Bio	30				
Musc.	20				



ACA 114 10X

FOTO P10

V.1.2. Química Mineral

Los análisis para obtener la química mineral fueron efectuados en una microsonda electrónica CAMECA SX-50 en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Arizona, EUA (fotografía 20). Las condiciones de análisis fueron las siguientes: corriente de haz de 20.0 nA con un voltaje de aceleración de 15 kV. El tiempo de conteo para todos los elementos fue de 20 segundos, con la excepción del sodio, para el cual se asignó un tiempo de conteo de 10 segundos. Los estándares considerados fueron los siguientes: diópsida (Si, Mg), albita (Na), anortita (Al), wollastonita (Ca), feldespato potásico (K), cromita (Cr), fayalita (Fe), rodonita (Mn), y rutilo (Ti).

Se analizaron los siguientes minerales: granate, anfíbol, micas, y feldespatos-plagioclasas, y se calculó la fórmula estructural de acuerdo a los procedimientos de Deer, Howie y Zussman (1997), con la excepción del cálculo del Fe^{+3} en anfíboles, el cual se efectuó de acuerdo a Leake et al., (1997) y Schumacher (1997). Para el cálculo de la fórmula mineral referirse a apéndice IX.2.

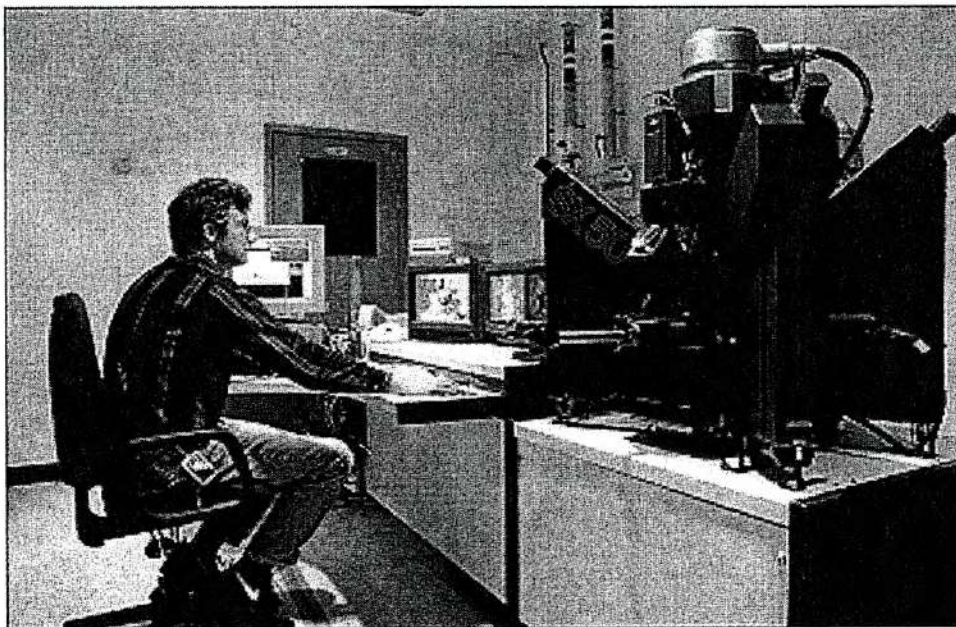


Foto 20. Microsonda electrónica tipo CAMECA SX50.

Las muestras analizadas corresponden a las siguientes: ACA 98 y 102 anfibolita (bloques dentro de la Migmatita Magdalena), ACA 106 esquistos de biotita, ACA 117, ACA 116a, ACA 112 esquistos de biotita, ACA 50 esquistos de biotita con granate y ACA 220 esquistos de biotita con sillimanita.

Micas. - Se analizaron micas blancas elongadas (subidioblásticas) en esquistos de biotita dentro de la facies de anfibolitas; se desarrollan cristales de biotita (ACA 106) en contacto con muscovita que crece partir de la biotita formando la foliación principal S2, en aparente equilibrio con cristales de plagioclasas (oligoclasa) y feldespato potásico, el contenido en sílice varía en dos rangos: de 2.6 a 2.8 y de 3.0 a 3.2, a excepción de un análisis de 2.9-4.0. La Figura 10 muestra un histograma indicando el contenido de Si de micas blancas en esquistos de biotita del Grupo Petlalcingo y micas blancas de la Formación Xayacatlán del Grupo Piaxtla, con una marcada diferencia a partir del valor Si = 3.2 determinado por las condiciones de alta presión del Grupo Piaxtla y la baja presión/alta temperatura del Grupo Petlalcingo.

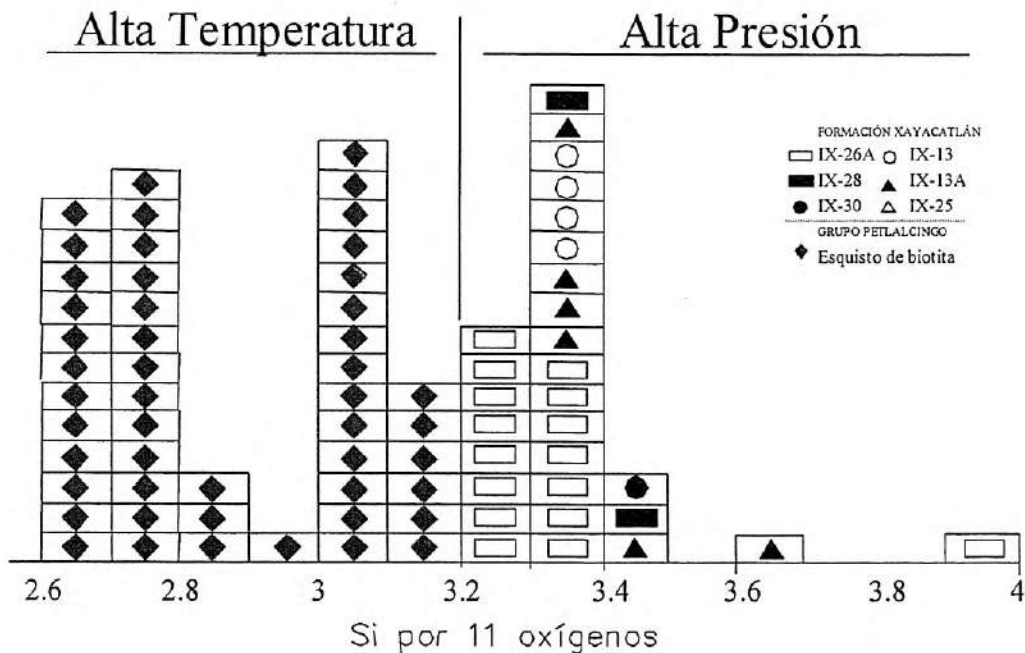


Figura 10. Histograma en base a contenido de sílice de micas blancas en esquistos de biotita del Grupo Petlalcingo y micas blancas en metabsitas de la Formación Xayacatlán (datos tomados de; De la Cruz-Vargas 2002).

Tabla 8. Análisis de microsonda electrónica de micas en facies anfibolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petlalcingo, Complejo Acatlán.

Muestra	Esquisto de biotita FC												Esquisto de biotita y muscovita FC											
	ACA 112						ACA 116a						ACA 117						ACA 117					
	N° Anál.	aca112-1c1	aca112-2c1	aca112-9c2	aca112-10c2	aca112-12c2	1	3	6	12	16-14	20	25	56	58	61	66	67	69	62	63	65	70	
SiO2	35.93	35.33	35.41	35.69	34.82	33.82	35.63	35.34	34.09	35.45	35.21	35.36	48.42	48.56	48.27	48.22	49.83	49.18	37.70	37.34	39.16	38.02		
Al2O3	20.11	20.06	19.62	19.51	19.46	19.87	18.88	18.89	18.46	19.07	18.35	17.88	36.97	36.30	37.00	35.83	36.76	36.69	18.56	19.20	18.69	19.16		
TiO2	3.17	3.17	3.48	3.63	3.58	1.56	1.95	2.08	1.51	1.89	1.94	1.74	0.82	0.45	0.49	0.63	0.54	0.69	1.74	1.76	1.81	1.77		
FeO	19.05	19.55	18.93	19.26	19.16	20.27	19.83	19.59	20.78	19.41	19.39	20.61	0.98	1.16	0.98	1.15	1.15	1.02	16.91	16.78	15.44	15.39		
MgO	8.11	8.39	7.92	7.83	7.50	8.71	9.40	9.21	8.36	9.46	9.41	8.69	0.91	1.06	0.85	0.94	1.05	0.96	10.32	10.72	10.39	10.99		
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.02	0.04	0.10	0.12	0.12	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.17	0.16	0.28	0.23		
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.35	0.17	0.20	0.22	0.18	0.19	0.26	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.24	0.32	0.24	0.23		
Cr2O3	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.09	0.01	0.04	0.01	0.09	0.03	0.02	0.04		
NiO	0.03	0.00	0.04	0.05	0.03	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00		
Na2O	0.15	0.16	0.16	0.23	0.21	0.20	0.16	0.17	0.39	0.18	0.22	0.27	0.75	0.68	0.86	0.45	0.78	0.72	0.34	0.27	0.38	0.30		
K2O	9.31	9.19	9.37	9.31	9.31	9.11	9.14	9.08	8.42	8.90	8.52	8.83	9.04	9.14	9.18	8.93	9.01	8.63	6.95	7.07	7.77	8.12		
Total	95.88	95.88	94.95	95.54	94.17	93.98	95.23	94.63	92.39	94.69	93.38	93.77	97.91	97.41	97.74	96.18	99.23	97.91	93.06	93.67	94.19	94.24		
22 oxígenos																								
Si	5.40	5.33	5.39	5.40	5.36	5.26	5.43	5.42	5.39	5.42	5.45	5.50	6.19	6.24	6.19	6.27	6.28	6.26	5.69	5.61	5.81	5.66		
Al	3.56	3.57	3.52	3.48	3.53	3.64	3.39	3.41	3.44	3.43	3.35	3.28	5.57	5.50	5.59	5.49	5.46	5.51	3.30	3.40	3.27	3.36		
Ti	0.36	0.36	0.40	0.41	0.41	0.18	0.22	0.24	0.18	0.22	0.23	0.20	0.08	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.20	0.20	0.20	0.20		
Fe	2.40	2.47	2.41	2.44	2.47	2.64	2.53	2.51	2.75	2.48	2.51	2.68	0.10	0.12	0.10	0.13	0.12	0.11	2.14	2.11	1.91	1.92		
Mg	1.82	1.89	1.80	1.77	1.72	2.02	2.14	2.10	1.97	2.16	2.17	2.02	0.17	0.20	0.16	0.18	0.20	0.18	2.32	2.40	2.30	2.44		
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.04	0.04		
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03		
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00		
Ni	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00		
Na	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.12	0.05	0.07	0.08	0.19	0.17	0.21	0.11	0.11	0.19	0.10	0.08	0.11	0.09		
K	1.79	1.77	1.82	1.80	1.83	1.81	1.78	1.78	1.70	1.74	1.69	1.76	1.48	1.50	1.51	1.48	1.45	1.40	1.34	1.36	1.47	1.55		
Total	15.38	15.43	15.39	15.38	15.41	15.67	15.56	15.55	15.62	15.54	15.52	15.57	13.78	13.80	13.83	13.72	13.76	13.71	15.17	15.21	15.15	15.27		
AlIV	2.60	2.67	2.61	2.60	2.64	2.74	2.57	2.58	2.61	2.58	2.55	2.50	1.81	1.76	1.81	1.73	1.72	1.74	2.31	2.39	2.19	2.34		
AlVI	0.96	0.90	0.91	0.88	0.89	0.90	0.82	0.83	0.84	0.85	0.81	0.78	3.76	3.75	3.78	3.76	3.74	3.77	1.00	1.00	1.07	1.02		
Na/(Na+K)	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.04	0.04	0.11	0.10	0.12	0.07	0.12	0.11	0.07	0.05	0.07	0.05		
Fe/(Fe+Mg)	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.57	0.54	0.54	0.58	0.54	0.54	0.57	0.38	0.38	0.39	0.41	0.38	0.37	0.48	0.47	0.45	0.44		
X _{Fe}	-0.30	-0.33	-0.31	-0.30	-0.32	-0.37	-0.29	-0.29	-0.30	-0.29	-0.27	-0.25	0.09	0.12	0.09	0.13	0.14	0.13	-0.15	-0.20	-0.10	-0.17		

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Dr. Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA.
 FC: Formación Chazumba, MM. Migmaitita Magdalena

- *Anfiboles*.- En equilibrio con la plagioclasa (oligoclasa-andesina), el anfíbol ocurre en un dominio cálcico (Leake et al. 1997), su variedad edenita y magnesiohornblenda forman el principal constituyente de estas rocas. Son cristales deformados subhedral > 1 mm, el tono verde claro (luz polarizada) en ciertas zonas hace suponer la presencia de un evento mimético de retrogresión parcial de hornblenda-actinolita y plagioclasa-epidota asociadas a un evento hidrotermal por la presencia de Cal+FK+Clo+Clinoz+Qz transversales a la foliación. (Figura 11)

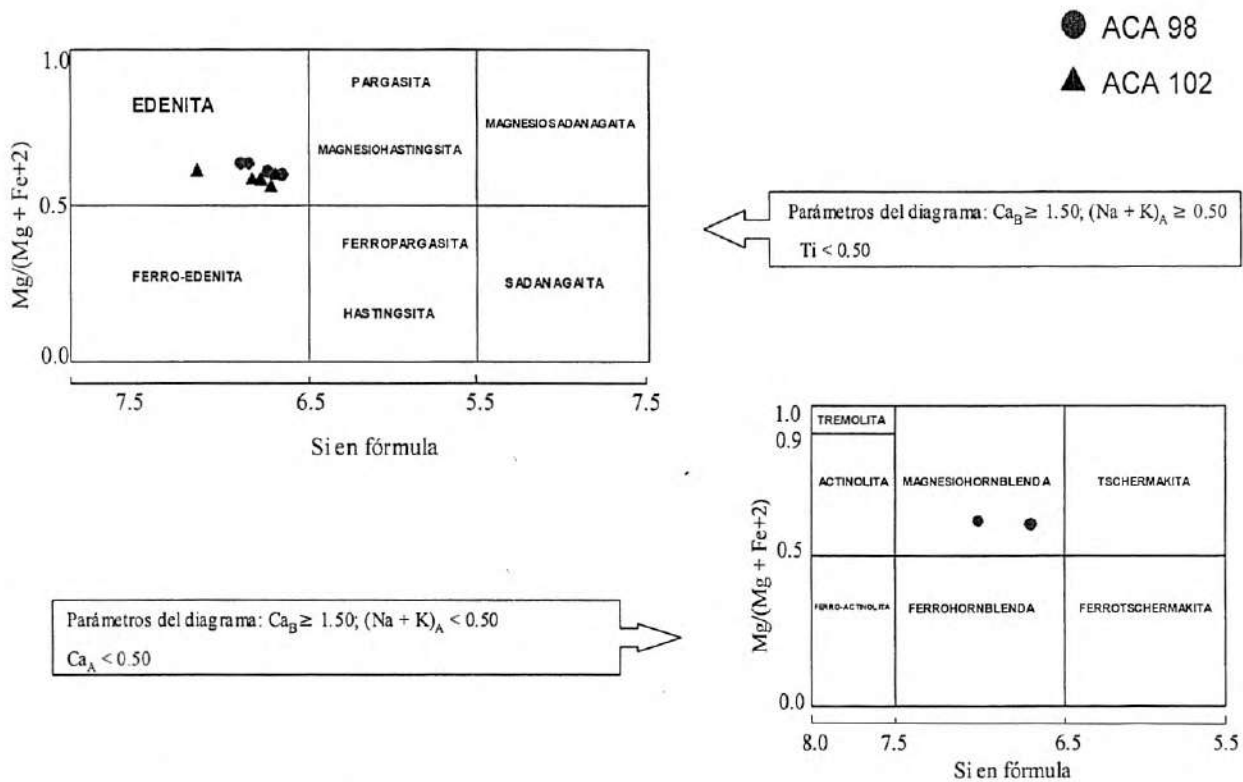


Figura 11. Esquema de clasificación de anfíboles cálcicos (basado en 23 oxígenos por unidad en fórmula) de acuerdo a Leake et al. (1997); para anfíboles cálcicos de la Migmatita Magdalena en el Complejo Acatlán

- *Plagioclasas*.- En general la composición de la plagioclasa, se presenta ampliamente en todas las muestras analizadas en el campo de la oligoclasa variando ligeramente hacia andesina (Fig. 12) se hallan en: i) los esquistos de biotita texturalmente en equilibrio aparente con cristales subhedrales desarrollando junto con las micas y el feldespato potásico la foliación S2, así como con granates, ii) en las rocas anfíbolíticas se presenta como cristales elongados en contacto con anfíboles de edenita y magnesiohornblenda (principales constituyentes de la roca), esfena, muscovita, calcita, sericita, hematita y epidota como accesorios.

Tabla 9. Análisis de microsonda electrónica en anfíboles de facies anfíbolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Complejo Acatlán.

Anfíboles		Anfíboles calcicos MM										
		ACA98					ACA102					
Muestra		aca98c1-1	aca98c1-2	aca98c1-5	aca98c2-7	aca98c2-9	aca98c2-12	aca102c1	aca102c1c1	aca102c1c2	aca102c1c2	aca102c2
N° Analisis		aca98c1-1	aca98c1-2	aca98c1-5	aca98c2-7	aca98c2-9	aca98c2-12	aca102c1	aca102c1c1	aca102c1c2	aca102c1c2	aca102c2
SiO ₂		45.73	46.40	46.81	44.98	46.17	47.23	45.04	48.71	46.18	45.52	46.36
TiO ₂		1.26	1.21	0.99	1.88	1.39	1.35	2.07	1.14	2.03	1.84	1.99
Al ₂ O ₃		9.19	8.72	8.66	9.85	8.69	7.65	9.67	7.23	10.40	9.41	9.03
Cr ₂ O ₃		0.16	0.24	0.12	0.07	0.06	0.06	0.23	0.25	0.21	0.14	0.10
FeO		15.08	14.44	14.61	15.37	14.35	14.21	15.13	14.39	15.25	15.06	15.20
MnO		0.29	0.25	0.28	0.25	0.27	0.31	0.30	0.25	0.28	0.24	0.26
MgO		12.37	12.58	12.62	11.69	12.43	12.75	10.86	12.36	11.63	11.23	11.36
NiO		0.02	0.05	0.12	0.06	0.01	0.01	0.07	0.04	0.05	0.10	0.03
CaO		11.74	11.72	11.79	11.65	11.78	11.62	11.64	11.83	11.41	11.68	11.70
Na ₂ O		1.80	1.52	1.64	1.85	1.35	1.56	1.70	1.28	1.86	1.62	1.88
K ₂ O		0.45	0.41	0.40	0.52	0.43	0.41	0.56	0.39	0.56	0.54	0.53
Total		98.10	97.54	98.04	98.17	96.93	97.17	97.26	97.87	99.88	97.39	98.44
		23 oxígenos										
Si		6.75	6.85	6.88	6.65	6.86	6.99	6.72	7.13	6.69	6.77	6.82
Ti		0.14	0.13	0.11	0.21	0.16	0.15	0.23	0.13	0.22	0.21	0.22
Al		1.60	1.52	1.50	1.72	1.52	1.33	1.70	1.25	1.78	1.65	1.56
AlIV		1.25	1.15	1.12	1.35	1.14	1.01	1.28	0.87	1.31	1.23	1.18
AlVI		0.35	0.37	0.38	0.37	0.38	0.32	0.42	0.38	0.46	0.42	0.38
Cr		0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
Fe ²⁺		1.86	1.78	1.80	1.90	1.78	1.76	1.89	1.76	1.85	1.87	1.87
Mn		0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Mg		2.72	2.77	2.77	2.58	2.75	2.81	2.42	2.70	2.51	2.49	2.49
Ni		0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	nd	nd	nd	nd	nd
Ca		1.86	1.85	1.86	1.85	1.87	1.84	1.86	1.86	1.77	1.86	1.84
Na		0.52	0.44	0.47	0.53	0.39	0.45	0.49	0.36	0.52	0.47	0.54
K		0.09	0.08	0.07	0.10	0.08	0.08	0.11	0.07	0.10	0.10	0.10
Total		15.60	15.50	15.52	15.59	15.46	15.46	15.48	15.32	15.50	15.47	15.49
CaB		1.86	1.85	1.86	1.85	1.87	1.84	1.86	1.86	1.77	1.86	1.84
NaB		0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.07	0.12	0.12	0.12	0.10	0.15
X ⁺ Mg/(Mg+Fe ²⁺)		0.59	0.61	0.61	0.58	0.61	0.62	0.56	0.60	0.58	0.57	0.57
(Na+K)/A		0.60	0.50	0.52	0.59	0.46	0.46	0.49	0.32	0.50	0.48	0.49
100 Na/(Ca+Na)		21.77	19.03	20.06	22.28	17.21	19.54	20.89	16.37	22.75	20.10	22.55
100 Al/(Si+Al)		19.16	18.13	17.91	20.52	18.15	16.04	20.19	14.88	20.98	19.60	18.66

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Dr. Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA.
nd: no detectado, FC: Formación Chazumba, MM: Migmatita Magdalena

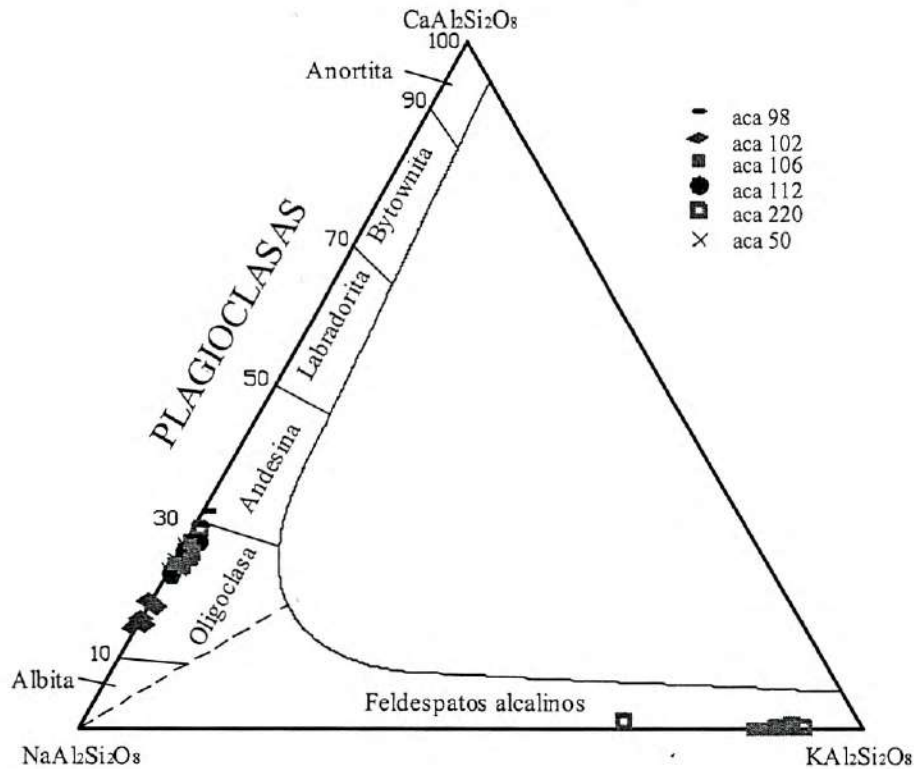


Figura 12. Rango composicional de plagioclasas en facies de anfibolitas del Grupo Petlalcingo en la que se incluyen esquistos de biotita y anfibolitas.

- *Granates*.- La abundancia de granate se incrementa en la región norte con rumbo a Cosoltepec dentro de los esquistos de biotita como i) granate principalmente de tipo almandino (Alm_{55-77}) en la Formación Esquistos Chazumba cerca del contacto con la Migmatita Magdalena. El granate adquiere un componente importante de grosularia ($Gross_{20-30}$) dentro de la Formación Esquistos Chazumba, en las cercanías al contacto con la Formación Cosoltepec, este aspecto puede atribuirse a diferencias composicionales del protolito. Los granates aparecen como poiquiloblastos alterados (2 mm), en contacto textural con muscovita y biotita; presenta inclusiones de Qz, muscovita y biotita sin orientación y en parte son esqueléticos y con sombras de presión de cuarzo; ii) dentro de diques y cuerpos graníticos, como porfidoblastos en equilibrio textural con cuarzo (los cuales presentan extinción ondulante), feldespato potásico, y plagioclasa (a veces en cristales elongados). La figura 13 muestra los campos composicionales de granate en rocas metamórficas del Complejo Acatlán; se observa una marcada diferencia en contenido de piropo, siendo mayor en granates de la Formación Xayacatlán en las localidades de

Tabla 10. Análisis de microsonda electrónica en feldespatos de facies anfibolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petalcingo, Complejo Acatlán.

