

17



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

GEOLOGIA METAMORFICA DEL COMPLEJO ACATLAN Y  
SU COBERTURA PALEOZOICA, DEL AREA DE SAN  
MIGUEL LAS MINAS-PATLANOAYA-AHUATLAN ESTADO  
DE PUEBLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO

PRESENTAN:

HERNANDEZ ESPRIU JOSE ANTONIO  
MORALES MORALES FERMIN



Director de Tesis: Dr. Fernando Ortega Gutiérrez

ABRIL DEL 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-412

**SR. JOSE ANTONIO HERNANDEZ ESPRIU**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Fernando Ortega Gutiérrez y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**GEOLOGIA METAMORFICA DEL COMPLEJO ACATLAN Y SU COBERTURA  
PALEOZOICA, DEL AREA DE SAN MIGUEL LAS MINAS-PATLANOAYA-AHUATLAN,  
EDO. DE PUEBLA**

- I INTRODUCCION**
- II GEOLOGIA DEL COMPLEJO ACATLAN**
- III COBERTURA PALEOZOICA**
- IV COBERTURA POST-PALEOZOICA**
- V CUERPOS INTRUSIVOS**
- VI DISCUSION/PROBLEMATICA**
- VII EVOLUCION TECTONICA/GEOLOGIA HISTORICA**
- VIII CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D. F., a 19 de marzo de 2002  
EL DIRECTOR

  
ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*RLLR\*gtg

R



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-413

**SR. FERMIN MORALES MORALES**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Fernando Ortega Gutiérrez y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**GEOLOGIA METAMORFICA DEL COMPLEJO ACATLAN Y SU COBERTURA  
PALEOZOICA, DEL AREA DE SAN MIGUEL LAS MINAS-PATLANOAYA-AHUATLAN,  
EDO. DE PUEBLA**

- I INTRODUCCION
- II GEOLOGIA DEL COMPLEJO ACATLAN
- III COBERTURA PALEOZOICA
- IV COBERTURA POST-PALEOZOICA
- V CUERPOS INTRUSIVOS
- VI DISCUSION/PROBLEMATICA
- VII EVOLUCION TECTONICA/GEOLOGIA HISTORICA
- VIII CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D. F., a 19 de marzo de 2002  
EL DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
**ING. GERARDO FERRANDO BRAVO,**

GFB\*RLLR\*gtg

R

## ÍNDICE

Agradecimientos Fermín .....	ii
Agradecimientos José Antonio .....	iii
Resumen .....	iv
Capítulo I. Introducción .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.2 Justificación .....	3
1.3 Método de Trabajo .....	5
1.4 Localización del área de estudio .....	9
1.5 Marco Geológico Regional .....	10
Estratigrafía del área de estudio .....	16
Capítulo II. Geología del Complejo Acatlán .....	17
2.1 Estratigrafía .....	18
2.2 Petrografía .....	34
2.3 Metamorfismo .....	40
2.4 Síntesis Estructural .....	47
Capítulo III. Cobertura Paleozoica .....	60
3.1 Formación Otate .....	61
3.2 Formación Patlanoaya .....	65
Capítulo IV. Cobertura Post-Paleozoica .....	70
4.1 Formación Tecmazúchil .....	71
4.2 Formación Balsas .....	73
Capítulo V. Cuerpos Intrusivos .....	75
5.1 Granito Palo Liso .....	76
5.2 Intrusivos Las Minas .....	79
Capítulo VI. Discusión / Problemática .....	80
6.1 Interpretación uno .....	85
6.2 Interpretación dos .....	87
Capítulo VI Evolución Tectónica / Geología Histórica .....	88
Capítulo VII. Conclusiones .....	93
7.1 Recomendaciones .....	96
Referencias Bibliográficas .....	97

### Anexos

Anexo A Petrografía de láminas delgadas

Anexo B Carta Geológica escala 1:25,000 y Secciones Geológicas.

## **Agradecimientos.**

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración y apoyo de varias personas e instituciones, agradezco en primer término al Dr. Fernando Ortega Gutiérrez por su amable y paciente dirección, así como a los M.C Mariano Elías Herrera y M.C José Luis Sánchez Zavala, por sus acertadas recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo.

Una mención especial merece el Instituto de Geología de la UNAM por haberme brindado la oportunidad de hacer uso de sus instalaciones, permitirme trabajar y convivir con su personal que siempre mostró una gran disponibilidad y apoyo, lo cual les agradezco infinitamente.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la UNAM por la formación recibida en sus aulas, especialmente a su personal académico.

Agradezco ampliamente el apoyo económico recibido por parte de la DGAPA-UNAM (INIO7999) y del Sistema Nacional de Investigadores, sin el cual no hubiera posible la realización de este trabajo de tesis. Un agradecimiento especial es para mis compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería, así como a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo moral y me impulsaron siempre a seguir adelante en los momentos difíciles, de las cuales prefiero no mencionar sus nombres por no omitir alguno.