Feldespatos-Plagioclasas		Anfibolita calcica MM												Esquistos de biotita FC													
		ACA98				ACA102				ACA106				ACA108				ACA110				ACA112					
Muestra	Nº Analisis	aca98c1-3	aca98c1-4	aca98c1-8	aca98c2-8	aca98c2-10	aca98c2-11	aca98c2-13	aca102c1	aca102c2	aca102c3	aca102c4	aca102c5	aca102c6	aca102c7	aca102c8	aca106-3c1	aca106-4c1	aca106-6c1	aca106-8c1	aca106-13c1	aca108-14c1	aca108-15c1	aca108-17c1	aca110-18c1	aca110-19c1	
SiO2	62.93	61.34	60.48	62.48	63.49	62.48	65.25	64.11	64.24	63.27	64.09	64.61	64.60	64.63	65.07	65.03	64.63	65.07	65.03	64.63	65.07	65.03	64.63	65.07	65.03	64.63	65.07
Al2O3	24.24	25.62	24.81	24.09	24.62	18.90	22.16	22.86	24.28	22.80	21.93	22.53	19.08	19.39	19.03	19.03	19.08	19.39	19.03	19.08	19.39	19.03	19.08	19.39	19.03	19.08	19.39
FeO	0.06	0.00	0.05	0.08	0.13	0.09	0.06	0.09	0.12	0.11	0.11	0.03	0.09	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05
CaO	4.76	6.14	6.84	5.37	4.65	5.26	0.00	3.10	3.75	5.12	3.80	3.18	3.31	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.04	0.01	0.04
Na2O	8.32	8.43	8.04	8.12	9.34	8.76	0.51	9.85	9.62	8.83	9.34	10.11	10.01	0.96	1.36	1.42	0.96	1.36	1.42	0.96	1.36	1.42	0.96	1.36	1.42	0.96	1.36
K2O	0.16	0.09	0.12	0.11	0.12	0.12	16.11	0.10	0.13	0.15	0.07	0.09	0.08	14.96	14.31	14.32	14.96	14.31	14.32	14.96	14.31	14.32	14.96	14.31	14.32	14.96	
Total	100.46	101.62	101.50	100.94	101.76	101.37	100.86	99.39	100.70	101.77	100.21	100.02	100.56	99.73	100.19	99.89	99.73	100.19	99.89	99.73	100.19	99.89	99.73	100.19	99.89	99.73	100.19
8 oxígenos																											
Si	2.77	2.68	2.66	2.74	2.76	2.73	2.99	2.84	2.82	2.76	2.82	2.85	2.83	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
Al	1.26	1.32	1.34	1.28	1.24	1.27	1.02	1.16	1.18	1.25	1.18	1.14	1.17	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Fe2+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.22	0.29	0.32	0.25	0.22	0.25	0.00	0.15	0.18	0.24	0.18	0.15	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na	0.71	0.72	0.68	0.69	0.79	0.74	0.05	0.85	0.82	0.75	0.80	0.86	0.85	0.09	0.12	0.13	0.09	0.12	0.13	0.09	0.12	0.13	0.09	0.12	0.13	0.09	
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.94	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.88	0.84	0.84	0.88	0.84	0.84	0.88	0.84	0.84	0.88	0.84	0.84	0.88	
Total	4.97	5.01	5.02	4.97	5.01	5.01	5.00	5.00	5.00	5.00	4.99	5.01	5.01	4.99	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson AZ, USA.
 Nota: Abreviaciones, Ab: albilita, An: anortita, Or: ortoclasa; ACA: Acatlán, FC: Formación Chezumbe, MM: Migmatita Magdalena

Ixcamilpa y Piaxtla (Meza-Figueroa et al 2003). Se atribuye debido a sus patrones geoquímicos esta diferencia a las características composicionales de los protolitos, siendo en ambos casos de afinidad oceánica. Por otro lado, el contenido de almandino en granates de la Fm. Xayacatlán en la localidad de Mimilulco (Meza-Figueroa et al 2003) es similar al contenido de almandino en las rocas analizadas del Grupo Petlalcingo. Se atribuye esta similitud a que ambos protolitos son sedimentarios por lo que la composición de los granates está determinada por la composición química de los protolitos.

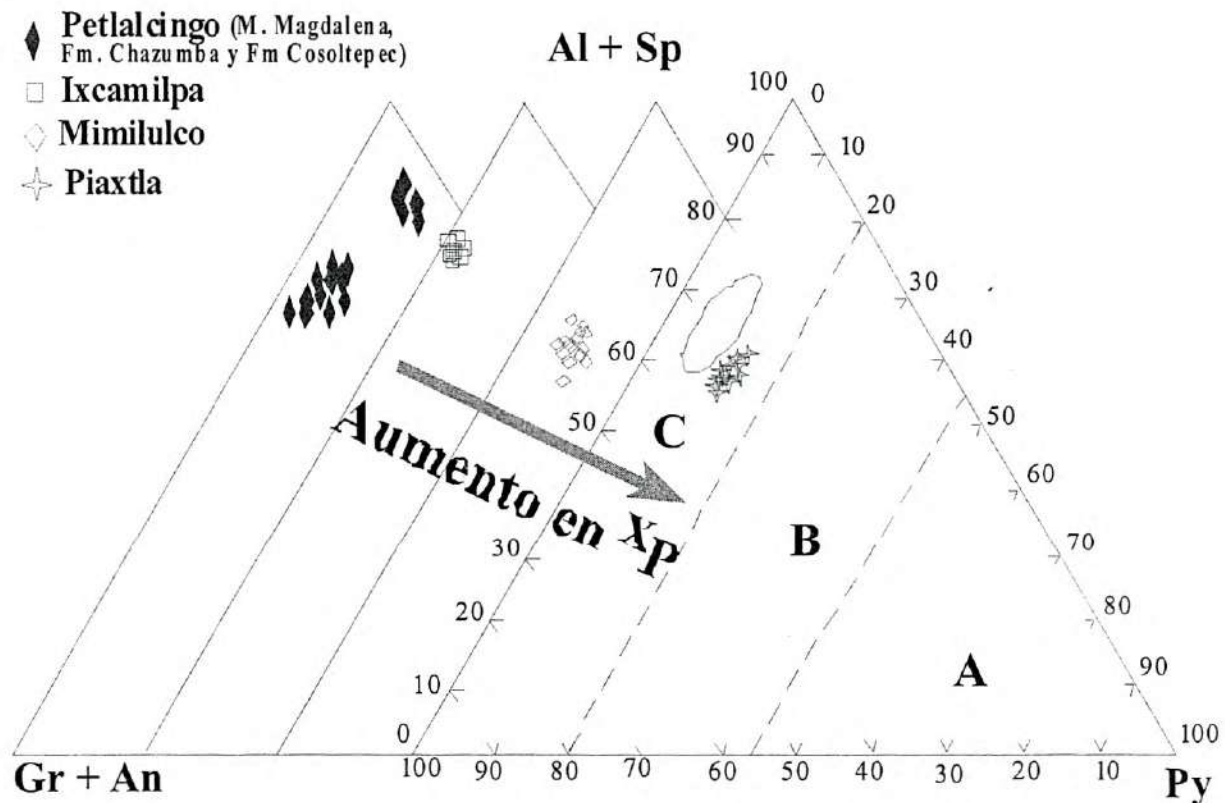


Figura 13. Proporción relativa de miembro final en moléculas de granates en eclogitas y tipos de rocas relacionadas. A) eclogitas relacionadas a rocas ultramáficas (dunitas y peridotitas) B) relacionadas a gneises o terrenos migmatíticos, C) relacionadas a rocas anfibolíticas, charnokitas, granulitas. Xp; aumento en presión. Polígonos abiertos indican granates de eclogitas y esquistos de glaucofano (relacionados a zonas de subducción), Coleman et al. 1965. Los polígonos oscuros indican a los granates encontrados principalmente en los esquistos de biotita del Grupo Petlalcingo.

Tabla 11. Análisis de microsonda electrónica en granates de facies anfíbolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petlalcingo, Complejo Acatlán.

Granates	Esquisto de biotita con granate FC														Esquisto de biotita FC												
	ACA 50														ACA 116a						ACA 117						
Muestra	43	46	52	64	55	56	1	3	12	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	24	28	1	5	6	14		
SiO2	36.71	36.29	37.23	37.12	35.44	36.77	37.30	37.28	36.64	37.19	37.49	37.59	37.39	37.13	37.19	37.49	37.59	37.39	37.13	37.04	37.14	36.91	36.37	36.69	37.08		
Al2O3	20.95	21.23	20.67	21.01	20.49	21.13	20.85	21.15	20.87	20.86	20.86	21.05	21.09	21.71	20.86	20.86	21.05	21.09	21.71	20.84	21.14	21.08	21.17	21.57	20.97		
TiO2	0.00	0.04	0.01	0.01	0.04	0.02	0.11	0.14	0.08	0.10	0.07	0.10	0.08	0.09	0.10	0.07	0.10	0.08	0.09	0.08	0.11	0.19	0.12	0.09	0.21		
FeO	30.03	29.57	30.12	31.23	30.49	31.63	29.07	26.63	28.83	23.99	28.32	27.02	28.20	28.65	23.99	28.32	27.02	28.20	28.65	27.21	28.47	21.72	24.48	23.75	20.71		
MgO	2.54	2.31	2.11	2.59	2.38	2.88	1.24	1.28	1.51	0.69	1.71	1.41	1.40	1.86	0.69	1.71	1.41	1.40	1.86	1.51	1.16	0.97	1.75	1.87	0.94		
CaO	2.18	2.05	1.50	1.98	1.97	2.12	9.37	9.64	7.31	10.65	6.87	9.05	9.01	9.16	10.65	6.87	9.05	9.01	9.16	7.77	9.98	8.33	7.41	7.60	8.33		
MnO	7.33	8.16	8.64	6.53	6.82	5.24	2.56	4.27	4.96	6.45	4.77	4.60	3.55	1.86	6.45	4.77	4.60	3.55	1.86	5.03	2.86	11.04	8.22	8.79	11.86		
Cr2O3	0.06	0.00	0.03	0.02	0.04	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.00	0.04	0.01	0.00	0.02	0.05	0.03	0.07		
Total	99.80	99.64	100.31	100.50	97.66	99.81	100.50	100.42	100.24	99.96	100.15	100.84	100.72	100.49	99.96	100.15	100.84	100.72	100.49	99.48	100.87	100.25	99.57	100.38	100.17		
24 oxígenos																											
Si	5.95	5.91	6.02	5.98	5.90	5.95	5.97	5.95	5.91	5.97	6.01	5.98	5.96	5.90	5.97	6.01	5.98	5.96	5.90	5.98	5.92	5.93	5.88	5.87	5.96		
Al	4.01	4.07	3.94	3.99	4.02	4.03	3.93	3.98	3.97	3.95	3.94	3.95	3.96	4.07	3.95	3.94	3.95	3.96	4.07	3.97	3.97	4.00	4.03	4.07	3.97		
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03		
Fe	4.07	4.02	4.08	4.21	4.25	4.28	3.89	3.56	3.89	3.22	3.80	3.59	3.76	3.81	3.22	3.80	3.59	3.76	3.81	3.67	3.80	2.92	3.31	3.18	2.78		
Mg	0.61	0.56	0.51	0.62	0.59	0.69	0.30	0.30	0.36	0.17	0.41	0.34	0.33	0.44	0.17	0.41	0.34	0.33	0.44	0.36	0.27	0.23	0.42	0.45	0.22		
Ca	0.38	0.36	0.26	0.34	0.35	0.37	1.61	1.65	1.26	1.83	1.18	1.54	1.54	1.56	1.83	1.18	1.54	1.54	1.56	1.34	1.71	1.43	1.28	1.30	1.44		
Mn	1.01	1.12	1.18	0.89	0.96	0.72	0.35	0.58	0.68	0.88	0.65	0.62	0.48	0.25	0.88	0.65	0.62	0.48	0.25	0.69	0.39	1.50	1.13	1.19	1.61		
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01		
Total	16.04	16.05	16.00	16.03	16.08	16.04	16.05	16.04	16.09	16.04	16.01	16.03	16.05	16.05	16.04	16.01	16.03	16.05	16.05	16.03	16.08	16.04	16.08	16.08	16.02		
% Pir.	10.16	9.27	8.52	10.33	9.71	11.51	4.89	5.04	5.96	2.74	6.82	5.55	5.50	7.28	2.74	6.82	5.55	5.50	7.28	6.05	4.52	3.83	6.92	7.32	3.72		
% Alm	66.88	66.25	67.32	69.22	68.71	70.51	62.85	58.09	62.14	52.35	62.65	58.60	61.11	62.78	52.35	62.65	58.60	61.11	62.78	60.24	61.04	47.57	53.44	51.62	45.65		
% Esp	16.68	18.58	19.81	14.77	15.81	11.90	5.72	9.57	11.13	14.54	10.82	10.28	7.94	4.13	14.54	10.82	10.28	7.94	4.13	11.41	6.36	24.87	18.51	19.61	26.81		
% And	0.85	0.39	1.31	0.82	1.70	0.55	2.16	1.20	2.63	1.54	1.08	1.46	1.62	0.30	1.54	1.08	1.46	1.62	0.30	1.08	2.22	1.15	1.52	1.04	0.84		
% Uva	0.18	0.00	0.09	0.07	0.13	0.04	0.01	0.05	0.09	0.07	0.12	0.06	0.00	0.13	0.07	0.12	0.06	0.00	0.13	0.02	0.00	0.05	0.16	0.10	0.22		
% Gros	5.26	5.51	2.95	4.79	3.95	5.50	24.37	26.06	18.04	28.75	18.51	24.05	23.83	25.38	28.75	18.51	24.05	23.83	25.38	21.20	25.86	22.53	19.45	20.31	22.77		
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
Pyr+Alm	77.04	75.52	75.84	79.56	78.42	82.01	67.74	63.12	68.11	55.10	69.48	64.16	66.61	70.06	55.10	69.48	64.16	66.61	70.06	66.28	65.56	51.39	60.36	58.94	49.37		
And + Gros	6.11	5.90	4.26	5.61	5.65	6.05	26.53	27.26	20.67	30.29	19.59	25.51	25.45	25.68	30.29	19.59	25.51	25.45	25.68	22.28	28.08	23.69	20.97	21.35	23.60		

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Dr. Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA.

Abreviaciones: pyr: Propop; Alm: almandino; Esp: Espersattita; And: andradita; Uva: Uvarovita; Gros: grosulenta; Pyr: propop; FC: Formación Chazumba, MM: Migmatita Magdalena

V.1.3. Condiciones térmicas de metamorfismo

Se determinaron temperaturas de metamorfismo para la asociación de oligoclasa-andesina y edenita en cuerpos refractarios de anfibolita (muestra aca-98 y aca-102) incluidos en la Migmatita Magdalena (fig 6 foto A). Se trabajaron asociaciones al equilibrio de plagioclasa-anfibol, aunque otras fases fueron identificadas petrográficamente y corroboradas a partir de la obtención de análisis de microsonda (ver Fig. 14).

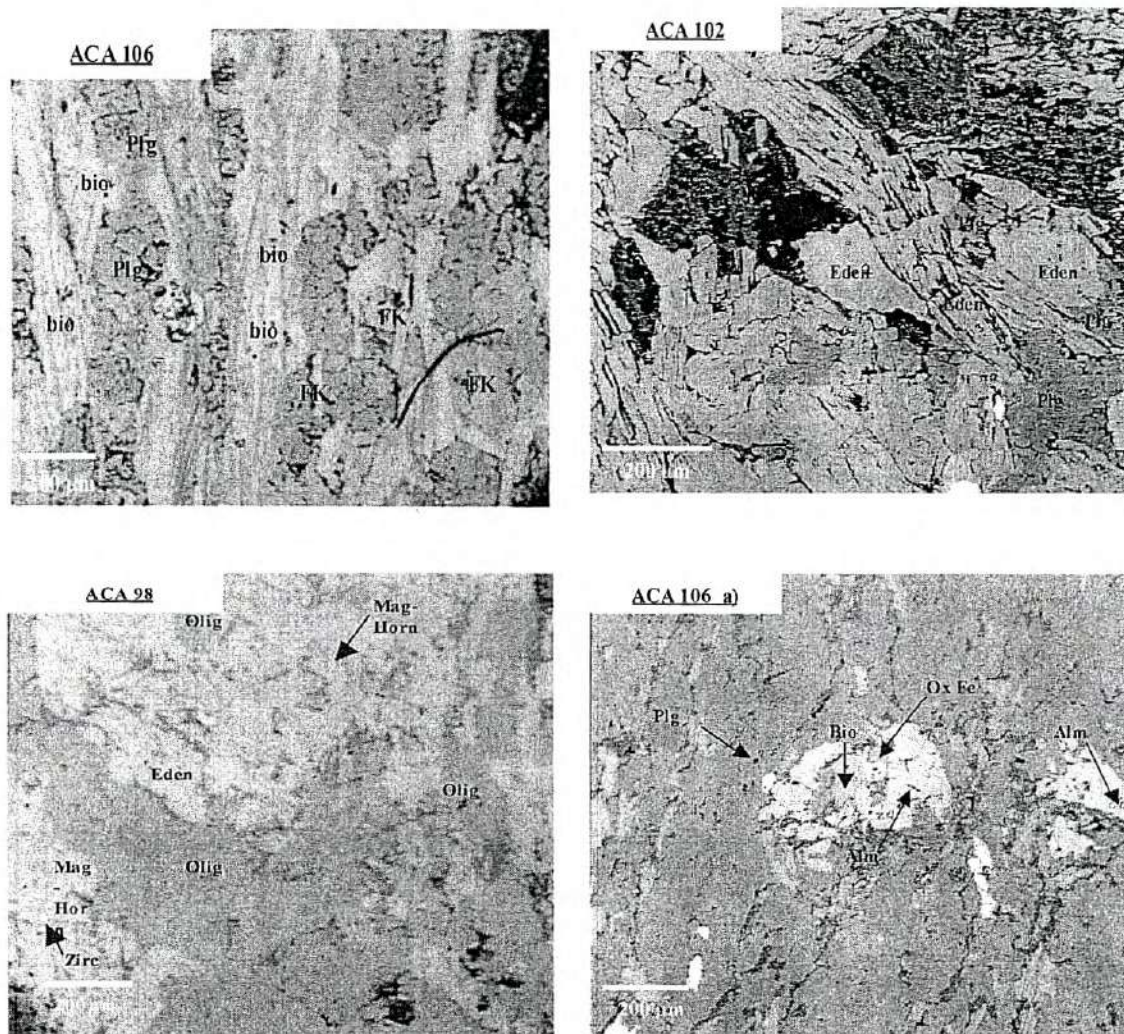


Figura 14. Microfotografías de microsonda electrónica (CAMECA SX50) de a) esquistos de biotita, b) y c) anfibolita cálcica y d) esquistos de biotita con granate y sillimanita. Todas se encuentran en facies de anfibolitas en la región de Petlalcingo, Complejo Acatlán en el sur de México.

Para obtener un dato cualitativo de presión se utilizó el diagrama propuesto por Laird y Albee (1981) para rocas volcánicas afectadas por metamorfismo de alta, media y baja presión. Consideramos este diagrama de acuerdo a la composición química de las anfibolitas analizadas, cuyo espectro químico es muy similar a las anfibolitas de la Formación Xayacatlán (sección V.2). El rango obtenido es mostrado en la figura 15, se incluyen los datos de la Formación Xayacatlán para su comparación. En el diagrama, las muestras analizadas en este estudio caen en rangos similares a la facies de anfibolita determinada para la Formación Xayacatlán (Meza-Figueroa 1998).

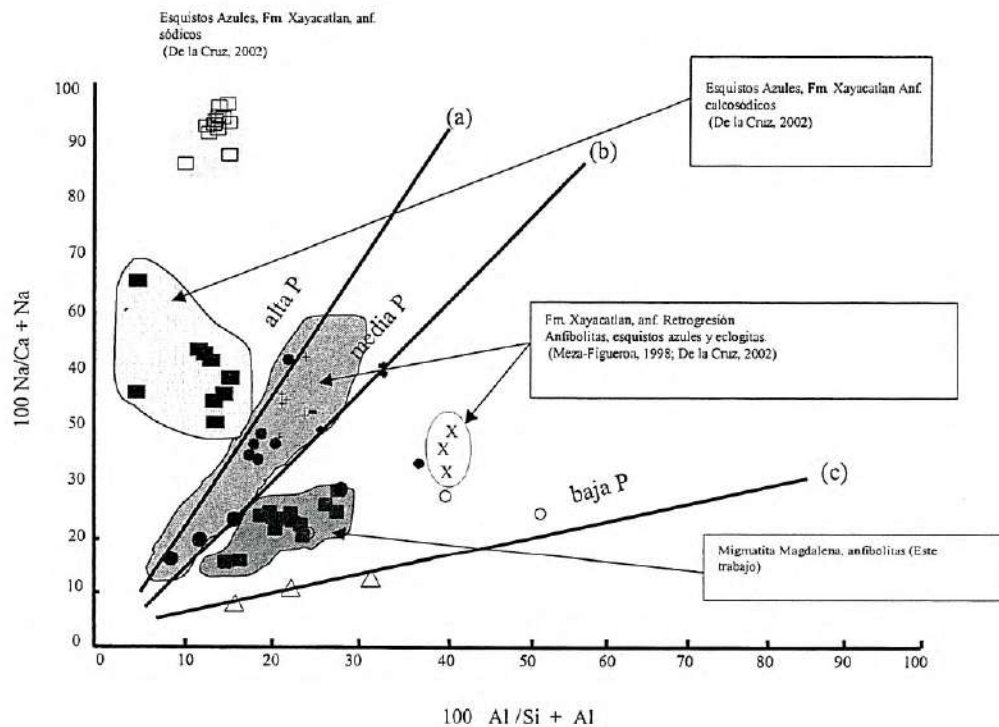


Figura 15. Variación composicional de anfíboles de la Fm. Xayacatlán y de las anfibolitas de la Migmatita Magdalena y Esquistos Chazumba. Cinturones de cristalización para anfíboles de alta presión (a) y baja presión (b) de Vermont (Laird y Albee, 1981); (c) representa el campo de anfíboles de baja presión del terreno Abukuma en Japón (Laird y Albee, 1981).

De acuerdo al diagrama propuesto por Spear (1980) se obtuvo un rango aproximado de temperatura de 490 ± 20 °C (Fig.16). Estos bloques tienen una foliación interna metamórfica y han sido rotados durante el proceso de fusión parcial que originó los leucosomas de la Migmatita Magdalena. Su ocurrencia indica que se inyectaron siguiendo la foliación de los paleosomas (esquistos-gneiss) en forma de diques volcánicos de afinidad máfica. Éstos diques o sills, de

espesores variables fueron aboudinados durante el evento compresivo contemporáneo a la formación de la migmatización (fig. 6, foto A). Esto resulta en lentes de anfibolitas englobados en mesomas esquistosos y gnéisicos. Las anfibolitas de la región de Santa María Ayú constituyen el principal cuerpo máfico metamorfozado en facies de anfibolita, con la retrogresión a epidota-anfibolita, inferimos que las temperaturas obtenidas corresponden con la primera fase de retrogresión de anfibolita.

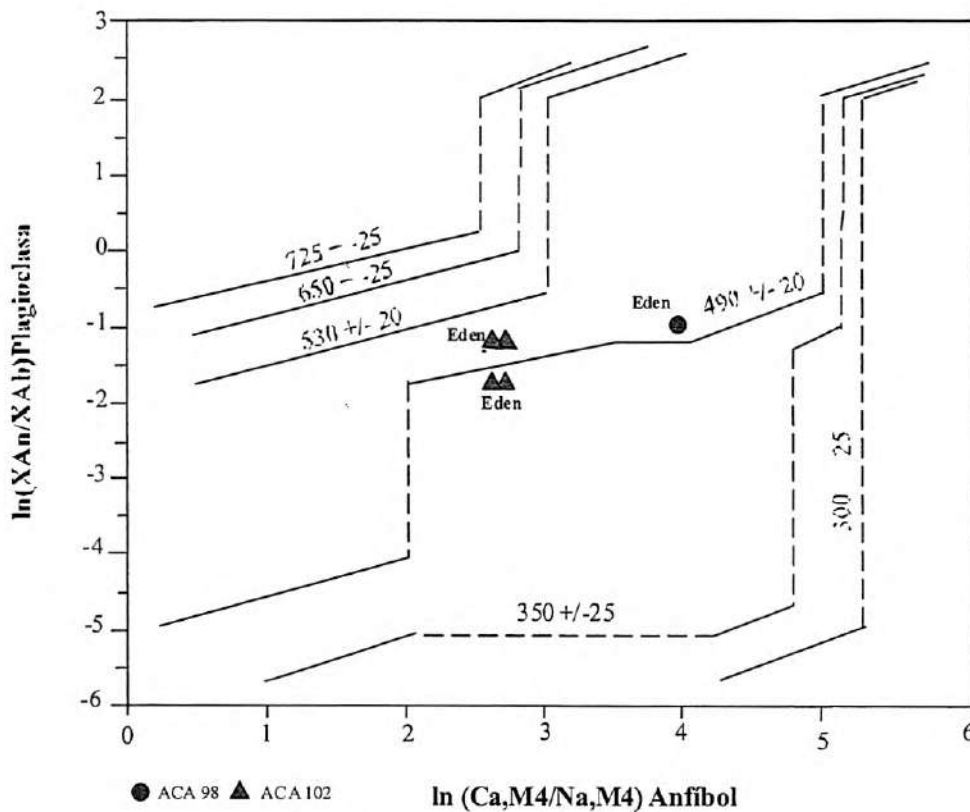


Figura 16. Geotermómetro de plagioclasa-anfibol Spear (1980), mostrando temperaturas de anfibolitas dentro de la migmatita Magdalena cerca del poblado de Santa María Ayú. Los anfíboles pertenecen a edenita en equilibrio textural con la plagioclasa variedad oligoclasa. Eden: edenita

La figura 17 muestra una trayectoria P-T para rocas metamórficas de la Formación Silgará del Macizo Santander, Colombia (Ríos et al, 2003). Esta secuencia ha sido afectada por un metamorfismo regional caledoniano (Silúrico tardío), el cual creó una secuencia de zonas metamórficas (sillimanita, estauroлита, granate y biotita) de baja a alta temperatura y condiciones medias de presión. El Complejo Acatlán también ha sido comparado con complejos metamórficos de Colombia (Yáñez et al, 1991), y se incluye la Formación Silgará para su

comparación preliminar. De manera general se aprecian algunas diferencias: en el área de estudio no se identificaron zonas de estaurólita y aunque se tiene la presencia de granate, biotita y sillimanita no podríamos definir isógradas, por lo que no se podría considerar un metamorfismo barroviiano propiamente descrito en el Grupo Petlalcingo. Aunque se tienen las composiciones minerales de fases al equilibrio, en este trabajo no se determinó una trayectoria P-T para el Grupo Petlalcingo aún, este es sujeto de trabajo futuro.

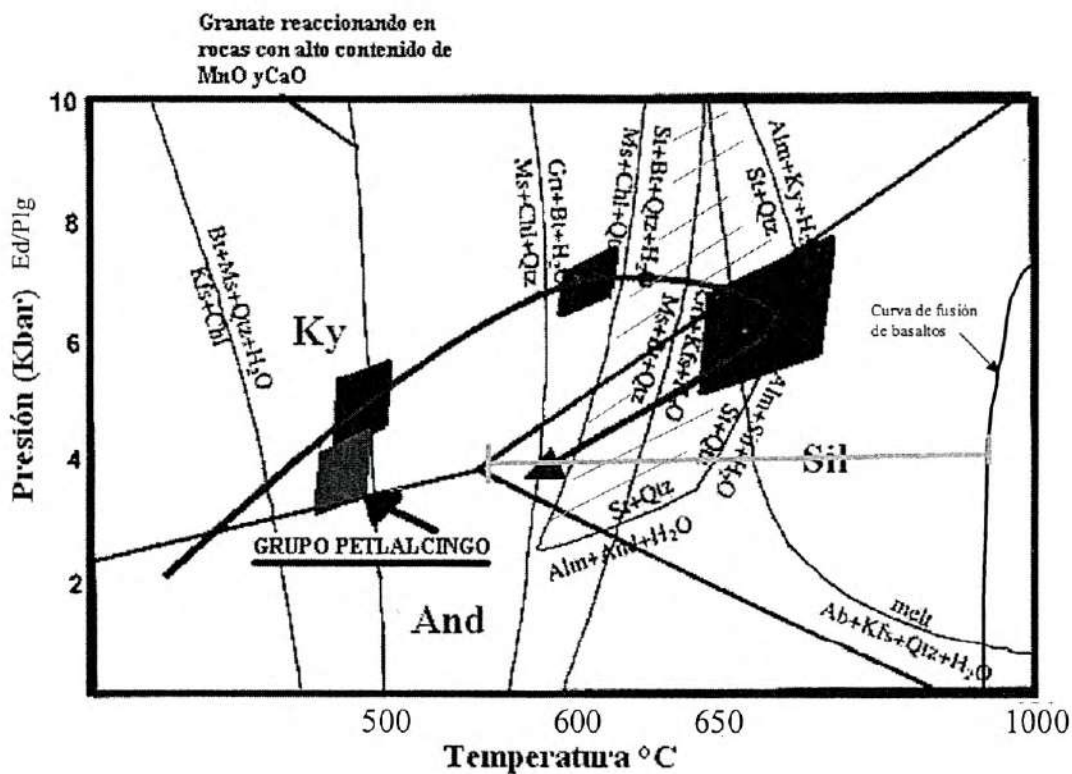


Figura 17. Reacciones minerales en el sistema KFMASH (modificado después de Spears y Cheney (1989), Yardley (1989), y Bucher y Frey (1994)) documentando las rocas pelíticas de la Formación Silgará, el área marcada con líneas grises representa la coexistencia de St+Qz. Al_2SiO_5 punto triple, después de Holliday (1971). Las zonas oscuras pertenecen a las presiones y temperaturas estimadas para el granate, estaurólita y sillimanita. Un sendero P-T tipo "clockwise" de la Formación Silgará por rocas metapelíticas, típica de regiones que han sufrido un engrosamiento de la corteza provocando un metamorfismo retrogrado después de una temperatura pico. El recuadro indicado por una flecha representa el rango aproximado PT para anfibolitas del Grupo Petlalcingo del Complejo Acatlán del sur de México.

La Formación Silgará presenta rocas de la corteza inferior afectada con temperaturas en un rango similar con el Grupo Petlalcingo, pero sólo las zonas del granate y la sillimanita en el diagrama de $Fe/(Fe+Mg)$ contra Al IV y Celadonita vs $Na/(Na+K)$ (Fig 18) es donde se encuentra relaciones similares, mientras en la Fig. 19. se muestra la composición química de anfíboles en la Fm. Silgará (a) Al en el sitio T1 contra el sitio A, (después de Kawakatsu y Yamaguchi 1987); (b) Al en sitio T1 contra Al en el sitio M2 (después de Laird y Albee 1981a,b); y (c) Al en el sitio T1 contra Ti en el sitio M2, (después de Raase 1974). Indicando al área sombreada los anfíboles de la Formación Silgará mostrando el campo del granate, si se comparan con los bloques anfíbolíticos del la Migmatita Magdalena (polígonos oscuros) se puede observar que varían ligeramente pero en general las tendencias son muy similares (Fig)

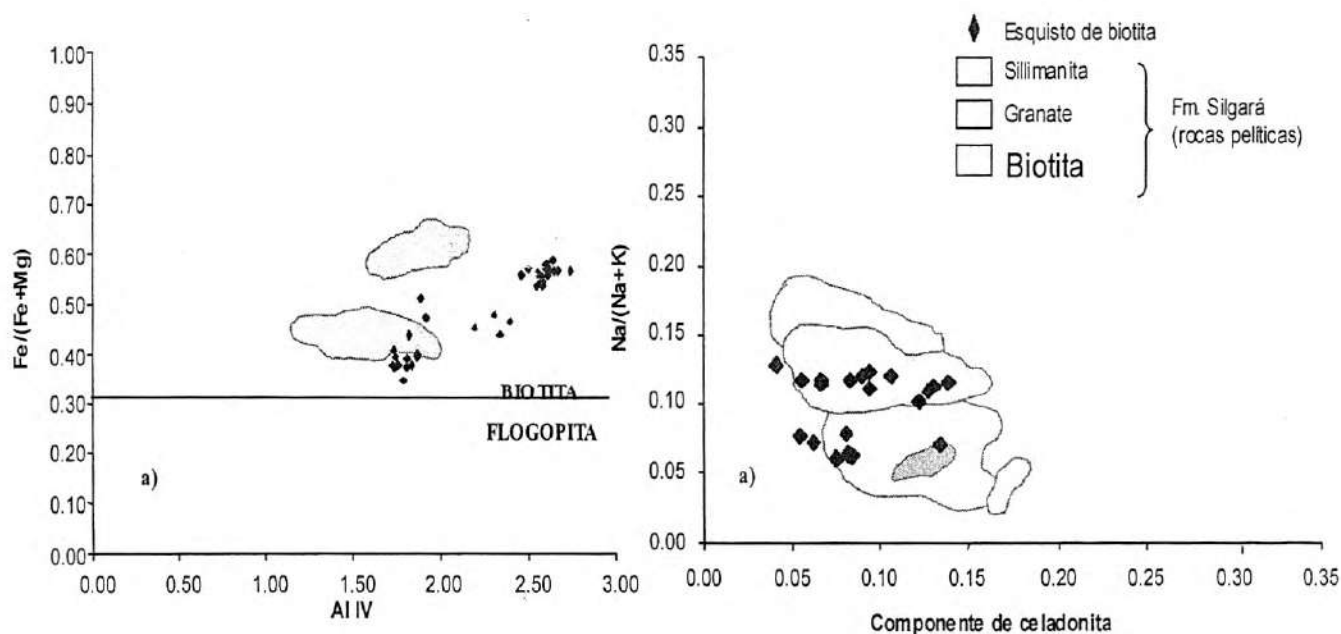


Figura 18. Comparación de composición química de rocas pelíticas de la Fm Silgará (Andes Colombia) y rocas del Grupo Petlalcingo. $Fe/(Fe+Mg)$ contra Al IV y Celadonita vs $Na/(Na+K)$.

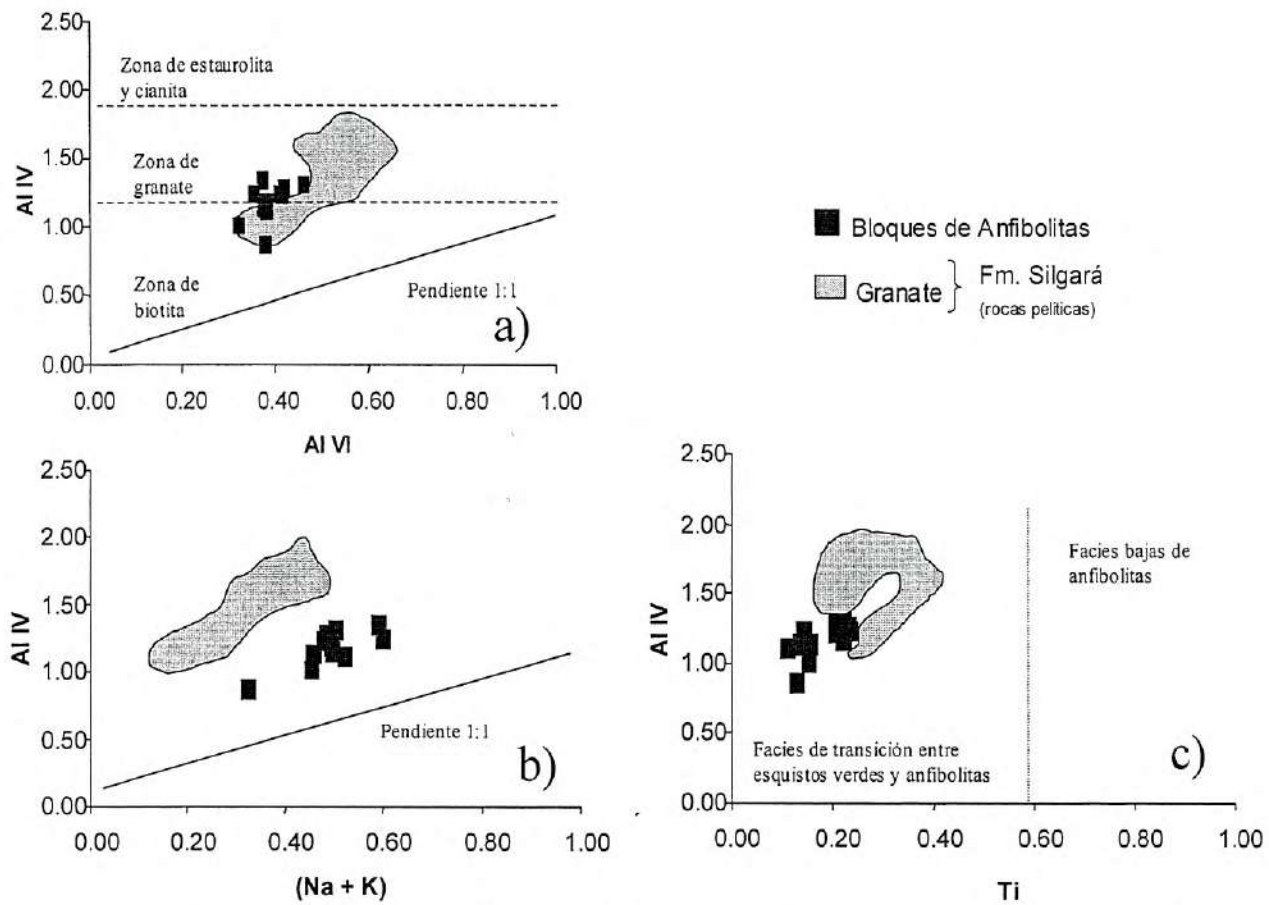


Figura 19. Composición química de anfíboles en rocas metamórficas de la Fm. Silgará. (a) Al en el sitio T1 contra el sitio A, (después de Kawakatsu y Yamaguchi 1987); (b) Al en sitio T1 contra Al en el sitio M2 (After Laird y Albee 1981a,b); y (c) Al en el sitio T1 contra Ti en el sitio M2, (después de Raase 1974). El área sombreada indica anfíboles desde la zona de granate. Los recuadros azules indican anfíboles del Grupo Petlalcingo (Migmatita Magdalena y Fm. Chazumba).

En la siguiente sección se evaluará la composición química de los Diques San Miguel, los leucosomas de la Migmatita Magdalena, una serie de diques leucocráticos en la Fm. Esquistos Chazumba para evaluar diferencias y similitudes.

V.2. GEOQUÍMICA

Una investigación geoquímica exitosa debe estar bien fundamentada por el buen entendimiento de la geología del área. No tiene sentido alguno extraer un gran número de muestras y llevarlas al laboratorio si la relación y la geología regional no es clara, esto puede hacer que los datos geoquímicos sean mal interpretados. Los datos geoquímicos utilizados para obtener información sobre diferentes procesos geológicos son comúnmente las concentraciones de elementos mayores, elementos traza y tierras raras (REE).

Los elementos mayores son los que predominan en cualquier análisis de roca como el Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P y sus concentraciones están expresadas como porcentaje en peso (wt%) de óxido. Las determinaciones de los elementos mayores se hacen usualmente para los cationes y se asume que éstos están acompañados de una cantidad apropiada de oxígeno. La suma total de estos óxidos es alrededor del 100%. El fierro puede ser expresado como FeO y Fe₂O₃, pero a veces es expresado como Fe total (FeO_{Total} ó Fe₂O_{3Total}).

Los elementos traza están definidos como aquellos elementos presentes en cantidades menores del 0.1% y sus concentraciones están expresadas en partes por millón (ppm) o más raramente en partes por billón (ppb; µg/L, microgramos por litro). Algunos elementos traza pueden formar especies minerales. Se pueden formar distintos grupos en la tabla periódica para un interés geoquímico en particular como las tierras raras, los platinoides y metales de transición.

Las tierras raras (REE) son muy utilizadas como elementos traza en el estudio de la petrogénesis metamórfica, ígnea y sedimentaria. Se ubican en la tabla periódica desde los lantánidos La-57 hasta el Lu-7 (Tabla 12), cada uno de estos elementos ocurre en estado trivalente bajo condiciones magmáticas normales, a excepción del europio, (Eu⁺² y Eu⁺³) que dependen de la fugacidad del oxígeno. Las REE tienen propiedades físicas y químicas muy similares, (valencia +3 y tamaño iónico), estas diferencias permiten su relativa fraccionación en los diferentes procesos petrológicos. Este fenómeno es usado en la geoquímica para identificar la fuente o reservorio de los magmas.

1																	2		
H																	He		
3	4													5	6	7	8	9	10
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
11	12													13	14	15	16	17	18
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Th	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89																	
Fr	Ra	Ac																	
		58	59	60	61	62	63	64	65	67	68	69	70	71					
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
		90	91	92	93	94	95	96	98	99	100	101	102	103					
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw				

Metales de Transición (elementos 21-30)

Elementos Platinoides (PGE) (elementos 37-60)

Tierras Raras (elementos 57-71)

Tabla 12. Tabla periódica de los elementos químicos, muestra tres grupos de los principales de elementos traza, los cuales son a veces tratados juntos en geoquímica por su posición relativamente junta. Estos grupos son los elementos de las primeras series de transición, los elementos platinoides y los elementos tierras raras (REE), los elementos sombreados también son importantes como trazas en geoquímica

V.2.1. Selección del método analítico apropiado. Escoger una técnica analítica apropiada en geoquímica depende de la naturaleza del problema a resolver. Es importante conocer los elementos que se deberán analizar, que concentraciones son esperadas y que tan precisos son los resultados. Otras consideraciones, como que tantas muestras deben ser analizadas y la rapidez en la cual los análisis pueden ser hechos, son relevante. A continuación se explicara de manera general la técnica Espectrómetro de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente.

V.2.2. Generalidades de ICP-OES e ICP-MS

El ICP-OES (espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente) es una técnica con enorme potencial en geoquímica, efectúa determinaciones de rutina hasta de 70 elementos con límites de detección muy bajos generalmente en el rango de mg/L (ppm) a µg/L (ppb). Para efectos de cuantificación aproximada (+-10%), la concentración de los elementos debe ser por lo menos 5 veces mayor que el límite de detección y, para cuantificaciones exactas (+-2%) la concentración debe ser 110 veces mayor que el límite de detección (tabla 13, foto 21).

El ICP-MS (Espectrómetro de Emisión de Masa Acoplado en Plasma Inductivamente) es una técnica relativamente nueva, desarrollada del espectrómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente (Date y Jarvis, 1989) y cada vez es más aceptada como una herramienta en el análisis de elementos traza e isotópicos, gracias a la muy buena precisión, exactitud y los bajos límites de detección. Puede ser utilizado para medir un gran rango de elementos traza en una

sola muestra (Jenner et. al., 1990). Los iones son extraídos del plasma a través de un orificio absorbido en un sistema de alto vacío y el haz se enfoca con lentes en un espectrómetro de masas (tabla 14). En este trabajo, se enviaron muestras a analizar a CHEMEX para la obtención de elementos de tierras raras y elementos traza, utilizando la técnica de ICP-MS.

Li	Be														B	C	N								
0.3	0.1													1	40	na									
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl							
0.3	0.1													3	4	30	30	na							
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br									
20	0.02	0.3	0.5	0.5	2	0.4	2	1	5	0.4	1	4	20	20	50	na									
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Th	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I									
30	0.06	0.3	0.8	5	3		6	5	3	1	1	9	30	10	10	na									
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi											
10	0.1	1	4	15	8	5	0.4	5	10	4	1	30	10	20											
			Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu									
			5	1	1		2	0.1	1	2	2	0.4	1	0.6	0.3	0.2									
			Th		U																				
			70		15																				

Tabla 13. Tabla periódica de los elementos que pueden ser determinados por ICP-OES junto con sus límites de detección comunes en ppb ($\mu\text{g}/\text{L}$).

Li	Be														B	C	N								
0.3	0.1													1	40	na									
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl							
11	12													13	14	15	15	17							
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br									
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35									
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Th	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I									
37	38	39	40	41	42	43	44	45	3	1	1	9	30	10	10	na									
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi											
10	0.1	1	4	15	8	5	0.4	5	10	4	1	30	10	20											
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu									
			1	5	1	1	2	0.1	1	2	2	0.4	1	0.6	0.3	0.2									
			Th		U																				
			70		15																				

Tabla 14. Tabla periódica de los elementos que pueden ser determinados por ICP-MS junto con sus límites de detección comunes en ppb ($\mu\text{g}/\text{L}$).

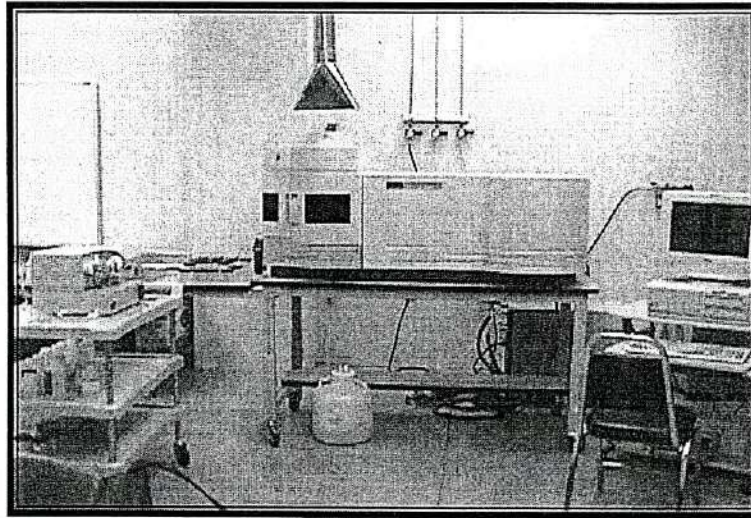


Foto 21. Espectrómetro de emisión óptica Perkin-Elmer 4200 Doble Vista, simultáneo, con nebulizador ultrasónico y generador de hidruros. Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica del Depto. de Geología de la Universidad de Sonora.

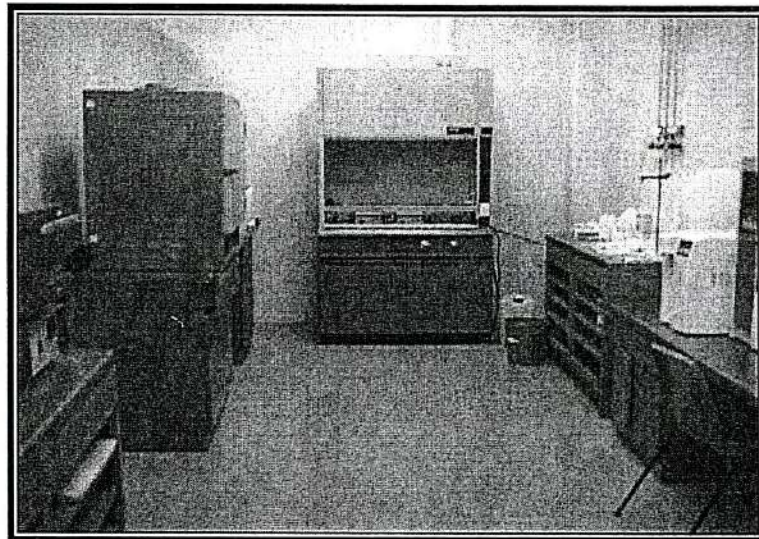


Foto 22. Área de preparación de muestras (Química Húmeda). Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora

V.2.3. Resultados: La geoquímica de las muestras recolectadas en el área sur del Grupo Petlalcingo de elementos mayores y trazas se efectuó con un ICP-OES Optima 4200 DV (Perkin Elmer) en el Laboratorio de Geoquímica y Cristalografía del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. También se analizaron las concentraciones elementos traza (REE y multielementos) en los Laboratorios de Chemex Labs en Vancouver, Canadá a través de la técnica analítica ICP-MS (38 elementos fusión, código MS-MS81). La técnica consiste en el quebrado y pulverización de la roca y a través de la vía química húmeda, la muestra se funde con metaborato de litio y se digiere con ácido clorhídrico para filtrarse y determinar las concentraciones en partes por millón con ICP en base a estándares certificados internacionalmente. La calidad de los análisis se corroboró con el envío de duplicados a CHEMEX tanto para análisis de elementos mayores como algunos elementos traza.

Los análisis de elementos mayores se efectuaron en 5 muestras (ACA 117, 119, 122, 123, 207) mientras que 11 muestras corresponden a elementos traza (Tabla 11) ubicadas a continuación:

- cuatro de la Migmatita Magdalena: una anfibolita, muestra ACA 98 (Santa Ma. Ayú); dos leucosomas, muestras ACA 104 a y b: de composición leucocrática, y un mesosoma; muestra ACA 105: esquistos de biotita (sección Magdalena-San Miguel Ixtapán).
- cuatro de la Formación Chazumba: muestra ACA 109 y 207 (no incluida en la tabla): dique pegmatítico y granito respectivamente, y dos esquistos pelíticos con biotita y muscovita; muestra ACA 117 y 119 (San Miguel Ixtapan-Tultitlán-a Cosoltepec).
- tres de los Diques San Miguel; muestras ACA 121, 122, 123: diques graníticos (sección Tultitlán-Santa Cruz Encinal).
- tres del Tronco de Totoltepec, muestras F-1, F-2, F-3: de composición félsica, tomadas de Malone et. al. (2002).

La selección de muestras para su análisis de REE y elementos mayores de la Migmatita Magdalena, Formación Chazumba, Diques San Miguel y Tronco de Totoltepec (Malone et al 2002) se encuentran compilados y separados de acuerdo a su tipo litológico en la tabla 11 mostrando los elementos analizados por ICP. El tratamiento de datos se centró en la química de

DISCRIMINACIÓN DE GRANITOS

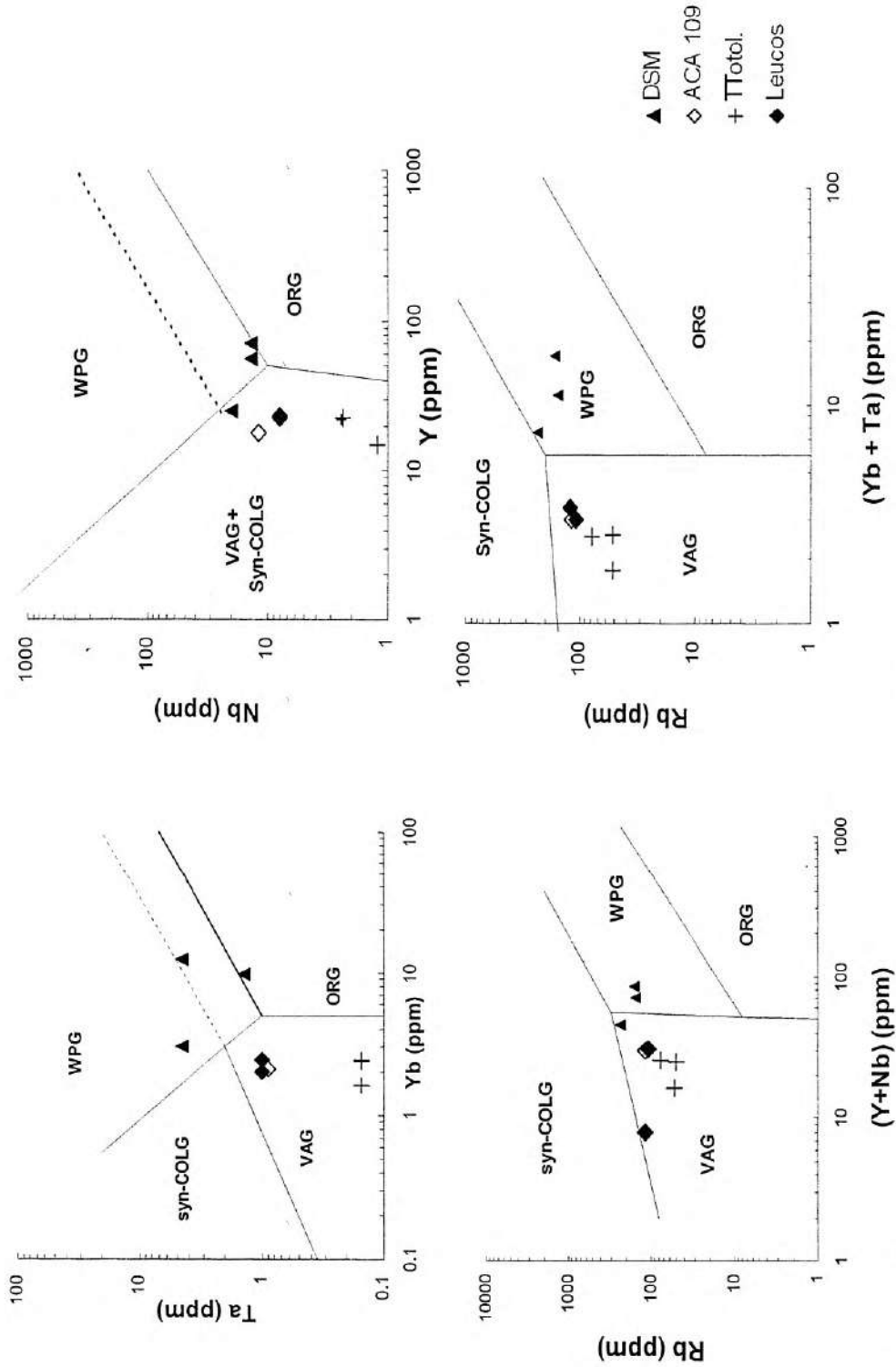


Figura 20. Diagramas de discriminación de granitos (después de Pearce et al. 1984), mostrando los campos de granito de arco volcánico (VAG), granitos síncolisionales (synCOLG), granitos intraplaca (WPG) y granitos de rift oceánico (ORG), la línea punteada es el límite para ORG de dorsal anormal. DSM: Diques San Miguel, Leucos: Leucosoma de la Migmatita Magdalena, Ttotal; Tronco de Totoltepec (Malone et al 2001), ACA 109 granito foliado de la Fm. Chazumba

DIAGRAMA DE TIERRA RARAS

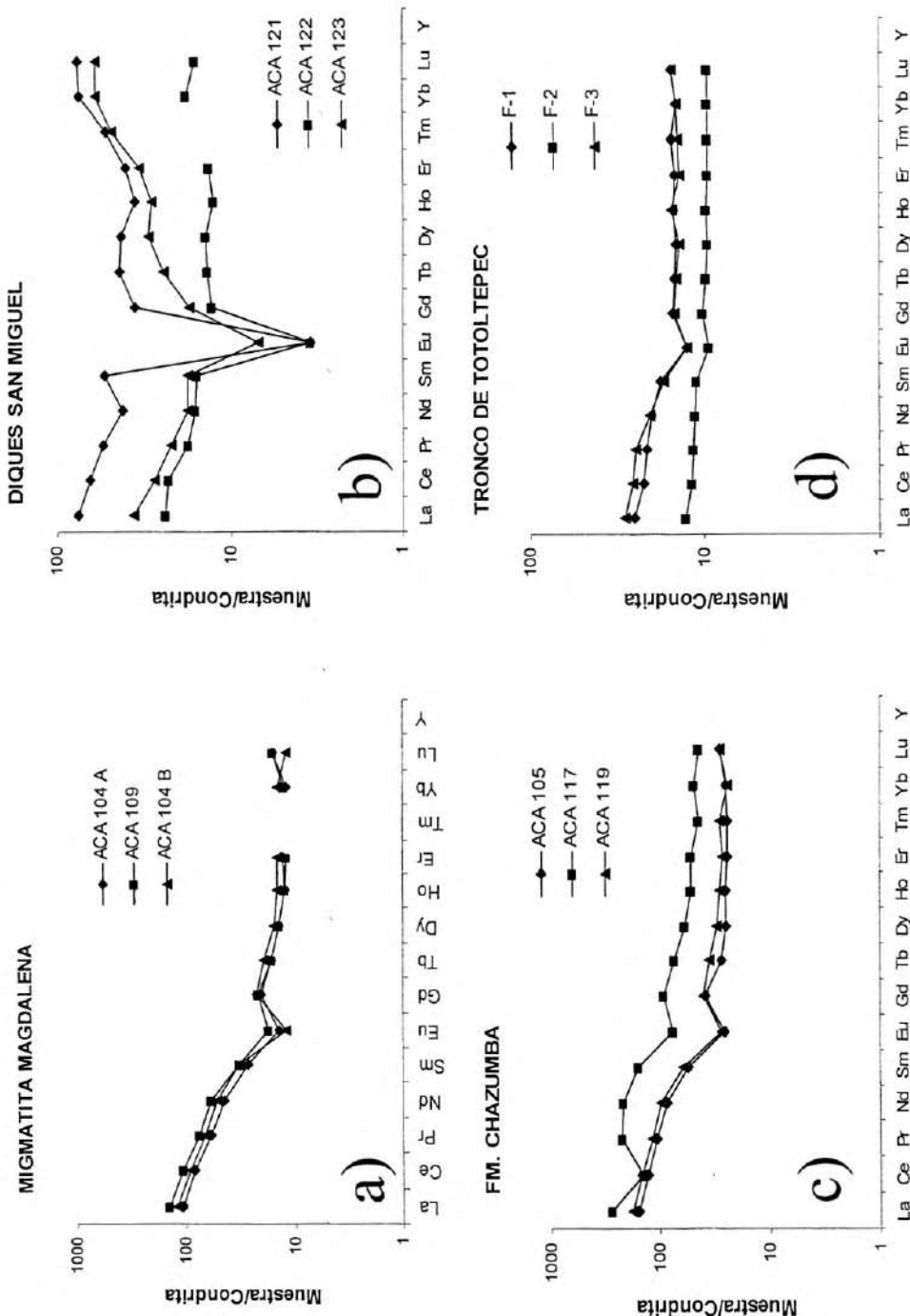


Figura 21. Diagrama de tierras raras para la a) Migmatita Magdalena; en muestras que corresponden a los leucosomas y bloques migmatizados, b) Diques San Miguel; de composición granítica (Qz-FK-Plg), c) Esquistos Chazumba; esquistos de bio+musc y d) Tronco de Totoltepec; roca granítica. Normalización con respecto a Evensen (1978) condritas.

elementos traza considerando el grado alto de metamorfismo de estas rocas y considerando la movilidad de los elementos mayores, estos no se tomaron en cuenta para la interpretación.

Para los elementos de tierras raras (REE) analizados se utilizó la normalización propuesta por Evensen et al. (1978) con respecto a condrita. Los diagramas multielementales en base a Thompson (1982), Sun y McDonough (1989) con respecto a condrita, y Pearce (después de Pearce et al. (1984) la discriminación de granitos.

Los elementos mayores presentan un rango de contenido en SiO₂ de 62.29 (ACA 117) de la Formación Chazumba a 74.40 (F-1) del Tronco de Totoltepec. Rango de MgO/MgO + FeOt 0.194-.341, en Diques San Miguel y Tronco de Totoltepec respectivamente. Las muestras que pertenecen a los diques San Miguel caen en el campo de granitos intraplaca, quedando claramente demostrado geoquímicamente su naturaleza post-tectónica. Existen diferencias marcadas en la geoquímica de los Diques San Miguel, los leucosomas de la Migmatita Magdalena y el Tronco de Totoltepec:

- (i) El Tronco de Totoltepec está claramente asociado a arcos volcánicos (VAG) según Malone et al. (2002), y los leucosomas de la migmatita Magdalena tienen afinidad en el mismo campo (VAG). Por el contrario, los Diques San Miguel claramente caen en el campo de granitos intraplaca (WPG) con altos valores de Y, Nb y Ta. (Figura 20)
- (ii) Las muestras que corresponden a niveles leucocráticos dentro de la Formación Esquistos Chazumba, son similares a los leucosomas de la Migmatita Magdalena, por lo que se deduce que son segregados emplazados en los Esquistos Chazumba durante el proceso de fusión parcial. (Fig. 20 y 21)
- (iii) Los Diques San Miguel presentan un espectro geoquímico que recuerda los patrones característicos de OIB (puntos calientes), con la excepción del contenido de Nb, el cual indica una componente cortical importante.
- (iv) Los espectros de elementos de tierras raras y los diagramas de multielementos (Fig. 20 y 21) presentan diferencias marcadas entre los Diques San Miguel y el Tronco de Totoltepec, con anomalía de Eu más marcada en los primeros.

DIAGRAMA DE MULTIELEMENTOS

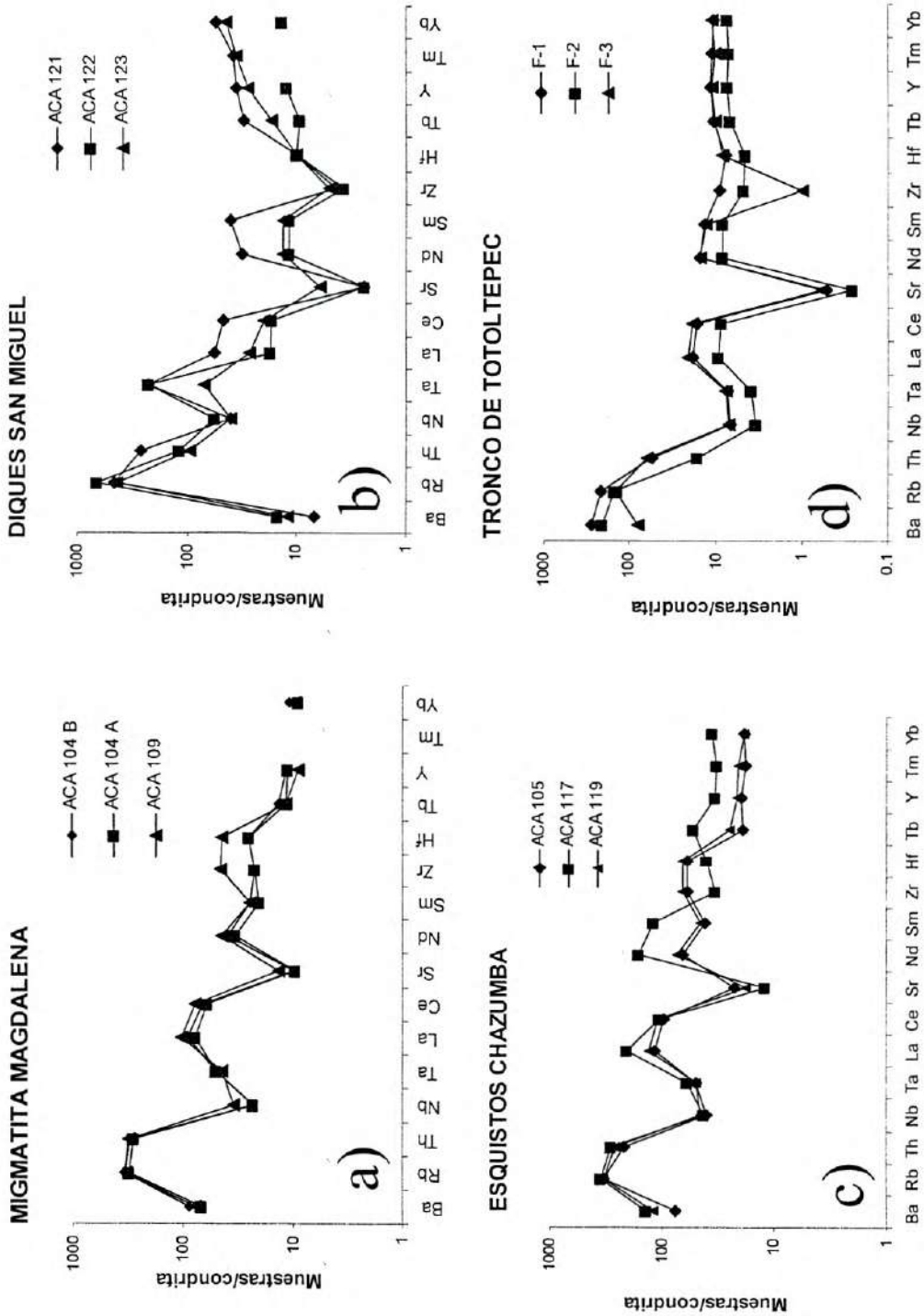
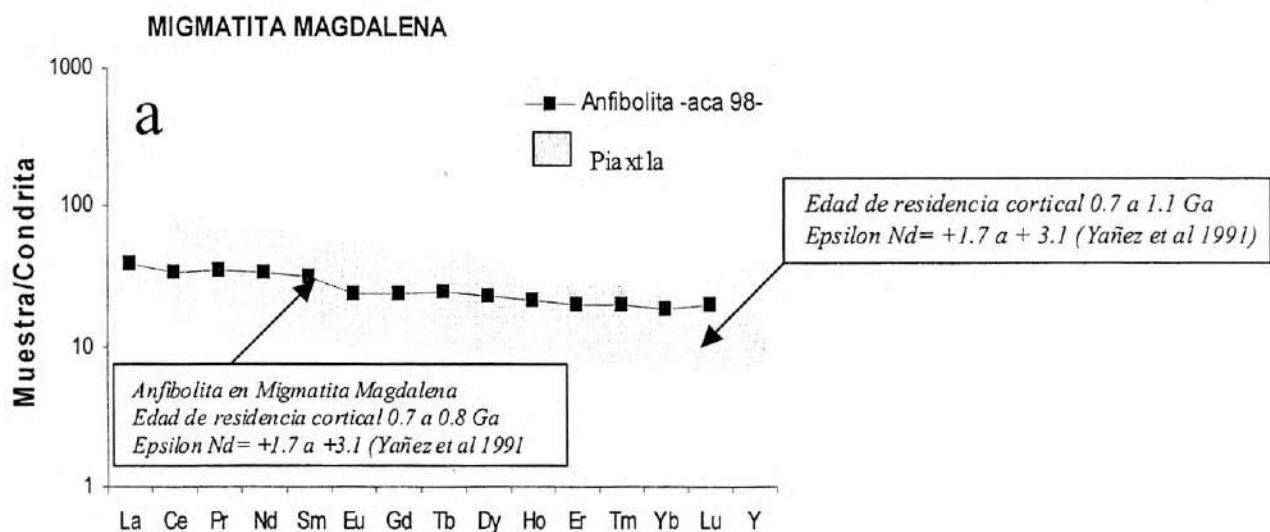


Figura 2. Diagrama multielementos para la a) Migmatita Magdalena, en muestras que corresponden a los leucosomas y bloques migmatizados b) Diques San Miguel de composición granítica (Qz-FK-Plg), c) Esquistos Chazumba; esquistos de bio+musc y d) Tronco de Totoltepec.- roca granítica. Normalización con respecto a Thomson (1982) en base a condritas.

La geoquímica de multielementos basada con la normalización de Thompson et al. (1982) condrita, indica que los análisis de los leucosomas de la Migmatita Magdalena y los niveles leucocráticos de los esquistos de la Formación Chazumba se mantienen en los mismos rangos y con anomalías negativas (principalmente de estroncio y niobio fig. 22, a y c); de igual forma, las firmas similares de tierras raras son similares (fig. 21, a y c) apreciándose una anomalía negativa de europio. Estos gráficos hacen suponer que tanto los leucosomas como los niveles leucocráticos provienen de un mismo protolito. Por otra parte, si se comparan estos datos con los análisis de los Diques San Miguel y del Tronco de Totoltepec (de composición granítica), las firmas son poco similares por la anomalía negativa tan marcada de estroncio menor a 10 y en el caso de Tronco de Totoltepec menor a uno.

La figura 23, muestra una comparación de espectros de tierras raras y un diagrama de multielementos, comparando las rocas anfibolíticas de la Formación Xayacatlán del Grupo Piaxtla (Meza-Figueroa 1998) y los bloques anfibolíticos de la Migmatita Magdalena observándose una similitud entre ambos campos. Según los datos obtenidos por Yáñez et al. (1991) en el diagrama de REE, la edad de residencia cortical es de 0.7 a 1.1 Ga (epsilon Nd = +1.7 a + 3.1) y de 0.7 a 0.8 Ga (epsilon Nd = +1.7 a + 3.1) para la Formación Xayacatlán y la Migmatita Magdalena respectivamente. El rango de esta similitud es algo que debe ser sujeto a estudios futuros, ya que podrían indicar a grosso modo que se trata de un reservorio común para los protolitos o misma afinidad en el vulcanismo que dio origen a estas rocas.



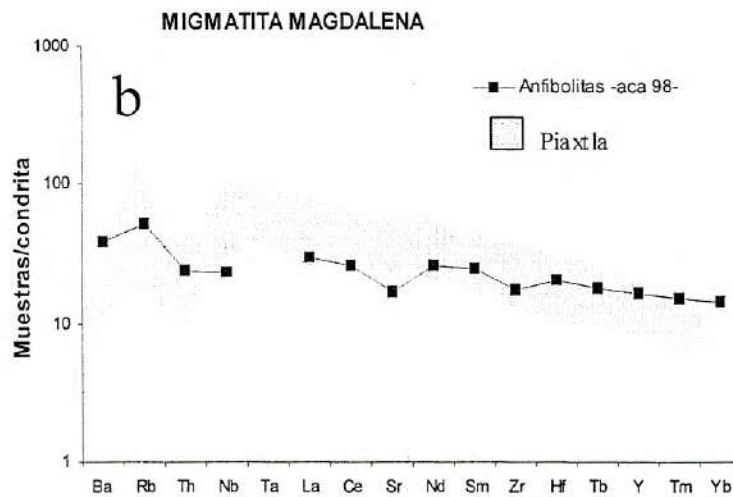


Figura 23. Campo sombreado representa el rango de concentración de (a) elementos de tierras raras normalización con respecto a Evensen (1978), y (b) elementos traza de anfibolitas y eclogitas de la Formación Xayacatlán del Grupo Piaxtla (Meza-Figueroa 1998). Normalización con respecto a condrita, (Thomson, 1982).

V.3. DEFORMACION

Es necesario advertir que la escasez de estudios geológicos dedicados a estos terrenos cristalinos del sur de México impide modelar su evolución tectónica en forma precisa. No obstante, muchas de sus características ya determinadas proporcionan conceptos decisivos que permiten proponer algunos modelos especulativos, a partir de los cuales se podrán lograr en el futuro reconstrucciones tectónicas más reales y detalladas de esta vasta región geológica de México (Ortega-Gutiérrez 1981).

El área tipo del Complejo Acatlán ha sido deformada penetrativamente más de cuatro veces. La polaridad de la deformación, basada en la distribución regional de las unidades tectonoestratigráficas del Complejo Acatlán e indicadores cinemáticos, indican movimientos hacia el oeste. Otros indicadores como el granate y clastos prensados sugieren una reducción del 50% y elongaciones de 700-800% (Ortega-Gutiérrez 1993).

Establecer cómo la deformación y el metamorfismo están relacionados en tiempo y espacio es difícil en muestra de mano. Más sin embargo, se puede decir, que en las eclogitas alóctonas, al menos tres fases de metamorfismo regional son discernibles. La primera se presenta como de bajo grado e inclusiones rotadas de granates en eclogitas. La segunda fase debe estar relacionada a la subducción que llevo a estas rocas a presiones mantélicas, mientras que la

última fase, una vez más en las facies de esquistos verdes, se relaciona más que nada a la obducción que trajo a las eclogitas de regreso a ambientes más superficiales.

Un gran tramo del Complejo Acatlán entre Petlalcingo y Magdalena se sobrepone por un metamorfismo post-tectónico regional intenso de edad Triásica aparente (Yáñez et al. 1991), de bajas presiones y altas temperaturas. En esta zona las rocas del Complejo Acatlán fueron parcialmente fundidas en el núcleo del domo termal, la biotita isograda se formó en los niveles estructurales superiores de la secuencia. La superposición natural de estos eventos es evidente por las texturas minerales, y la transgresión a través de las isogradas de las rocas foliadas del Complejo Acatlán (Ortega-Gutiérrez, 1975).

Uno de los problemas más difíciles de resolver es la edad tan joven del metamorfismo, pero más importante es la presencia de metasedimentos apilados y rocas metagabroicas (Chazumba y Migmatita Magdalena) que se encuentran debajo de la Formación Cosoltepec (Ver columna estratigráfica) formando las partes estructurales más bajas del Complejo Acatlán. Desafortunadamente, las relaciones entre los contactos no han sido clarificadas: si su origen es sedimentario, el ambiente de trinchera de depositación de la Formación Cosoltepec sería débil; si es tectónico, las unidades sub-Cosoltepec estarían relacionadas con los depósitos de pendiente continental.

Por su parte Malone et al. (2000) describen la historia deformacional del Complejo Acatlán, examinando la geometría estructural de la Formación Cosoltepec y Tecomate en el este de Acatlán de Osorio (norte del área de estudio). Tres fases de deformación se reconocen en estas unidades metasedimentarias. La primera deformación afectó a la Formación Cosoltepec y es atribuida al Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano (Orogenía Acateca) durante la cual se piensa que las eclogitas máficas-ultramáficas y rocas metagabroicas de la Formación Xayacatán/Esperanza se sobrepusieron a las litologías inferiores siliciclásticas de las Formaciones Cosoltepec y Chazumba. Las otras dos deformaciones se consideran del Pérmico Temprano y afectaron la Formación Cosoltepec, la Formación Tecomate y al granitoide de Totoltepec con edad de 287 M.a. La segunda deformación se atribuye a la yuxtaposición tectónica de los complejos Acatlán y Oaxaca. La tercera deformación produjo el foliamento megascópico responsable de la estructura regional. No hay evidencia, en esta parte del Complejo Acatlán, de la propuesta orogenia Mixteca durante el Devónico Medio Superior. En lugar de esto, las

estructuras cinemáticas de su deformación Pérmica Temprana son consistentes con los movimientos hacia el norte de la Mixteca requeridos en la reconstrucción continental de la Pangea.

Las características estructurales y litológicas del Complejo Acatlán sugieren que existieron al menos dos eventos orogénicos importantes: La orogenia Acatecana del Ordovícico Silúrico; y la orogenia Mixteca del Devónico Tardío. La orogenia Acatecana se caracteriza por su metamorfismo de alta presión de cuerpos máficos y ultramáficos y sedimentos relacionados (Formación Xayacatlán), así como en granitos y migmatitas sintectónicas (Granitoides Esperanza) que fueron transportados por secuencias silisicoclásticas de trinchera y antearco con remanente de piso oceánico (Formación Cosoltepec Chazumba y Magdalena). La orogenia Acatecana se interpreta como el cierre de la cuenca oceánica del Iapetus, y la colisión directa entre Gondwana y Laurentia en el Ordovícico Tardío. (Ortega et al. 1999) La orogenia Mixteca está claramente registrada en la deformación dúctil de la Formación Tecomate, unidad estratigrafo-estructural superior del Complejo Acatlán y cuerpos intrusivos Paleozoicos, cuyas características geológicas sugieren que el Complejo Acatlán fue afectado por eventos tectónicos postcolisionales durante el Devónico Tardío (Sánchez-Zavala et al. 2000)

La primer fase de deformación produjo una prominente esquistosidad paralela a la estratificación (S_{C1}) definida por fengita-clorita±biotita, la esquistosidad es de tipo plano axial con raro plegamiento ligero a isoclinal (F_{C1}) y posiblemente grandes estructuras del mismo estilo. En todas las áreas, S_{C1} es esencialmente paralela a S_{C2} , y las variaciones en su orientación se encuentran en función de la deformación más joven (F_{C3}). La mineralogía de filosilicatos que definen S_{C1} sugieren que el metamorfismo asociado con D_{C1} no excedieron la facies de esquistos verdes. La segunda fase de deformación (D_{C2}), asociada a pliegues suaves a isoclinales curvilineales (F_{C2}) con esquistosidad de plano axial (S_{C2}) definida por los filosilicatos. Los pliegues son típicamente de varios centímetros de longitud y deformaron tanto la S_{C1} , la cual envuelve a F_{C2} en sección delgada. Los F_{C2} con la esquistosidad tienden a orientarse NNW a NNE con ángulos suaves a moderados. En la segunda deformación existe una lineación mineral (L_{C2}) de cuarzo elongados con orientación NE a NW. Los filosilicatos que definen S_{C2} (muscovita-biotita-clorita-fengita) sugieren que el metamorfismo es en facies de esquistos verdes igual a la deformación D_{C1} . La tercer fase de deformación (D_{C3}) produjo levantamientos verticales a inclinados, pliegues abiertos y cerrados (F_{C3}) con tendencia NNW a NE con ángulos

suaves a moderados que a su vez refoliaron las deformaciones preexistentes dejando clivaje de crenulación (S_{C3}) que a veces se combina con la foliación S_{C1}/S_{C2} . En la base de su relaciones texturales, D_{C3} se ve acompañado por metamorfismo retrogrado de facies de esquistos verdes evidente por la alteración de biotita a clorita.

La Formación Tecomate en la región Este del Complejo Acatlán está constituida por metapelitas y metasamitas feldespáticas con capas intermedias locales de conglomerados y mármoles. En algunos lugares la esquistosidad primaria se mantiene subparalela a la estratificación definida por filosilicatos (fengita, clorita, y biotita retrograda) que son, al igual que las vetillas de cuarzo, menos comunes en la Formación Cosoltepec. Aunque existen pliegues y una fuerte lineación mineral, la Formación Tecomate está menos deformada que la Formación Cosoltepec y mantiene solo un clivaje de crenulación y lineación de intersección principalmente (Malone et al 2001).

Dos fases de plegamiento se distinguen en la Formación Tecomate, la primera son pliegues (F_{T1}) estrechos a isoclinales asociados a capas con desarrollo de minerales de esquistos verdes (fengita – biotita – clorita) o esquistosidad (S_{T1}). Los pliegues (F_{T1}) raramente son cerrados, y sus ejes se alinean NNW a NE con ángulos suaves a moderados, paralelos a los pliegues de la Formación Cosoltepec F_{C2} (fig. 24). La segunda fase de deformación (D_{T2}) produjo pliegues abiertos y cerrados con tendencia NW a NE (Fig. 24) y sus ejes tienen ligeras variaciones en orientación a través del área. Los pliegues localmente repliegan a F_{T1} para formar patrones de clivaje de crenulación. El clivaje es a veces la característica más prominente del afloramiento, y similarmente a la tercera esquistosidad tercera de Cosoltepec se asocia con la retrogresión de biotita a clorita. La esquistosidad S_{T2} (esquistosidad) se orienta hacia el NW, N, o NE además de formar una lineación de crenulación (L_{T2}) que se inclinan hacia el norte, paralela a los ejes F_{T2} (Malone et al 2001).

El Tronco de Totoltepec de afinidad diorítica (tranhemitico a hornblenda) al este del Complejo Acatlán, se encuentra tectónicamente juxtapuesto contra las Formaciones Cosoltepec y Tecomate hacia el sur. Dos fases de deformación son reconocibles (D_{P1} - D_{P2}). La primera está marcada por una inclinación (60° - 80° N) foliación (S_{P1}) definida por el cuarzo y clastos de feldespatos y hornblenda magmática alterada. La foliación está localmente asociada con zonas

de cizalla. La segunda fase de deformación (D_{P2}) se mantiene con tendencia de estructuras hacia el norte (F_{P2}), por lo cual S_{P1} está localmente foliado (Malone et al 2001).

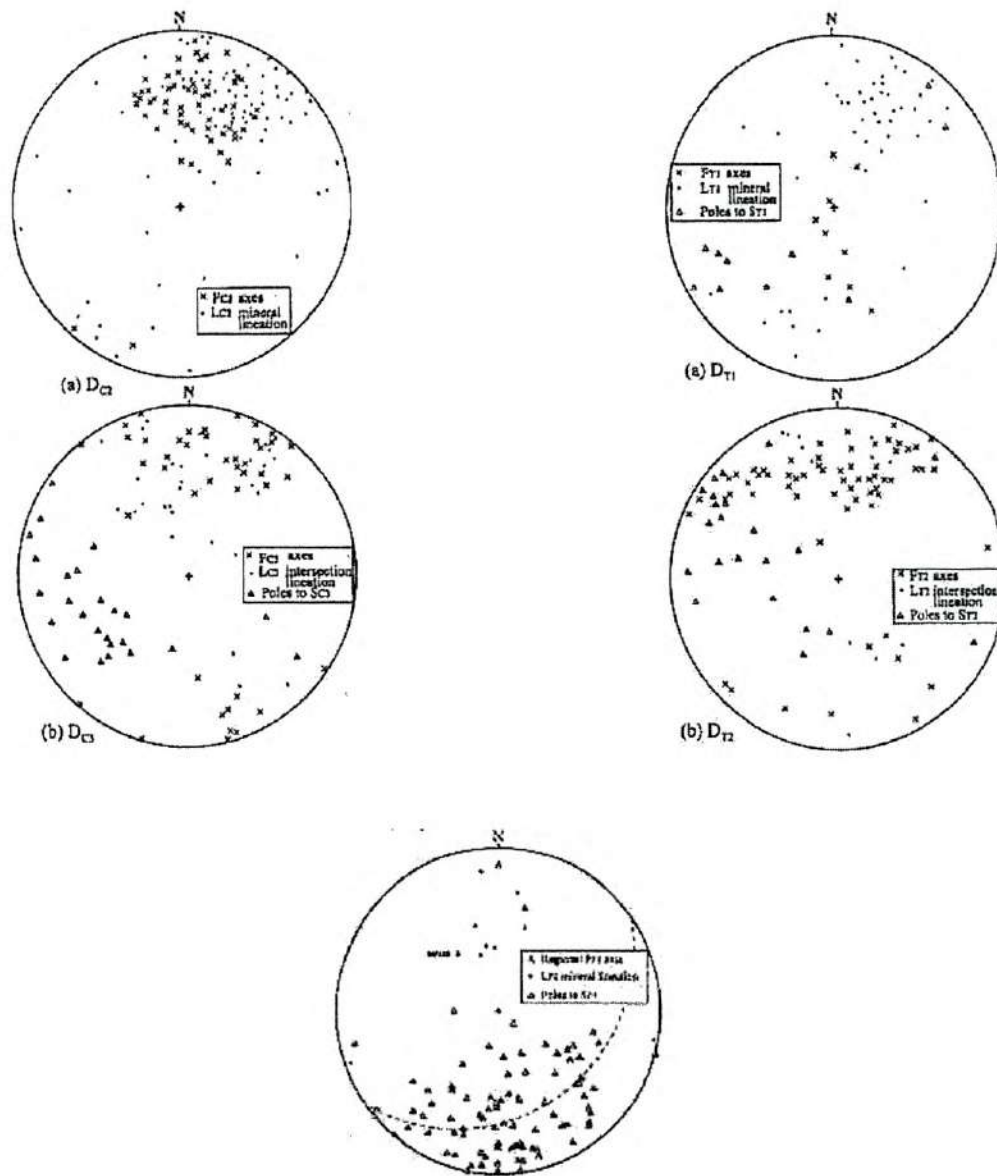


Figura 24. Proyección estereográfica de estructuras dentro de la 1) Formación Tecomate (a) D_{T1} estructuras, (b) D_{T2} estructuras; 2) Fm. Cosoltepec (a) D_{C2} estructuras, (b) D_{C3} estructuras; (Malone et al 2001)

VI. CONCLUSIONES

VI.1 Según las relaciones de campo descritas en la unidad de la Migmatita Magdalena, es muy claro observar la presencia de un migmatita clásica en su mayor parte estromática (metatexita), donde sus componentes principales son: un mesosoma que varía desde una roca a un esquistos de biotita gneiss, (foto A y D fig 6); el melanosoma, son capas ricas en biotita que varían en espesor desde muy finas hasta centimétricas, pero en pocas ocasiones se observan capas oscuras ricas en hornblenda (foto P1); el leucosoma, lo constituyen capas de aspecto granítico de composición máfica (trondhjemitica) en pocas cristales de biotita de espesor variable. Basándose en la clasificación de Mhenert (1968) se aprecian ocho estructuras en la Migmatita Magdalena, de las cuales, las primeras tres son las más comunes:

- i) Estromática: indican las segregaciones del material más móvil (leucosoma) sobre el inmóvil (paleosoma) lo que forma distintas capas (mesosoma, paleosoma y melanosoma),
- ii) Estructuras foliadas las cuales indican esfuerzos compresivos que afectaron a las capas migmatíticas dando el origen de diversos planos axiales
- iii) Estructuras schollen, paleosomas embebidos en neosoma indicando un estado más avanzado de migmatización que aisló algunos bloques restíticos (tanto anfibolitas como esquistos). De forma local, existen estructuras plebiticas, de hongo, ptygmáticas y nebulíticas, así como diktioníticas las cuales indican una heterogeneidad del protolito.

VI.2 Aunque las rocas anfibolíticas de las partes inferiores presentan capas muy finas leucocráticas en su textura y aparentemente la misma deformación al igual que todas las rocas de la secuencia, se ha caracterizado a éstas como el material restítico principal de la migmatización. Sin embargo, las relaciones de campo como el contacto brusco, capas anfibolíticas esporádicas intercaladas con la foliación esquistosa, boudinaje y bloques embebidos en material leucocrático, hacen suponer que trata de diques lávicos que en algún momento se emplazaron y sufrieron metamorfismo de alto grado. Si se comparan los análisis geoquímicos de la formación Xayacatlán con los bloques anfibolíticos, se observa que se mantiene una tendencia similar entre ellos, lo cual los hace comparables. La geotermobarometría aplicada en las anfibolitas de la

Migmatita Magdalena indican rangos de temperatura de 490°C y presiones de 2Kbars. Esta temperatura tan baja puede atribuirse a un metamorfismo de alto grado.

VI.3 Las observaciones de campo nos indican que el contacto de la Migmatita Magdalena y la Formación Chazumba, al parecer es de tipo transicional. Esto determinado por la tendencia de la migmatita estromática que pasa gradualmente a una sucesión de esquistos de biotita intercalados con bandas finas de leucosomas, prevaleciendo continuamente una secuencia monótona de esquistos de biotita que a su vez es cortada por diques máficos. Aunque la deformación entre en las Formaciones Chazumba y Cosoltepec es similar (plegamiento, crenulación, fallas), el contacto entre ellos es gradual, en la misma forma que aparece el de la Migmatita Magdalena, ya que por el camino de Tultitlán a Cosoltepec, capas de cuarcitas y filitas, combinados con los esquistos de biotita/muscovita van disminuyendo conforme la secuencia continúa. Así mismo, la facies de menor grado de metamorfismo (esquistos verdes) es más evidente.

VI.4 Las estructuras desde un ámbito regional, la Migmatita Magdalena en el sur del Grupo Pétalcingo se caracteriza por foliaciones con rumbo general que fluctúa más o menos hacia el NW (20 y 60°), mientras que la Formación Chazumba se caracteriza en la región norte, hacia el NW con echados más o menos fuertes indicando hacia el NW, indicando un S2 predominante, aunque en algunas regiones existan pliegues abiertos indicando plano axial de S3. Los diques leucocráticos comúnmente se inyectan y cortan a estas foliaciones, principalmente en el área del camino Santa María Ayú-Ixtlán y Magdalena-San Miguel Ixtapan.

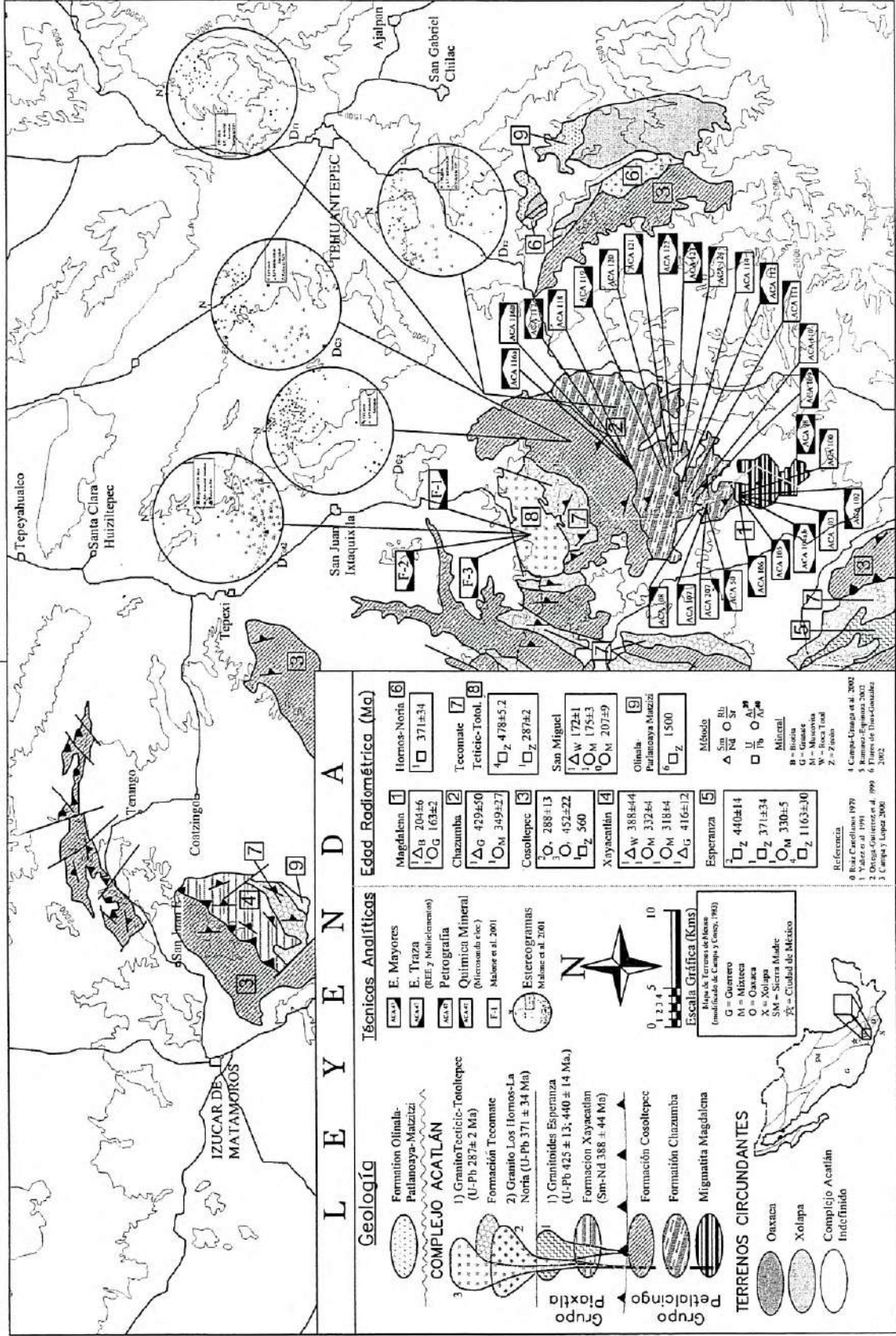
VI.5 La textura de los Diques San Miguel es pegmatítica y aplítica, cortan y se inyectan por la foliación de los esquistos de la Formación Chazumba. En las regiones intermedias del área de estudio son principalmente de composición trondhjemítica y a veces granítica. Los cuerpos plutónicos aparentemente posttectónicos, hacia la región NE del área de estudio, cerca del poblado de Santa Cruz Encinal, son de composición granítica y están constituidos por Qz-Plg-FK y cantidades regulares de ferromagnesianos (biotita y muscovita). Las anfibolitas son ricas en edenita en un 70 % y plagioclasa oligoclasa, sufriendo retrogresión de a cristales de menor temperatura (edenita-magnesiohornblenda), clinozoisita, epidota y vetillas de calcita y minerales arcillosos.

VI.6 Basándonos en la abundancia de metatexitas en la Migmatita Magdalena, así como la temperatura obtenida para el bloque de anfibolita dentro de la migmatita podríamos suponer que la temperatura de la Migmatita Magdalena no debió exceder los 650-700°C, es decir la fusión parcial se dio en los rangos aproximados de la curva de fusión de granitos. Esta es una hipótesis que deberá ser retomada en el trabajo futuro.

VI.7 Se presentan datos geoquímicos, por primera vez, tanto de los diques San Miguel como de las anfibolitas y leucosomas contenidos en la Migmatita Magdalena. Aunque ambos son post-tectónicos, los diques San Miguel tienen firmas claramente intraplaca (WPG) con una componente cortical importante y difieren geoquímicamente del Tronco de Totonilco el cual presenta anomalías de europio menos marcadas y ha sido claramente caracterizado como de arco volcánico (VAG) (Malone et al, 2002).

VI.8 Adicionalmente, la geoquímica de elementos traza corrobora que las anfibolitas de la Migmatita Magdalena no representan paleosomas en la migmatita, aspecto que ya había sido señalado como posible por Yáñez et al. (1991) en base a estudios isotópicos. El rasgo más interesante es la similitud en el espectro geoquímico de la anfibolita de la Migmatita Magdalena con las anfibolitas y eclogitas de la Formación Xayacatlán del Grupo Piaxtla.

Complejo Acatlán, Grupo Petalcingo



98°00'

1830'

0081'

Datos Generales	
Caminos	
Nivel Topográfico cada 500 mts	
Ciudades y pueblos	
Estructuras geológicas	
Falla normal	
Falla inversa	
Foliación	
<small>Elaboración: Mapa del Complejo Acatlán México José R. Espinosa 2001</small> <small>Escala: 1:75</small>	
Morfo Regional E del COMPLEJO ACATLÁN GRUPO PETALCINGO	
<small>Título del Licenciatura:</small> CARACTERIZACIÓN DE LA MIGMATITA MAGDALENA Y GEOQUÍMICA DE LOS DIQUES SAN MIGUEL SUR DE MÉXICO <small>Gerente: D. Figueroa Salazar</small>	
<small>Asesor: Dr. Carlos Linares López</small> <small>Asesor: Dr. Gerardo Rodríguez</small> <small>Asesor: Dr. David de la Cruz</small> <small>Fecha: Agosto 2003</small>	

L E Y E N D A

Geología

Formación Ollinalte-Patlauayaya-Matutzzi

COMPLEJO ACATLÁN

1) Granito Tecitico-Totoltepec (U-Pb 287±2 Ma)

2) Granito Los Hornos-La Noria (U-Pb 371 ± 34 Ma)

3) Granitoides Esperanza (U-Pb 425 ± 13; 440 ± 14 Ma.)

Formación Xoyacatlán (Sm-Nd 388 ± 44 Ma)

Formación Cosaltepec

Formación Chiazamba

Migmatita Magdalena

TERRENOS CIRCUNDANTES

Oaxaca

Xolapa

Complejo Acatlán Indefinido

Técnicas Analíticas

E. Mayores

E. Traza (REE y Metales pesados)

Petrografía

Química Mineral (Microsonda etc)

F. I. Malin et al. 2001

Esterеограмmas Malin et al. 2001

Edad Radiométrica (Ma)

Magdalena 1
 Δ_{Ar} 204±6
 Δ_{Ar} 163±2

Chiazamba 2
 Δ_{Ar} 429±50
 Δ_{Ar} 349±27

Cosaltepec 3
 Δ_{Ar} 288±13
 Δ_{Ar} 452±22
 Δ_{Ar} 560

Xoyacatlán 4
 Δ_{Ar} 388±44
 Δ_{Ar} 372±4
 Δ_{Ar} 318±4
 Δ_{Ar} 416±12

Esperanza 5
 Δ_{Ar} 440±14
 Δ_{Ar} 371±34
 Δ_{Ar} 330±5
 Δ_{Ar} 1163±30

Hornos-Noria 6
 Δ_{Ar} 371±34

Tecamate 7
 Δ_{Ar} 478±5.2
 Δ_{Ar} 287±42

San Miguel 8
 Δ_{Ar} 172±1
 Δ_{Ar} 175±3
 Δ_{Ar} 207±9

Ollinalte-Patlauayaya-Matutzzi 9
 Δ_{Ar} 1500

Método

Sm-Nd
 Δ_{Ar} O-Sr
 Δ_{Ar} U-Pb
 Δ_{Ar} Ar-Ar

Mineral

B - Biotita
M - Muscovita
W - Ilexa Total
Z - Zircón

Referencia

8 Biaz-Castillo et al. 1979
1 Yañez et al. 1991
2 Ortega-Gutiérrez et al. 1999
3 Campa y Lopez 2000
4 Campa-Urquiza et al. 2002
5 Ramírez-Espinosa 2002
6 Flores de Tovar-González 2002

VII. TRABAJOS FUTUROS

El panorama esencial de las rocas que conforman al Complejo Acatlán del sur de México, forman una estratigrafía, eventos metamórficos y geocronología muy difíciles de entender e interpretar desde el punto de vista geológico, las cuales han sido estudiados por diversos autores durante varios años hasta la fecha generando información importante para el entendimiento de este complejo polimetamórfico, sin embargo, como se mencionó anteriormente la mayoría de estos trabajos se han centrado en el Grupo Piaxtla desconociéndose mucha información sistemática del Grupo Petlalcingo, en esencia de la Migmatita Magdalena, por lo que es necesario plantear y dar respuesta a otros problemas de manera más precisa, entre ellas se encuentran como trabajos futuros los siguientes:

- Datación de la Migmatita Magdalena y diques leucocráticos en la Formación Esquistos Chazumba.
- Proveniencia de circones para su posible correlación con el Grupo Petlalcingo y otros orógenos similares del mundo.
- Geoquímica y geología isotópica del Grupo Petlalcingo.

Esto permitirá caracterizar petrotectónicamente las rocas de la Migmatita Magdalena, Esquistos Chazumba y Diques San Miguel del grupo Petlalcingo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmedali S.T. (Ed.), 1989**, A Short Course on X-Ray Fluorescence Analysis in the Geological Sciences: Advances in Methodology, Geological Association of Canada, Short Course Notes, **Vol. 7**, 297 p.
- Ashworth J.R. 1985**, Migmatites, Distributed in London USA by Chapman and Hall New York, Lecture in Geological Sciences University of Aston.
- Bard J. P. 1985**, Microtexturas de las Rocas Magmáticas y Metamórficas Ed. Masson, S.A.
- Campa-Uranga, M.F., 2002**. Nuevas edades de granitoides metamorizados del Complejo Acatlán en el Estado de Guerrero. Actas INAGEQ Instituto Nacional de Geoquímica. XII Congreso Nacional de Geoquímica. Puerto Vallarta, Jalisco. **Vol. 8**, No. 1, 248 p.
- Campa y Coney, 1983**, Tectonostratigraphic Terranes and Minerals Resources distribution in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, **Vol. 20**, 1040-1051 p.
- Corona-Esquivel R., Ortega-Gurierrez F., Centeno-García E. 1993**, The Paleozoic Cover of the Mixteco Terrane in the Olinala-Huamuxtitlan Area, Terrane Geology of Southern Mexico., First Circum Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference, Guanajuato, Mexico. Instituto de Geología, UNAM, Guidebook of field trip B, 47-53 p.
- Deer W.A., Howie R. A. & Zussmman J., 1992**, An Introduction to the Rock Forming Minerals, Ed. Longman Scientific & Thecnical. 2a Edición, 678 679 p.
- De la Cruz-Vargas J.C. 2002**, Petrología de Esquistos Azules en el Complejo Acatlán; Región de Ixcamilpa Puebla. Tesis, Universidad Autónoma de Guerrero, Esc. regional de Ciencias de la Tierra. Pags. 117.
- Farfán Panamá J. L. 1999**, Caracterización Petrotectónica de los Granitoides del Complejo Acatlán, en las regiones de Tehuitzingo, Puebla y Olinalá, Tesis. 97 p.

- Flores de Dios, Vachard D., Ramírez-Espinoza 2002**, Hallazgo de Microfósiles del Struniano (Famenniano Tardío, Devoniano Terminal) en San Salvador Patlanoaya (Puebla, México) consecuencias geodinámicas. Actas INAGEQ Instituto Nacional de geoquímica. XII Congreso Nacional de Geoquímica. Puerto Vallarta, Jalisco. Vol. 8, N° 1 Nov. 2002, 342 p.
- Hopgood A. M. 1999**, Determination of Structural Succession in Migmatites and Gneisses, Reader Department of Geology University of St. Andrews Scotland. Kluwer Academic Publishers.
- Jenkins R. , 1976**, An introduction to X-RAY Spectrometry, Allen and Unwin, London, 370 p.
- Johannes W., Holtz F., Möller P. 1995**, REE distribution in some layered migmatites: constrains on their petrogenesis. Elsevier Publishing Company, Lithos Vol 35, 139-152 p.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps C. E. S., Brich W. D., Gilbert M. C. Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato K., Kish H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A. Maresch W. V. Nickel E. H., M. S. Rock N., Schumacher J. C., Smith D. C., Sthepenson N. C. N. Ungaretti L. Whittaker E. J. W. Youzhi G. 1997**, Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commision on New Minerals and Minerals Names, Mineralogical Magazine, Vol 61, 295-321 p.
- Mehnert 1968** Migmatites and the Origin of the Granitic Rocks, Elsevier Publishing Company, Amsterdam London New York. .
- Malone J.R., Nance R.D., Keppie J.D., Dostal J., 2001**. Deformational History of the Acatlan Complex: Late Ordovician-Early Silurian and Early Permian Orogenesis in Southern Mexico, Journal of South American Earth Sciences. Vol 15, 512-524 p.
- Meza-Figueroa D. y Ruíz J.** Preservation of OIB and arc like REE patterns in eclogites Acatlan Complex: a case study. Southern Mexico. In: Seventh annual V. M. Goldschmidt Conference, Lunar and Planetary Istitute, Houston. LPI Contribution N° 921,. 141 p.
- Meza-Figueroa D., Ruíz J., Talavera-Mendoza O., Fernando Ortega-Gutiérrez. 2003**, Tectonometamorphic Evolution of the Acatlán Complex Eclogites (Southern Mexico) Canadian Journal of Earth Sciences. Vol. 40, 27-44 p.

- Miyashiro A., 1994** Metamorphic Petrology. New York, Oxford University Press. Cap. 9 y 12
- Monografía Geológico-Minera del Estado de Guerrero, 1999.** Consejo de Recursos Minerales. SECOFI. 29-47 P.
- Monografía Geológico-Minera del Estado de Oaxaca, 1996.** Consejo de Recursos Minerales. SECOFI. 35-51 P.
- Nesse William D. 1991,** Introduction to Optical Mineralogy, Second Edition, Oxford University, 272 p.
- Ortega-Gutiérrez F., Centeno-García E, Morán-Zenteno y Gómez-Caballero 1993,** Tectono Stratigraphic Analysis and Significance of the Paleozoic Acatlán Complex of Southern Mexico. Terrane geology of Southern Mexico: UNAM, Instituto de Geología, First Circum Pacific and Circum Atlantic Terrane Conference, Guanajuato, Mexico Resúmenes, 54-60 p.
- Ortega-Gutiérrez F., 1978.** Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca baja , Estados de Puebla y Oaxaca, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Instituto de Geología, Revista, Vol 2, N° 2, 112-131 p.
- Ortega-Gutiérrez F., 1981.** La Evolución Tectónica Premisisipica del Sur de México. Instituto de Geología UNAM Revista Vol 5, N° 2. 140-157 p.
- Ortega-Gutiérrez, F. 1981.** Metamorphic Belts of Southern Mexico and their Tectonic Significance. Geofísica Internacional. Vol. 20-3: 177-202 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1993.** Tectonostratigraphic Interpretation of the Paleozoic Acatlan Complex of Southern Mexico and the Problem of its Regional Correlation. First Circum Pacific And Circum Atlantic Terrane Conference. Guanajuato, México. Resúmenes 107-109 p.
- Ortega-Gutiérrez F., Herrera E. M., Reyes-Salas M., Macias-Romo, C., y López R., 1999.** Late Ordovician-Early Silurian continental Collision orogeny in southern Mexico and its bearing and Gondwana-Laurentia connections: Geology, Vol. 27, N°8, 719-722 p.
- Passchier C. W., Trouw R.A.J., 1996.** Microtectonics Ed. Springer. Impreso en Alemania ISBN 3-540-58713-6.

- Potts, P.J. 1993**, Laboratory Methods of Analysis. En: Analysis of Geological Materials, Ed. Riddle, C., Marcel Dekker Inc., 123-220 p.
- Ramírez-Espinosa 2001**. Tectono Magmatic Evolution of the Paleozoic Acatlan Complex in Southern Mexico, and its Correlation with the Appalachian System. Tesis doctoral, Department of Geosciences, University of Arizona. 174 p.
- Ramírez-Espinosa J., 2002** Procedencia Pan Africana en la sedimentación de la Formación Cosoltepec del Complejo Acatlán: Evidencia del Margen Pasivo Oriental del Iapetus en el Sur de México. Actas INAGEQ. Instituto Nacional de geoquímica. XII Congreso Nacional de Geoquímica, Puerto Vallarta, Jalisco. **Vol. 8**, N°1, 181 p.
- Ríos C., García C., Takasu A. 2002.**, Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santande Massif, Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences, ed. Pergamon, **Vol 16**, 133-154 p.
- Rollinson-Hugh, 1993**, Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation. Ed. Longman Scientific & Technical. Copublished in the USA with Jhon Wiley&Sons, Inc. New York. Cap. del 1-5.
- Sánchez-Zavala J. L., Ortega-Gutiérrez F. 1998**, The Tecomate Formation and its role in the Early and Middle Devonian Tectonic Evolution of the Acatlan Complex, Southern Mexico: Laurentia-Gondwana connections before Pangea. Instituto de Geología UNAM. México. Program and abstracts, In: IGCP Project N° 376, 32 p.
- Talavera-Mendoza O., Meza-Figueroa D., De la Cruz-Vargas J.C., Vega-Granillo R., 2002**, Esquistos Azules en el Complejo Acatlán (Sur de México): Implicaciones Tectonometamórficas. XII Congreso Nacional de Geoquímica, Actas, INAGEQ Instituto Nacional de Geoquímica, Puerto Vallarta, Jalisco. **Vol. 22**, No.2. 248 p.
- Vanderhaeghe O. 2000**, Melt segregation, Pervasive Melt Migration and Magma Mobility in the Continental Crust: The Estrctural Record from Pores to Orogens. Elsevier Science Ltd. Phys. Chem. Earth (A), **Vol. 26**, N° 4-5, 213-223.
- Vásquez A., 1986**, Descubrimiento de una nueva localidad de rocas marinas Paleozoicas al suroeste del Estado de Puebla (inédito)

Villaseñor-Martínez A., Martínez-Cortés A., Contreras B. y Montero **1999**, Bioestratigrafía del Paleozoico Superior de San Salvador Patlanoaya, Puebla. Instituto Mexicano del petróleo, 396-411 p.

Yáñez P., Ruiz J., Patchett J., Ortega-Gutiérrez F., Gehrels G., **1991**, Isotopic Studies of the Acatlan Complex, Southern Mexico: Implication for Paleozoic North American Tectonics. Geological Society of America Bulletin. **Vol 103**, 818-827 p.

APENDICE IX

IX.1 Petrografía del Grupo Petlalcingo

<p>Muestra No.: ACA 102 Coordenadas: 0627006E, 1985005N Nombre: Anfibolita Composición principal: Básica</p>				<p>Formación: Migmatita Magdalena Sección: San María Ayu-Magdalena Tetalt. Tipo: Metamorfismo regional Textura: Granoblasticas</p>									
<p>Roca de textura granoblastica inequigranular, representada mineralógicamente por hornblenda, la mayoría de tipo subhedral orientadas al azar de 1 mm. en promedio, asociada con plagioclasa >1 mm. anhedral y subhedral y algunos agregados que alcanzan 4 mm., sus bordes son rectos y redondeados con ligero maclado polisintético y algo de zonamiento, algunos cristales están más o menos alterados a sericitita, hay calcita secundaria anhedral <1 mm., además están cortados por vetillas de óxidos de Fe y presentan inclusiones de hornblenda., y cristales de cuarzo (?) anhedral < 0.5 mm. y muy poco Px (?).</p>													
Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación								
Horn. Plg. Ca. Px. Qz(?) Min. Ox. Fe	60 25 5 3? ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....		
<p>Muestra No.: ACA 44 (No ubicada) Coordenadas: 18° 27.27N, 98°13.22W Nombre: Anfibolita Composición principal: Básica</p>							<p>Formación: Migmatita Magdalena Sección: San María Ayu-Magdalena Tetalt. Tipo: Metamorfismo regional Textura: Granoblasticas</p>						

Roca de grano grueso con foliación bien desarrollada producida por la orientación preferente de los cristales de hornblenda (S2) subhedral (0.8-1.5 mm) alterados a arcillas y un segundo evento mimético de retrogresión parcial de hornblenda-actinolita bien desarrollada y de plagioclasa epidota (clinoz.) ésta probablemente está asociada a un proceso hidrotermal que a su vez trajo consigo un evento frágil de vetillas rellenas de Calcita+Fx+Cl+Clinoz+Qz. transversales a la foliación. También hay cristales de esferita subhedral menor a 0.3 mm.

Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Horn. Plg. (Oli-And) Musc. Gran. Esf. Act.	70 10 10 3 1 2	..............................	..............................	..............................	..............................

A) MIGMATITA MAGDALENA

<p>Muestra No.: ACA 102, 2 Coordenadas: 0627006E, 1985005N Nombre: Anfibolita Composición principal: Básica</p>				<p>Formación: Migmatita Magdalena Sección: San María Ayu-Magdalena Tetalt. Tipo: Metamorfismo regional Textura: Granoblasticas</p>									
<p>Roca de textura granoblastica; mineralogía principal representada mayormente por hornblenda, de forma anhedral que varían en tamaño de 1 hasta pocos cristales de 4 mm. orientados al azar, asociados con plagioclasa anhedral y subhedral menor a 0.5 mm., entre 2-3 mm. y un fenocristal aislado de 5 mm., no presentan macla polisintética, solo fracturas más o menos intensas y con ligera alteración a sericitita(?) e inclusiones de hornblenda en muy poca proporción, También coexiste granate anhedral-subhedral <1 mm.</p>													
Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación								
Horn. Plg. Gran. ? Qz(?) Min. Ox. Fe Ser.	65 30 2-3 <2 2	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... .....		
<p>Muestra No.: 104 a Coordenadas: 0623933E, 1993578N Nombre: Leucosoma Composición principal: granítica</p>							<p>Formación: Migmatita Magdalena Sección: Magdalena-San Miguel Ix Tipo: Metamorfismo regional Textura: Poikilitica</p>						

Roca ignea de textura granular poikilitica compuesta por cristales en general menores a un milímetro: cuarzo subhedral con extinción ondulante de 0.5-2 mm. y de exsolución, feldespato potásico (FK) poco alterado con macla carlsbad y recristalización dinámica en los bordes y del tipo microclina, plagioclasa zonada y biotita de donde se forman calcita y poca clorita respectivamente, muscovita primaria (?).

Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz FK Plg. Bio Musc Zirc ? Clor. Calc.	30 25 20 10 10 1 4	...................................	...................................	...................................	...................................

Muestra No.: ACA 104b
 Coordenadas: 0623933E, 1993578N
 Nombre: Migamatita
 Composición principal: Plg, Qzo-felds.

Formación: Migamatita Magdalena
 Sección: Magdalena - San Miguel Ix
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: granular poikiloblastica

Roca ígnea de textura granular poikilitica compuesta por cristales en general menores a un milímetro; cuarzo subhedral con extinción ondulante, feldespato potásico (FK) poco a alterado con macla carsbald y recrystalización dinámica en los bordes y del tipo microcina, plagioclasa y grandes poikiloblastos (>4 mm.), zonada y creciendo calcita a partir de ella, biotita y poca clorita respectivamente, muscovita primaria (?)

Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz	30				
FK	25				
Plg.	20				
Bio.	10				
Musc	10	?			
Zirc ?					
Clor.	1				
Calc.	4				

Muestra No.: ACA 105
 Coordenadas: 0623933E, 1993578N
 Nombre: Esquisito de biotita
 Composición principal: Pelitica.

Formación: Migamatita Magdalena
 Sección: Magdalena-San Miguel Ix
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblastica

Roca que presenta una esquistosidad continua marcada por la orientación preferente de cristales individuales de biotita y poca muscovita actcular menor a 1 mm, la matriz es elongada compuesta por cuarzo con extinción normal, plagioclasa y feldespato hipidomorficos (0.5-1 mm.). El feldespato en veces es alterado a sericitita y es > 2 mm. La biotita aparece como inclusiones (?) y la plagioclasa raramente presenta su maclado polisimilético bien definido. zircon como mineral accesorio en FK.

Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz.	30				
FK	25				
Plg.	15				
Bio.	15				
Musc.	10				
Arcillas	5				
Zirc.					

B) FORMACIÓN CHAZUMBA Y DIQUES SAN MIGUEL

Muestra No.: ACA 47 (No ubicada)
 Coordenadas: 17°56.46'N, 97°47.61'W
 Nombre: Esquisito con muscovita
 Composición principal: Pelitica ?

Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Magdalena-San Miguel Ixtapan
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblastica

Roca cuarzo-feldespática de mineralogia compuesta por cuarzo en agregados mas o menos poligonales con extinción normal y de grano fino (0.2 mm.) homogéneo y plagioclasa de forma anhedral alterada a sericitita y del mismo tamaño que el cuarzo. Los minerales accesorios representan la foliación continua producida por la orientación de las micas; muscovita (de hasta 4 mm.) con algunos cristales paralelos a la foliación, otros inclinados e incluso perpendiculares a ésta, biotita en pequeños cristales prismáticos alterados a clorita fibrosa que predomina en las micas. Zonas de cizalla diagonales a la foliación con poca cataclasis

Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz-Plg?	65				
Musc.	15				
Clor.	12				
Bio.	4				
Zir.	1				
Ser.					

Muestra No.: ACA 48
 Coordenadas: (No ubicada)
 Nombre: Esquisito con muscovita
 Composición principal: Pelitica

Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Magdalena-San Miguel Ixtapan
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblastica

Roca cuarzo-feldespática de mineralogia compuesta por cuarzo en agregados mas o menos poligonales con extinción normal y de grano fino (0.2 mm.) homogéneo y plagioclasa de forma anhedral alterada a sericitita y del mismo tamaño que el cuarzo. Los minerales accesorios representan la foliación continua producida por la orientación de las micas; muscovita (de hasta 1 cm) con algunos cristales paralelos a la foliación, otros inclinados e incluso perpendiculares a ésta, biotita en pequeños cristales prismáticos como inclusiones en el cuarzo alterados a clorita. Vetillas de plagioclasa de grano grueso y de grano fino (quizás producto de la recrystalización dinámica), y vetillas de cuarzo de grano grueso que siguen la foliación cortados por fracturas cataclásicas donde el cuarzo se hace de grano más fino.

Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Plg.	60				
FK	12				
Qz.	12				
Musc.	8				
Clor.	5				
Ser.					
Bio.	3				

<p>Muestra No.: ACA 49 (No ubicada)</p> <p>Coordenadas: Nombre: Esquisito de muscovita/bio con granate Composición principal: Pelítica ?</p>	<p>Formación: Fm. Chazumba Sección: Tepijillo-Cosoltepec Tipo: Metamorfismo regional Textura: Granolepidoblástica</p>																																																																																																		
<p>Roca de textura esquistosa indicada por biotita y muscovita (1-2 mm.) lenticulares con inclusiones de minerales opacos y de turmalina (0.2 mm.) subhedral, contiene cuarzo de grano fino generalmente, pero también en forma de lentes o bandas con cristales de 1-3 mm., con ligera extinción ondulante. Poikiloblastos de granate (2 mm.) con inclusiones de Qz., muscovita y biotita sin orientación y en parte esqueléticos, en ciertas zonas se observan pliegues isoclinales de muscovita cortados por la foliación principal y cristales elongados de apatito de 0.6 mm.</p>	<p>Roca con clivaje continuo y más o menos espaciado definido por la orientación de biotita y muscovita anastomada. Existen dos generaciones de biotita, la primera se observa junto con la foliación y la segunda crece a partir de la muscovita además de encontrarse en algunas partes sin orientación en contacto con el cuarzo. La plagioclasa está muy alterada y es muy poca, el cuarzo presenta extinción ondulante e inclusiones de biotita y agregados en bandas de 0.8 mm. de espesor y plegamiento. Al parecer había porfiroblastos de granate (pretectónicos), solo quedan restos?(esquelético) remplazado totalmente por Qz+bio y apatito (accesorio) así como muscovita. Al menos dos eventos de deformación S2 orientación de micas y arcos poligonales producto de un segundo esfuerzo (S3) que se ve acompañado por las bandas de cuarzo.</p>																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales</th> <th>%</th> <th>S1-Si</th> <th>Inclusiones</th> <th>S2 Foliación</th> <th>(3) Hidrotermalismo</th> <th>Oxidación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Qz.</td> <td>35</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Musc.</td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bio.</td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gra.</td> <td>07</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FK.</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Apa.</td> <td><2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Turrn</td> <td><2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Minerales	%	S1-Si	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación	Qz.	35						Musc.	15						Bio.	15						Gra.	07						FK.	10						Apa.	<2						Turrn	<2						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales</th> <th>%</th> <th>S1-Si</th> <th>Inclusiones</th> <th>S2 Foliación</th> <th>(3) Hidrotermalismo</th> <th>Oxidación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Qz.</td> <td>45</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pig.</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bio.</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mus.</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ox. Fe</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Minerales	%	S1-Si	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación	Qz.	45						Pig.	10						Bio.	25						Mus.	20						Ox. Fe						
Minerales	%	S1-Si	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación																																																																																													
Qz.	35																																																																																																		
Musc.	15																																																																																																		
Bio.	15																																																																																																		
Gra.	07																																																																																																		
FK.	10																																																																																																		
Apa.	<2																																																																																																		
Turrn	<2																																																																																																		
Minerales	%	S1-Si	Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación																																																																																													
Qz.	45																																																																																																		
Pig.	10																																																																																																		
Bio.	25																																																																																																		
Mus.	20																																																																																																		
Ox. Fe																																																																																																			
<p>Muestra No.: ACA 108 Coordenadas: 623700E, 1994670N Nombre: Trondjhermita Comp. Ppal. Félsica (Filón pegmatítico leucocra.)</p>	<p>Formación: Fm. Chazumba Sección: Magdalena-San Miguel IX. Tipo: Metamorfismo regional Textura: Hipidiomorfica-granular</p>																																																																																																		
<p>Roca con textura ignea Hipidiomorfica-granular. Cristales euhedrales y subhedrales de plagioclasa (> 1mm) con macla polisintética, sin ésta y macla de deformación, zoneamiento bien definido, además de presentar rutilo, zircón y biotita epidoblástica (< 2 mm) sin orientación preferencial.</p>	<p>Roca ignea con textura hipiomorfica-granular, de mineralogía constituida por plagioclasa anhedral y subhedral (entre 1-3 mm.), con maclado polisintético moderadamente definido y sin éste, además de zoneamiento, partes fracturadas, muy limpia y a veces poco alterada a sericita. Se encuentran en contacto con biotita de 0.5 a 2mm. subhedral principalmente, y con muscovita primaria y en forma de vetillas con espesor <1 mm. Pocos cristales de zircón inclusionado normalmente en biotita y clorita de forma secundaria entre los planos de clivaje de la biotita y accesorios de apatito y estena.</p>																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales</th> <th>%</th> <th>S1-Si Inclusiones</th> <th>S2 Foliación</th> <th>(3) Hidrotermalismo</th> <th>Oxidación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pig.</td> <td>75</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bio.</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Musc.</td> <td>02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cló.</td> <td>02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ser.</td> <td>01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zir.</td> <td>01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rut.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación	Pig.	75					Bio.	20					Musc.	02					Cló.	02					Ser.	01					Zir.	01					Rut.						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales</th> <th>%</th> <th>S1-Si Inclusiones</th> <th>S2 Foliación</th> <th>(3) Hidrotermalismo</th> <th>Oxidación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pig.</td> <td>70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bio.</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Musc.</td> <td>04</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cló.</td> <td>05</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ser.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zir.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Apatito</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación	Pig.	70					Bio.	20					Musc.	04					Cló.	05					Ser.						Zir.						Apatito							
Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación																																																																																														
Pig.	75																																																																																																		
Bio.	20																																																																																																		
Musc.	02																																																																																																		
Cló.	02																																																																																																		
Ser.	01																																																																																																		
Zir.	01																																																																																																		
Rut.																																																																																																			
Minerales	%	S1-Si Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación																																																																																														
Pig.	70																																																																																																		
Bio.	20																																																																																																		
Musc.	04																																																																																																		
Cló.	05																																																																																																		
Ser.																																																																																																			
Zir.																																																																																																			
Apatito																																																																																																			

Muestra No.: ACA 116a
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Chinango a Cosollepec
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica formando una sola foliación indicada por la orientación preferente de cristales de Bio+Musc+Pl+Qz?. La biotita es de 0.5 mm. mientras que la muscovita es de forma acintada y polygonal entre 1-1.5 mm. paralela a la foliación, también plagioclasa anhedral generalmente de 1 mm. alterada a sericitita, en contactos rectos y redondeados con cuarzo anhedral y extinción ondulante de 0.5 mm. elongados (recristalización dinámica), presenta minerales accesorios de granate con sombras de presión, subhedral, a veces muy alterado con inclusiones de Qz+Musc orientados al azar (hasta un 98%), minerales opacos euhedrales elongados de medio milímetro.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Bio.	25				
Musc.	25				
Pig.	20				
Qz.	15				
Gra.	05				
Min. Opa.	05				
Ser.					
Min acc.					

Muestra No.: ACA 117
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Chinango-Cosollepec(No sección)
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica, con una fase de deformación indicada por la orientación preferente de cristales de Qz+Musc. El cuarzo se encuentra de forma anhedral y en agregados que varían en tamaño <0.5, entre 1-2 mm. y pocos fenocristales, presentan elongación y recristalización estática formando bandas granoblástica y microptegues isoclinales con PA paralelo a la foliación, se encuentran asociados a bandas de muscovita euhedral a subhedral >1 mm. con alteración leve e intensa de minerales arcillosos asociados a óxidos de Fe. El granate es un mineral accesorio anhedral de 1mm. con approx. 20% de pequeñas inclusiones de Qz+Pl en veces casi alterados por completo y con sombras de presión además de alto fracturamiento, también hay muy poca biotita polygonal paralela a la foliación y lentes de minerales opacos de 0.5 mm de espesor y Ox. de Fe y en forma de vetillas que cortan toda la foliación.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz.	36				
Pig.	32				
Bio.	22				
Gra.	02				
Musc.	02				
Ox. Fe	02				
Min. Opa.					
Min acc.					

Muestra No.: ACA 116b
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Chinango a Cosollepec
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica formando una sola foliación indicada por la orientación preferente de cristales de Bio+Musc+Pl+Qz?. La biotita es de 0.5 mm. mientras que la muscovita es de forma acintada y polygonal entre 1-1.5 mm. paralela a la foliación, también plagioclasa anhedral generalmente de 1 mm. alterada a sericitita, en contactos rectos y redondeados con cuarzo anhedral y extinción ondulante de 0.5 mm. elongados (recristalización dinámica), presenta minerales accesorios de granate con sombras de presión, subhedral, a veces muy alterado con inclusiones de Qz+Musc orientados al azar (hasta un 98%), minerales opacos euhedrales elongados de medio milímetro.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Bio.	25				
Musc.	25				
Pig.	20				
Qz.	15				
Gra.	05				
Min. Opa.	05				
Ser.					

Muestra No.: ACA 118
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Tuitlán-Santa Cruz Encinal
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica formando una sola fase de deformación esquistosa indicada por la orientación preferente de cristales de Musc+Bio.Su mineralogía está compuesta principalmente por plagioclasa subhedral parcialmente alterada a sericitita, muy pocas veces se presenta con macla polisintética y como fenocristales de 4 mm. el cuarzo se confunde con la Pl pero en si es anhedral y extinción ondulante de 0.5 mm elongados. La muscovita es de forma acintada o como arcos polygonales individuales son aciculares entre 1-1.5 mm. asociada con la biotita café como pequeños cristales euhedrales de 0.5 mm. con clivaje bien marcado e inclusiones(?) así como también zircón y esfena subhedral.

Minerales	%	SI=SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz Pig. FX ?	45				
Bio.	15				
Musc.	20				
Zir.	01				
esf.	01				
Ox. Fe	02				

Muestra No.: ACA 121
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Tultitlán-Santa Cruz Encinal
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura:
 Coordenadas: fuera de Tultitlán
 Nombre: Esquisito de biotita
 Composición principal: Pelítica

Roca con feldespato potásico idiomorfo, junto con el Qz y plagioclasa forman una textura granoblástica la plg. alterados a arcillas y a muscovita. cuarzos con extinción ondulante, en algunas partes el cuarzo se ve recrystalizado como agregados de 3 mm. no descrita, clorita formando de la muscovita.

Minerales	%	SI-SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz Plg. FK ?	45				
Bio.	15				
Musc.	20				
Zir.	01				
esf.	01				
Ox. Fe	02				

Muestra No.: ACA 122
 Formación: Fm. Chazumba DSM
 Coordenadas:
 Nombre: Dique trondhjemitico
 Composición principal: Felítica

Al parecer se está desarrollando muscovita a partir de feldespato potásico idiomorfo, junto con el Qz y plagioclasa forman una textura granoblástica la plg. está más o menos alterada a arcillas y por la macla se desarrolla muscovita (microclina) dando texturas muy raras. Hay granate esquelético y con inclusiones de cuarzo redondeados y además los cuarzos con una pequeña inclusion de un pequeño mineral?, clorita formando de la muscovita. en algunas partes el cuarzo se ve recrystalizado como agregados de 3 mm.

Minerales	%	SI-SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz	28				
Plg	27				
FK (microclina)	20				
Bio.	15				
Musc.	10				
Gran.	03				
Clor.					
Arcll.					
Acces. =?					

Muestra No.: ACA 119
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Tultitlán-Santa Cruz Encinal
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Poikilitica
 Coordenadas: 0629720E, 2004581N
 Nombre: Intrusiva
 Composición principal: Pelítica

Roca con textura granolepidoblástica, bastante homogénea con una fase de deformación indicada por la orientación preferente de cristales de Qz y biotita+musc. El cuarzo es anhedral con pocos fenocristales, presentan elongación y recrystalización estática formando bandas granoblástica y microplegues isoclinales con PA paralelo a la foliación (forman una "S", también biotita poligonal paralela a la foliación y poca muscovita primaria (?), vetillas de calcita a lo largo de la foliación. accesorios: zircon (grande)jalta Relieve y Birrefringencia.

Minerales	%	SI-SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz.	36				
Plg.	32				
Bio.	22				
Musc.	02				
Ox. Fe	02				
Min. Opac.					
Min acc.				?	

Muestra No.: ACA 120
 Formación: Fm. Chazumba
 Sección: Tultitlán-santa Cruz Encinal
 Tipo: Metamorfismo regional
 Textura: Granolepidoblástica

Roca con textura granolepidoblástica formando una sola fase de deformación esquistosa indicada por la elongación de cristales de Plag+Qz. Su mineralogía está compuesta principalmente por plagioclasa subhedral parcialmente alterada a sericita, muy pocas veces se presenta con macla polimítica con alto fracturamiento y pocas inclusiones de zircon. El cuarzo se confunde con la Pl pero en si es anhedral y extinción ondulante de 0.5 mm elongados con las mismas proporciones. La muscovita también es de forma acintada o como arcos poligonales individuales al parecer forma sillimanita variedad fibrolita en muy poca cantidad en equilibrio con la plagioclasa. Granate <1mm. poco fracturado.

Minerales	%	SI-SI Inclusiones	S2 Foliación	(3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz-Plg ?	58				
Bio.	25				
Musc.	20				
Gra.	05				
Sill. Clor??	01				
Zir.	01				
Ser.					

Muestra No.: ACA 123 Coordenadas: 0628100E, 1998133N Nombre: Dique "San Miguel" Composición principal: granítica		Formación: Fm. Chazumba Sección: Tultitlán-Santa Cruz Encinal Tipo: Metamorfismo regional Textura: Hipidiomorfa granular		
<p>Roca con textura hipidiomorfa granular poikilitica. Hay texturas de exolución de cuarzo en plagioclasa (antiperitita) así como de cuarzo en feldespato (peritita), probablemente indica una retrogresión, bonitos granates de forma euhedral y esqueléticos con muy pocas inclusiones de cuarzo y accesorios (zircon?). La muscovita parece crecer del feldespato con anillo de reacción tenue, mineral muy raro incluido en Qz. (en centro de la lamina) accesorio, amarillo LP y LN, zircon? idiomorfo, también se forma calcita textura muy curiosa que bordea porfidoblasto de plagioclasa.</p>				
Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 (3) Hidrotermalismo	Oxidación
Qz Plg. FK Musc Gran Accs. Arcillas	30 25 25 20 5			

Muestra No.: ACA 124 Coordenadas: Nombre: Granito foliado de 2 micas Composición principal: Félsica		Formación: Fm. Chazumba Sección: Tultitlán-Santa Cruz Encinal Tipo: Metamorfismo regional Textura: Hipidiomorfa granular		
<p>Roca de textura hipidiomorfa granular con Plagioclasa subhedral con alteración de óxidos de Fe, sericita y con textura mirmequitica, feldespato potásicos de textura micrográfica mirmequitica de Qz y Pl. Cuarzo anhedral de 1mm. con extinción ondulante y en agregados ± elongados. Biotita muy poca. Accesorios Muscovita (<1 mm.) 15% anhedral-subhedral con cierta orientación preferencial y alo de reacción de Qz y Fe. Granate euhedral de 0.4 mm. muy limpio.</p>				
Minerales	%	S1=Si Inclusiones	S2 (3) Hidrotermalismo	Oxidación
Plg. FK. Qz. Bio. Musc. Gra. Ox. Fe	40 30 20 01 05 02 02			

IX.2 Cálculo de la Fórmula Química de un mineral

	(1) Porcentaje en peso de óxido (Wt%)	(2) Proporción molecular de óxidos	(3) Proporción atómica de oxígeno por cada molécula	(4) Número de aniones en base a 24 (O, OH) col. 3*8.3735	(4) Número de iones en la fórmula	
SiO2	51.63	0.8594	1.7488	14.392	Si	7.196
Al2O3	7.39	0.0725	0.2175	1.821	Al	1.214
Fe2O3	2.5	0.0157	0.0471	0.394	Fe+3	0.263
FeO	5.3	0.0738	0.0738	0.618	Fe+2	0.618
MnO	0.17	0.0024	0.0024	0.023	Mn	0.2
MgO	18.09	0.4489	0.4489	3.759	Mg	3.759
CaO	12.32	1.2197	0.2197	1.84	Ca	1.84
Na2O	0.61	0.0098	0.0098	0.082	Na	0.164
H2O	2.31	0.1282	0.1282	1.073	OH	2.146
Total	100.32		2.8662			

$\frac{24}{2.8662} = 8.3735$

Tabla 16. Procedimientos para el cálculo de la Fórmula Química de un mineral

El procedimiento para el cálculo de fórmulas químicas de un mineral se describe a continuación para un ejemplo de hornblenda.

Columna (1) Muestra el listado de la composición mineral expresado en porcentaje en peso de óxido correspondiente. (resultados directos de la microsonda electrónica).

Columna (2): ésta se obtiene de la división de cada valor de la columna (1) entre el peso molecular del óxido correspondiente, de tal manera que el resultado exprese las proporciones moléculas de los diferentes óxidos.

Columna (3): se deriva de la columna (2) multiplicando el número de átomos correspondiente. Esto nos da una serie de números que expresan la proporcionalidad a los números de átomos de oxígenos asociados con cada uno de los elementos correspondientes. Al final de esta columna se expresa la sumatoria.

Cada grupo mineral tiene un número base de oxígenos mediante el cual se expresa. Es necesario reajustar el número de oxígenos al total que corresponde con el grupo mineral al cual asumimos que pertenece nuestro mineral. En este caso es 24, por lo que se multiplica cada renglón de la columna (3) por el factor 24/T y esos resultados se expresan en la columna (4).

Columna (5): da el número de cationes asociados con los oxígenos en la columna (4). Para cada SiO_2 ha un silicio por cada dos oxígenos, así que el renglón de SiO_2 de la columna (4) debe dividirse entre 2, lo mismo con el Al_2O_3 que hay 2 aluminios por cada tres oxígenos así que la columna (4) se multiplica por $2/3$, y así sucesivamente.

El número de iones en base a 24 oxígenos se expresa en la columna (5) para conformar la fórmula estructural, este número es específico al grupo mineral.

Existen diagramas de clasificación de especies minerales que utilizan las composiciones de los miembros externos. Utilizando los datos de los cationes obtenidos a partir del cálculo de la fórmula estructural del mineral puede obtenerse dichos extremos y determinar así la especie mineral que se analizó.

Bibliografía:

Deer W.A., Howie R. A. & Zussman J., 1992, An Introduction The Rock Forming Minerals 2a Edición, Ed. Longman Scientific & Technical.

Pesos atómicos y moleculares para el uso en la calculo Fórmula Mineral de Análisis Químicos

Al_2O_3	101.96	H_2O	18.015	S	32.06
B	10.81	HfO_2	210.49	SO_3	80.06
B_2O_3	69.62	K_2O	94.20	ScO_3	137.91
BaO	153.33	La_2O_3	325.81	SiO_2	60.08
BeO	25.01	Li_2O	29.88	SnO	134.69
CO_2	44.01	MgO	40.30	SrO	103.62
CaO	56.08	MnO	70.94	Ta_2O_5	441.89
CeO_2	172.12	MnO_2	86.94	ThO_2	264.04
Ce_2O_3	328.24	Mn_3O_4	228.81	TiO_2	79.88
Cl	35.45	Na_2O	61.98	UO_2	270.03
CoO	74.93	NiO	74.69	U_3O_8	842.08
Cr_2O_3	151.99	Nb_2O_5	265.81	V_2O_5	181.88
CuO	79.55	P_2O_5	141.94	Y_2O_3	225.81
F	19.00	PbO	223.20	ZnO	81.38
FeO	71.85	Rb_2O	186.94	ZrO_2	123.22
Fe_2O_3	159.69				

Tabla 17. Pesos atómicos y moleculares que se utilizan para el cálculo de la Fórmula Mineral

Tabla 18. Análisis de microsonda electrónica en micas de facies anfibolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petalcingo, Complejo Acatlán.

Muestra	Esquisto de biotita FC														Esquisto de biotita FC																																																																																																																																																																																																																																																					
	ACA 106							ACA 50							ACA 106							ACA 50																																																																																																																																																																																																																																														
	aca106-2c1	aca106-6c1	aca106-7c1	aca106-8c2	aca106-10c1	aca106-11c1	aca106-12c1	aca106-2c1	aca106-6c1	aca106-7c1	aca106-8c2	aca106-10c1	aca106-11c1	aca106-12c1	aca106-2c1	aca106-6c1	aca106-7c1	aca106-8c2	aca106-10c1	aca106-11c1	aca106-12c1																																																																																																																																																																																																																																															
SiO2	36.79	35.31	35.65	48.42	34.54	35.71	36.40	47.41	48.59	49.13	47.61	49.45	47.40	48.18	20.35	19.50	19.66	26.22	19.45	20.07	20.38	36.73	37.40	37.41	37.68	37.33	38.46	37.96	37.88	2.81	2.85	2.77	0.95	2.87	2.89	2.96	0.86	0.96	0.70	0.65	0.76	0.64	0.68	0.72	17.54	18.14	18.30	8.92	18.84	18.86	18.47	0.76	0.88	0.76	0.84	0.89	0.92	1.07	0.84	7.74	8.10	7.99	4.61	8.04	8.32	8.31	0.70	0.63	0.80	0.71	0.76	0.57	0.58	0.71	0.11	0.02	0.06	0.18	0.06	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.02	0.01	0.25	0.28	0.24	0.10	0.27	0.24	0.28	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.05	0.04	0.11	0.08	0.08	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.07	0.06	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.17	0.17	0.15	0.08	0.15	0.17	0.23	0.77	0.80	0.84	0.73	0.68	0.80	0.78	0.80	8.76	9.33	9.36	7.10	9.17	9.26	9.26	8.73	8.87	9.20	8.58	8.28	8.11	8.81	9.02	94.56	93.76	94.32	96.65	93.48	95.56	96.33	96.08	98.23	98.86	96.84	98.19	97.02	97.79	98.27																																																																											
22 oxígenos																																																																																																																																																																																																																																																																				
Si	5.54	5.43	5.45	6.50	5.35	5.39	5.43	6.17	6.18	6.21	6.13	6.26	6.08	6.13	3.61	3.53	3.54	4.15	3.55	3.57	3.58	5.63	5.61	5.58	5.72	5.57	5.82	5.72	5.68	0.32	0.33	0.32	0.10	0.34	0.33	0.33	0.08	0.09	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	2.21	2.33	2.34	1.00	2.44	2.38	2.30	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	1.74	1.86	1.82	0.92	1.86	1.87	1.85	0.13	0.12	0.15	0.14	0.14	0.11	0.11	0.13	0.02	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.07	0.19	0.20	0.20	0.18	0.17	0.20	0.19	0.20	1.69	1.83	1.83	1.22	1.82	1.79	1.77	1.45	1.44	1.49	1.41	1.34	1.33	1.44	1.47	15.20	15.41	15.39	13.95	15.46	15.41	15.36	13.75	13.74	13.78	13.74	13.64	13.71	13.77	13.79	2.46	2.57	2.55	1.50	2.65	2.61	2.57	1.83	1.82	1.79	1.87	1.74	1.92	1.89	1.87	1.15	0.96	0.99	2.65	0.91	0.96	1.01	3.80	3.79	3.79	3.85	3.82	3.90	3.84	3.81	0.03	0.03	0.02	1.64	0.02	0.03	0.04	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.56	0.56	0.56	0.52	0.57	0.56	0.55	0.38	0.44	0.35	0.40	0.39	0.47	0.51	0.40	-0.23	-0.29	-0.28	0.25	-0.32	-0.31	-0.29	0.08	0.09	0.11	0.07	0.13	0.04	0.06	0.07

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. Y Dr. Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson AZ, USA. FC: Formación Charumbin, MM: Migmatita Magdalena

Tabla 19. Análisis de microsonda electrónica en micas de facies anfibolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petlalcingo, Complejo Acatlán.

Esquisto de biotita con sillimanita FC													
Muestra	ACA 220												
Nº Anal.	2	5	10	14	27	28	3	7	15	18	19	17	25
SiO2	49.35	48.70	49.17	48.18	47.62	48.07	35.03	35.00	35.54	34.58	34.56	37.51	35.74
Al2O3	37.94	38.28	38.60	37.64	37.07	37.98	20.03	20.56	20.67	20.05	20.35	23.41	20.84
TiO2	1.26	0.60	0.63	0.88	0.98	0.99	3.25	2.72	2.65	3.19	3.23	2.40	3.29
FeO	0.97	0.84	0.86	0.83	1.09	0.90	19.02	18.77	18.23	18.59	19.10	14.25	18.20
MgO	0.64	0.60	0.58	0.62	0.68	0.63	8.50	8.79	8.76	8.14	8.18	7.27	8.22
CaO	0.01	0.00	0.03	0.05	0.03	0.04	0.00	0.01	0.03	0.03	0.02	0.14	0.01
MnO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.40	0.37	0.40	0.39	0.35	0.26	0.37
Cr2O3	0.05	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.00	0.10
NiO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.04	0.04
Na2O	0.43	0.42	0.52	0.38	0.51	0.52	0.12	0.18	0.17	0.13	0.17	0.12	0.18
K2O	9.66	9.74	9.28	8.62	9.95	9.43	9.32	9.27	9.22	9.25	9.24	7.43	9.34
Total	100.32	99.17	99.68	97.23	97.96	98.62	95.71	95.73	95.74	94.44	95.23	92.82	96.31
	22 oxigenos												
Si	6.16	6.15	6.16	6.17	6.12	6.11	5.30	5.28	5.34	5.30	5.26	5.57	5.34
Al	5.59	5.70	5.70	5.68	5.62	5.69	3.57	3.66	3.66	3.62	3.65	4.10	3.67
Ti	0.12	0.06	0.06	0.08	0.09	0.09	0.37	0.31	0.30	0.37	0.37	0.27	0.37
Fe	0.10	0.09	0.09	0.09	0.12	0.10	2.41	2.37	2.29	2.38	2.43	1.77	2.27
Mg	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.12	1.92	1.98	1.96	1.86	1.86	1.61	1.83
Ca	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.10	0.10	0.13	0.09	0.13	0.13	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.05
K	1.54	1.57	1.49	1.41	1.64	1.53	1.80	1.79	1.77	1.81	1.80	1.41	1.78
Total	13.74	13.78	13.74	13.66	13.85	13.78	15.46	15.50	15.44	15.45	15.47	14.83	15.37
AlIV	1.84	1.85	1.84	1.83	1.88	1.89	2.70	2.72	2.66	2.70	2.74	2.43	2.66
AlVI	3.75	3.85	3.86	3.85	3.74	3.80	0.87	0.94	1.00	0.92	0.91	1.68	1.00
Na/(Na+K)	0.06	0.06	0.08	0.06	0.07	0.08	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
Fe/(Fe+Mg)	0.46	0.44	0.45	0.43	0.47	0.44	0.56	0.54	0.54	0.56	0.57	0.52	0.55
X _{Si}	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.05	-0.35	-0.36	-0.33	-0.35	-0.37	-0.21	-0.33

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Dr. Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA.

FC: Formación Chazumba, MM: Migmatita Magdalena

Tabla 20. Análisis de microsonda electrónica en feldespatos de facies anfibolitas del área de Magdalena a San Miguel Ixtapán, Grupo Petalcingo, Complejo Acatlán.

Feldespatos-Plagioclasas		Esquisito de biotita FC										Esquisito de biotita con sillimanita FC										
		ACA 50					ACA 112					ACA 220					ACA 220					
Nº	Análisis	34	35	40	57	aca112-562	aca112-62	aca112-7c2	aca112-8e2	aca112-11c2	1	12	21	22	23	24	4	6	11	16	20	26
SiO2		63.21	63.37	62.70	62.61	60.97	61.03	61.34	61.82	61.05	60.88	62.26	61.72	61.03	60.87	61.96	65.84	64.03	68.07	63.31	64.28	64.23
Al2O3		24.63	24.39	24.12	25.17	24.57	24.71	24.83	24.41	24.85	25.47	25.14	24.64	25.45	25.34	24.39	19.47	19.34	20.34	19.44	19.36	19.29
FeO		0.00	0.00	0.00	0.18	0.08	0.05	0.01	0.00	0.08	0.04	0.08	0.04	0.02	0.00	0.05	0.05	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04
CaO		5.18	4.87	4.95	5.78	5.96	6.00	6.08	5.75	6.04	6.31	5.37	5.23	6.15	6.14	5.17	0.00	0.01	0.17	0.00	0.00	0.00
Na2O		8.76	8.82	9.08	8.69	8.53	8.40	8.15	8.62	8.21	8.41	8.57	8.79	8.21	8.33	8.83	1.16	1.03	2.88	0.94	1.13	0.80
K2O		0.08	0.10	0.09	0.07	0.22	0.16	0.20	0.20	0.17	0.12	0.15	0.33	0.21	0.22	0.23	14.58	14.73	10.53	14.84	14.78	14.87
Total		101.85	101.54	100.94	102.50	100.33	100.35	100.60	100.81	100.38	101.23	101.57	100.74	101.08	100.89	100.62	101.10	99.16	102.04	98.61	99.57	99.24
8 oxigenos																						
Si		2.75	2.76	2.75	2.71	2.71	2.71	2.71	2.73	2.70	2.68	2.72	2.72	2.69	2.69	2.73	2.98	2.97	2.99	2.95	2.97	2.97
Al		1.26	1.25	1.25	1.29	1.29	1.29	1.29	1.27	1.30	1.32	1.29	1.28	1.32	1.32	1.27	1.04	1.06	1.05	1.07	1.05	1.05
Fe2+		0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca		0.24	0.23	0.23	0.27	0.28	0.29	0.29	0.27	0.29	0.30	0.25	0.25	0.29	0.29	0.24	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Na		0.74	0.75	0.77	0.73	0.73	0.72	0.70	0.74	0.70	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.76	0.10	0.09	0.25	0.09	0.10	0.07
K		0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.84	0.87	0.59	0.88	0.87	0.88
Total		4.99	4.99	5.01	5.01	5.02	5.01	5.00	5.01	5.00	5.02	5.00	5.02	5.01	5.02	5.02	4.97	4.99	4.90	5.00	4.99	4.98
% Ab		75.04	76.22	76.48	72.81	71.25	71.04	70.01	72.23	70.42	70.20	73.63	73.89	69.90	70.18	74.59	10.73	9.61	29.05	8.80	10.38	7.51
% An		24.53	23.23	23.04	26.79	27.51	28.05	28.84	26.65	28.63	29.13	25.50	24.31	28.94	28.59	24.15	0.01	0.04	0.96	0.00	0.00	0.00
% Or		0.43	0.54	0.48	0.41	1.23	0.91	1.15	1.12	0.95	0.67	0.87	1.80	1.16	1.23	1.26	89.26	90.36	70.00	91.20	89.62	92.49

Microanálisis realizados por Dra. Diana Meza F. y Ricardo Vega en el Laboratorio Lunar y Planetario del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona, Tucson Az. USA.

Nota: Abreviaciones, Ab: albíta, An: anortita, Or: ortoclasa; ACA: Acatlán, FC: Formación Chazumba, MM: Migmélita Magdalena

Método Analítico	Wakita	Haskin	Masuda	Nakamura	Evensen	Boynton	T & M	Manto Primitivo
Condríta(s) analizadas:	NAA	NAA	IDMS	IDMS	IDMS	IDMS	IDMS	
(Ref)	Composite (1)	Composite (2)	Leedey (3)	Composite (4)	Avg. CI (5)	Avg. CI (6)	Avg. CI (7)	(8)
La	0,340	0,330	0,3780	0,3290	0,24460	0,3100	0,3670	0,7080
Ce	0,910	0,880	0,9760	0,8650	0,63790	0,8080	0,9570	1,8330
Pr	0,121	0,112			0,09637		0,1370	0,2780
Nd	0,640	0,600	0,7160	0,6300	0,47380	0,6000	0,7110	1,3660
Sm	0,195	0,181	0,2300	0,2030	0,15400	0,1950	0,2310	0,4440
Eu	0,073	0,069	0,0866	0,0770	0,05802	0,0735	0,0870	0,1680
Gd	0,260	0,249	0,3110	0,2760	0,20430	0,2590	0,3060	0,5950
Tb	0,047	0,047			0,03745	0,0474	0,0580	0,1080
Dy	0,300		0,3900	0,3430	0,25410	0,3220	0,3810	0,7370
Ho	0,078	0,070			0,05670	0,0718	0,0851	0,1630
Er	0,020	0,200	0,2550	0,2250	0,16600	0,2100	0,2490	0,4790
Tm	0,032	0,030			0,02561	0,0324	0,0356	0,0740
Yb	0,220	0,200	0,2490	0,2200	0,16533	0,2090	0,2480	0,0480
Lu	0,034	0,034	0,0387	0,0339	0,02539	0,0322	0,0361	0,0737
Y							2,1000	

(1) Wakita et. al. (1971): compuesta de 12 condritas

(2) Haskin et. al. (1968): compuesta de 9 condritas

(3) Masuda et. al. (1973): Leedey condritas

(4) Nakamura (1974)

(5) Evensen et. al. (1978): variación de C1 condrita

(6) Boynton (1984)

(7) Taylor y McLennan (1985) 1.5 x valores de Evensen (Column 5)

(8) McDonough et. al. (1991)

Tabla 21. Normalización de REE usando los valores de condritas, diversos autores.

IX. 3 Conceptos básicos sobre migmatitas

IX.3.1 Definición

Hay un gran número de publicaciones que describen las propiedades y petrogénesis de las migmatitas (por ejm. Mehnert, 1968; Ashworth, 1985). Sin embargo, es posible descubrir nuevos fenómenos los cuales pueden contribuir a un mejor entendimiento de las mismas.

Las migmatitas son rocas corticales compuestas, que presentan porciones con apariencia metamórfica y porciones plutónicas. Una definición completa es dada por Mehnert (1968), *Migmatita*: 'roca megascópicamente compuesta que consiste de dos o más unidades petrográficamente diferentes, una de ellas es una roca encajonante más o menos metamórfica, y la otra tiene una apariencia pegmatítica, aplítica, granítica o generalmente plutónica'. Esta es una definición descriptiva, no-genética, que no evita cualquier interpretación genética pero que denota la apariencia magmática de los leucosomas.

Los términos más usados en la descripción de migmatitas son los siguientes (Mehnert, 1968; Johannes, 1983; Ashworth, 1985), (figura 26).

- Leucosoma: parte leucocrática de la migmatita, es la porción de la roca generalmente de apariencia plutónica. Con respecto al paleosoma contiene una abundancia de minerales 'claros' (cuarzo/feldespato).
- Melanosoma: capas delgadas melanocráticas ricas en minerales máficos; pueden ser hornblenda, cordierita y otros.
- Mesosoma (paleosoma): litología mesocrática de una migmatita, es más oscura que el leucosoma, tiene pequeños cristales y es de apariencia metamórfica (esquisto o gneis), es la parte de la roca inalterada o ligeramente modificada de la roca original.
- Restita: asociación de minerales refractarios o porción de la roca rica en minerales residuales.
- Protolito: Roca madre.
- Neosoma: La porción nueva de la roca que incluye al leucosoma y al melanosoma.

El siguiente modelo fue establecido en base a las observaciones de las migmatitas de Arvika (Henkes y Johannes, 1981; Johannes y Gupta, 1982) que muestra la transformación de gneisses no-migmatíticos pasando gradualmente a migmatitas estromáticas marcados por los leucosomas.

gneisses no-migmatíticos pasando gradualmente a migmatitas estromáticas marcados por los leucosomas.

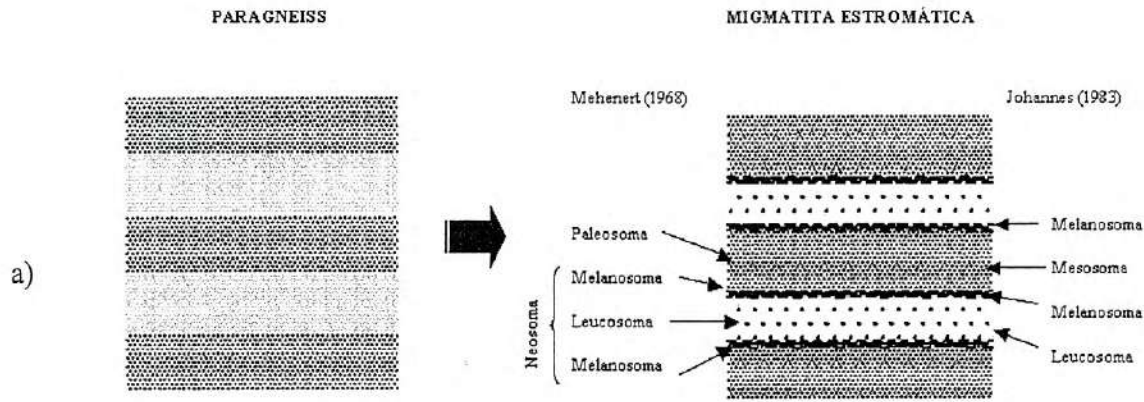
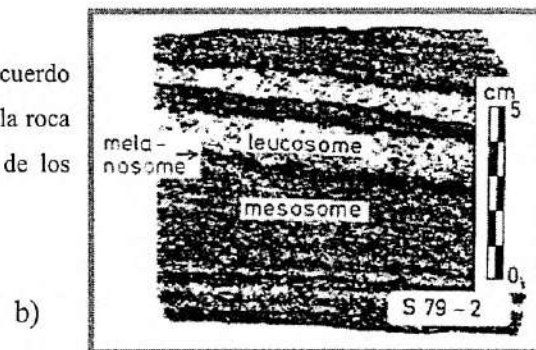


Figura 26. a) Nomenclatura de la migmatita estromática de acuerdo a Mehner (1968) y Johannes (1983); b) fotografía indicando la roca desde una vista megascópica, mostrando la escala general de los componente de la migmatita.



IX.3.2 Estructuras megascópicas de las migmatitas

El estudio detallado de las estructuras de gneises y migmatitas, que comprenden muchos de los escudos Precámbricos (cratones) del mundo, presenta una complejidad geométrica estructural muy variable. Tales factores incluyen a los efectos del metamorfismo polifásico y ultrametamorfismo (granitización), venas cuarzo-feldespáticas, agmatización y la secuencia de emplazamientos ígneos. Los efectos que traen consigo a parte de los plegamientos primarios se pueden observar en un mismo afloramiento, teniéndose las características siguientes (i) agmatitas que contienen fragmentos de pliegues o lentes tectónicas, (ii) bases anastomosadas, venas intermedias y leucocráticas, discordantes o concordantes con la foliación, (iii) oscurecimiento de la foliación por material leucocrático de la fusión parcial (neosoma), (iv) varios clivajes (v) fallas y fracturas. Éstas y la ausencia de capas que pudieran servir como

horizontes de referencia, juntos con la diferente competencia de las rocas como respuesta a la deformación, puede dar resultado a estructuras extremadamente complicadas e irregulares.

Enseguida se tratarán las estructuras más comunes de las migmatitas de forma breve y serán ilustradas con gráficas tomadas de Mehnert (1968).

- **Estructura Agmatítica (brecha):** Fragmentos del mesosoma, están rodeadas por delgadas capas de neosoma (estructuras como brechas), se derivan principalmente de rocas visiblemente deformadas, como brechas metasedimentarias (conglomerados inmaduros, los cuales comúnmente demuestran características sedimentarias). Reconocidas por la actitud de los bloques de paleosomas en el neosoma.
- **Estructura Dictionítica (como red):** El mesosoma presenta estructuras paralelas flexionadas y se encuentra entrelazado por delgadas capas del leucosoma. A diferencia de la estructura agmática, aquí se puede observar fallamiento de la roca encajonante.
- **Estructura Schollen (balsa):** Los fragmentos del paleosoma son generalmente más pequeños y redondeados, parecen estar flotando (balsa) en un neosoma homogéneo o ligeramente heterogéneo. Comúnmente exhiben estructuras de deformación debido a movimientos de fallas y rotacionales, también se pueden encontrar con los bordes graduales porque los fragmentos se encuentran parcialmente disueltos en el neosoma.
- **Estructura flebítica (vena):** El mesosoma es cortado por venas del tipo del leucosoma, es llamado también gneis con venas, debido a su apariencia de venas semejantes a las del cuerpo humano.
- **Estructura estromática (bandeada):** Los neosomas forman capas oscuras y claras en el paleosoma, generalmente paralelas al plano de esquistosidad, sus espesores son variables e irregulares, su origen a sido tema de discusión, pero se piensa que los gneises bandeados han pasado gradualmente a migmatitas estromáticas, que adoptan caracteres pegmatíticos o graníticos. Cuando el paleosoma es totalmente remplazado se forman finalmente capas ricas en minerales máficos (melanosomas dentro del neosoma), que claramente representa un estado más avanzado de migmatización estromática o que además pueden reflejar introducción de material.
- **Estructura surreítica (dilatación):** Ocurren en rocas compuestas por capas con características mecánicas diferentes, lo cual las hace reaccionar de manera distinta ante la deformación, debido a la competencia e incompetencia de las rocas. Cuando estas capas son deformadas, las más competentes se fracturan y separan en bloques (boudinage), estos bloques pueden estar separados por la matriz que fluye o por masas de neosoma que son exprimidas de la encajonante.

- **Estructura foliada:** Una gran variedad de rocas pueden presentar esta estructura debido a la compresión, originándose una gran cantidad de pliegues por presiones paralelas o perpendiculares que afectan a la roca. En las migmatitas, los paleosomas y neosomas a veces reaccionan como si fueran mecánicamente homogéneos. Las migmatitas de alto grado presentan material muy móvil, resultando plegamientos de flujo que, a su vez, se ven afectados por los movimientos de cizalla que los repliegan, obteniendo así una estructura altamente compleja (Wynne-Edwards, 1963)
- **Estructura ptigmática:** Material granítico que presenta una apariencia disarmónica. La génesis de este tipo de plegamiento es controversial, sin embargo, se piensa que son producto del aumento de la viscosidad del fluido.
- **Estructura schlieren:** Se presentan como segregaciones e inclusiones de minerales formando texturas de flujo antes de la consolidación, y a veces su contacto con la roca encajonante es transicional.
- **Estructura nebulítica:** En algunos casos la recristalización anatética puede ser tan extrema que puede destruir enteramente toda la foliación, produciendo una nebulita que se asemeja a un granitoide anatético con casi una textura uniforme.

IX.3.3 Formación de las Migmatitas

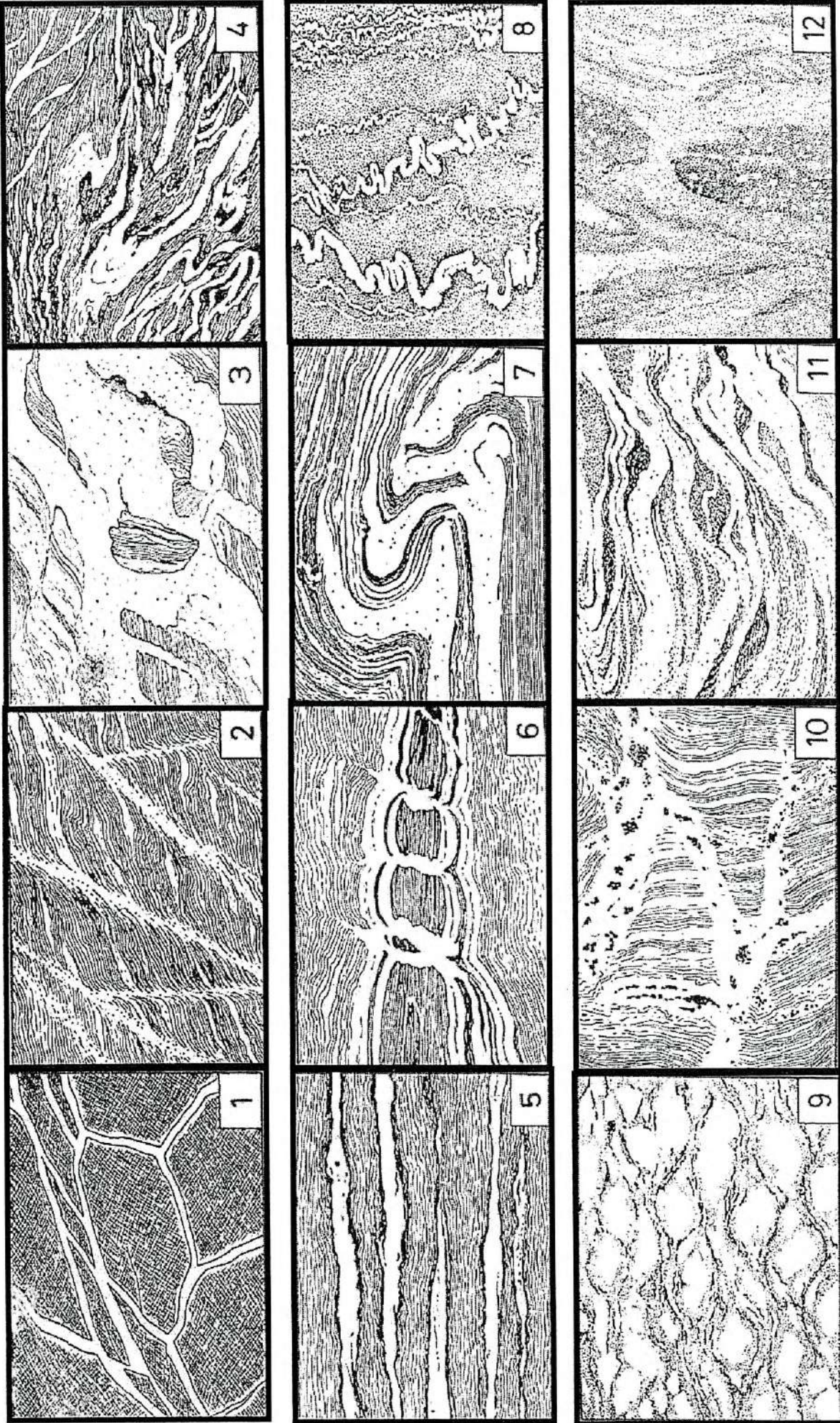
La formación de las migmatitas ha sido atribuida en el pasado a varios procesos:

- Inyección de magmas adyacentes (Sederholms, 1907, 1913, 1934).
- Fusión parcial o anatexis (Holquist, 1921; Winkler, 1961, Mehnert, 1968, Johannes y Gupta, 1982).
- Metasomatismo (Misch, 1968; Olsen 1984).
- Diferenciación metamórfica (Robin, 1979, Ashworth y Mclellan, 1985, Lindh y Wahlgren, 1985).

También puede ocurrir una combinación de estos procesos (Olsen, 1984, 1985), aunque en años recientes la anatexis o fusión parcial, que se asocia principalmente con el aumento de la temperatura, se ha considerado como el proceso predominante en las migmatitas, dando origen a las metatexitas, que esencialmente se forman en un sistema cerrado provocando la diferenciación y movilización de restitas de pocos centímetros o decímetros y las diatexitas (Gürich 1905), que se atribuyen a un estado avanzado de refusión.

Para términos geológicos más convenientes se puede distinguir entre los siguientes estados de anatexis:

TABLA 22. RESUMEN DE LAS ESTRUCTURAS TÍPICAS DE MIGMATITAS



- 1. Agmatítica (breccia)
- 2. Dycionítica
- 3. Schollen (raft)
- 4. Phebitica (vein)

- 5. Estromática (layered)
- 6. Surreítica (dilatation)
- 7. Folden
- 8. Prygmatica

- 9. Oftalmica (augen)
- 10. Estictolítica (fleck)
- 11. Schieieren
- 12. Nebulítica

Nota: Estructuras 9 y 10 no descritas en este trabajo

- 1) Metatexita: para la incipiente fusión parcial, cuando petrográficamente se puede distinguir entre las porciones sin fundir y las porciones fundidas.
- 2) Diatexita: estado completo o casi completo del fundimiento de la roca, aquí las porciones de la roca sin fundir no se alcanzan a distinguir (schlieren, nebulítica o casi una roca plutónica). Por esto, no existe un límite entre estos dos estados, pero si pueden ser fácilmente distinguibles y separados en el mapeo geológico. La tabla siguiente muestra las características petrográficas de las metatexitas y diatexitas petrográficamente.

		ESTROMÁTICA/METATEXITA		DIATEXITA
		Metatectita Pegmatítica	Restita	No hay distinción
MICROFABRICA		Textura Pegmatoidea Generalmente de grano grueso	Textura esquistosa gneisosa, en parte textura "criss-cross"	Textura Plutónica (grano medio-grueso)
CONTENIDO MINERAL	Cuarzo	Abundantes inclusiones de Qz en el feldespato	No hay cuarzo	Cuarzo xenomórfico
	Feldespato K	Cristales Xenomórficos porfidoblasticos	No hay FK	Cristales xenomórficos o porfidoblasticos
	Plagioclasa	Grandes cristales hipidiomórficos sin zoneamiento	No hay plagioclasa	Cristales idiomórficos con zoneamiento inverso, tamaño medio.
	Biotita	No hay biotita	Agregados xenomórficos	Cristales idiomórficos a hipidiomórficos
	Cordierita	Cristales hidiomórficos, a veces con inclusiones de	Foliación formados por: Bio -> Cordierita	Porfidoblastos idiomórficos, poikiloblastos
	Apatito	Agregados xenomórficos	Pequeñas inclusiones en biotita	Cristales idiomórficos prismáticos
	Perlita	No hay perlita	No hay perlita	En pequeñas cantidades
	Antiperlita	No antiperlita	No hay antiperlita	En pequeñas cantidades
ESTRUCTURAS		PHLEBITICA AGMATITICA DIKTIONICAS PTYGMATICAS		SCHLIEREN NEBULITAS DIKTIONITA

Tabla 23. Características petrográficas de las migmatitas (después de Mehnert 1963)

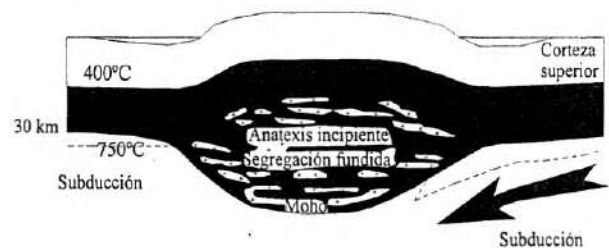
IX.3.4 Modelo orogénico propuesto por Vanderhaeghe

El modelo propuesto de Vanderhaeghe (2000) sugiere una fusión parcial en diferentes estados de la evolución orogénica (fig. 27) y toma en cuenta la literatura referente a otros modelos de convergencia orogénica (e.g. Barbey et al. 1996; Brown y Solar, 1998; Sawyer, 1998; Sawyer, et al. 1999; Scaillet et al. 1995; Weinberg y Searle, 1998).

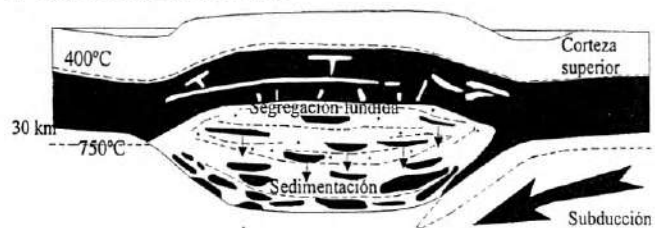
En este modelo, el primer estado requiere de una corteza altamente heterogénea amalgamada durante la evolución orogénica, en ella se encuentran capas mas fértiles para la fusión parcial. El decaimiento radioactivo es una causa potencial para el incremento de la temperatura dentro de la zona orogénica engrosada (Henry et al 1997; Huerta et al 1998).

Durante la convergencia, el fundido incipiente se encuentra controlado por la fertilidad y el contenido de minerales radiactivos dentro de esta zona (fig. 27, a). La fusión de la zona afectada permite la generación de diatexitas, caracterizada por el desarrollo de domos inmaduros (Brow y Solar, 1998; Burg y Vanderhaeghe, 1993; Vanderhaeghe et al 1999). La presencia de un gran número de enclaves en las diatexitas sugiere que el asentamiento de las partículas sólidas no es totalmente eficiente. El emplazamiento de cuerpos graníticos homogéneos refleja la migración del fundido hacia la superficie (fig. 27b). Esta migración parece ser alcanzada por la formación de una serie de venas graníticas atravesando la zona que se encuentra entre las diatexitas y granitos. La geometría de la red granítica es controlada por la deformación regional y la diferencia de competencia entre el fundido y la roca encajonante. Las venas graníticas están localizadas en los planos de foliación el cual actúa como una guía mecánica. Las diatexitas o granitos anatécnicos heterogéneos ricos en enclaves y restitas, son generados por una fusión sin una segregación eficiente (Sawyer 1994). Por otro lado, la distribución del fundido y el magma que genera la última generación de corteza se encuentra dominado por diatexitas y concentraciones de lacolitos de leucogranitos en niveles estructuralmente altos permitiendo nuevas capas reológicas. Estas capas probablemente influyen al comportamiento de la corteza continental durante el colapso orogénico, que es acomodado mediante la extensión frágil de la corteza superior y por flujo dúctil de la corteza media e inferior (fig. 27,c).

1.- Estado temprano de engrosamiento de la corteza



2.- Engrosamiento de la corteza



3.- Colapso Orogrénico

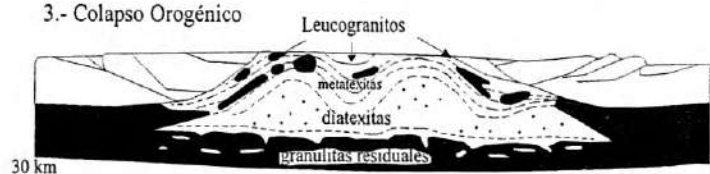


Figura 27. Modelo orogénico propuesto por Vanderhaeghe (2000) que sugiere una fusión parcial en diferentes estados de la evolución orogénica.