Finalmente agradezco a mis padres el Sr. Aquileo Morales López y con mucho cariño a mi madre la Sra. Francisca Morales Torres, a mis hermanos Miguel Ángel, Jesús, Francisco y Alejandro por su confianza y apoyo incondicional durante todo este tiempo. Esperando agradecer con este trabajo parte de sus sacrificios y esfuerzos, y nos sirva como un estímulo para seguir adelante.

**Fermín.**

## Agradecimientos.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración y apoyo de diversas personas e instituciones. Agradezco en primer plano la amable y cordial dirección del Dr. Fernando Ortega Gutiérrez, piedra angular en el desarrollo de este trabajo. También agradezco muy sinceramente al M. en C. Mariano Elías Herrera por la co-dirección del proyecto, así como al M. en C. José Luis Sánchez Zavala y al Dr. Luigi Solari, quienes con sus pláticas y puntos de vista permitieron el enriquecimiento académico durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco de igual manera al Instituto de Geología por haberme dado la oportunidad de realizar el proyecto de tesis, donde además de hacer uso de las instalaciones de primer nivel en el ámbito geológico-académico, pude compartir momentos inolvidables con investigadores, técnicos, estudiantes y personal en general que me permitieron crecer profesional y personalmente.

Muy especialmente, quiero agradecer a la Facultad de Ingeniería y en general a la UNAM. Las enseñanzas de sus maestros y académicos de altísimo nivel dentro y fuera de los muros escolares, forjaron en mí una preparación integral para poder resolver con éxito las situaciones adversas en el ámbito profesional; ya estará en nosotros los egresados seguir demostrando con mucho orgullo que la UNAM sigue y seguirá siendo la mejor universidad de Latinoamérica. Agradezco con amabilidad el apoyo económico que me brindó la DGAPA-UNAM (INI07999) y el Sistema Nacional de Investigadores, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Finalmente y con enorme cariño quiero agradecer a mi familia. En primer término a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado los mejores maestros dentro y fuera de las aulas desde que tengo memoria; la educación y el cariño que siempre me dieron son el aliento para seguir adelante y parte de este trabajo es de ellos, en especial de mi madre con quién he compartido todo, incluso discusiones geológicas. Agradezco a mis cuatro abuelos por los sabios consejos que sólo las personas con tanta experiencia y amor en la vida pueden otorgar. Su simple presencia me ha hecho reflexionar y pensar que tan afortunado soy en tenerlos a los cuatro. Agradezco a mi tío Roberto y Ana Bertha por sus atinados consejos que siempre me serán de utilidad. Agradezco a mis compañeros de la facultad, en especial a mi novia Erika por su cariño y apoyo en todos los aspectos de mi vida. Con mucho afecto y sinceridad, GRACIAS.

José Antonio



## Resumen.

Las unidades litotéctónicas del Complejo Acatlán que afloran en el área de estudio presentan una gran diversidad de contactos de tipo tectónico, principalmente cabalgaduras con un comportamiento regional. La Formación Xayacatlán compuesta por esquistos de mica blanca y granate en facies de eclogita se encuentran estructuralmente arriba de cuarcitas y filitas de la Formación Cosoltepec en facies de esquistos verdes. El comportamiento regional de estas estructuras ha sido interpretado como suturas ofiolíticas resultado de una colisión continente-continente ocurrida en el Ordovícico Tardío - Silúrico Temprano (Ortega-Gutiérrez et al., 1999). En el poblado de Las Minas afloran cuerpos milonitizados de los Granitoides Esperanza, que tienen indicadores cinemáticos con cima hacia el oeste, y están cubiertos en discordancia por rocas de la formación Ahuatlán descrita por primera vez en este trabajo y que es correlacionable con la Formación Tecomate del Devónico Medio-Tardío. (Sánchez-Zavala et al., 2000)

La formación Ahuatlán tiene como principales características foliación y plegamiento bien definidos, presenta asociaciones de minerales como actinolita, clorita, epidota/zoisita, clinzoisita, mica blanca, cuarzo, titanita y calcita de reemplazamiento tardío. Las paragénesis de sus rocas indican facies de esquistos verdes de grado bajo (zona de la clorita.-actinolita.-albita-clinzoisita), sugiriendo presiones y temperaturas que oscilan entre 3-5 Kb y 350-400°C. Sus protolitos corresponden a secuencias metavolcánicas y metasedimentarias intercaladas en menor grado por lavas de composición básica, que sugieren un ambiente de cuenca trasarco (back-arc basin) para su depósito (Sánchez-Zavala et al., 2000). La relación de discordancia de esta formación con respecto a las demás unidades de basamento, tiene un significado crucial ya que evidencia la actividad orogénica del Complejo Acatlán durante el Devónico.

Se efectúa la descripción de una secuencia sedimentaria nombrada informalmente en este trabajo como formación Otate. Compuesta en su base por rocas de composición argilítica, principalmente lutitas, limolita, pizarras y metapedernal con intercalación de rocas volcánicas de composición básica (posiblemente lavas), en las que se observa un ligero plegamiento y metamorfismo. Su parte media y superior esta compuesta por areniscas, litarenitas, conglomerados y areniscas conglomeráticas con estratificación primaria, graduación normal, marcas de corriente y estructuras de arrastre.

Las rocas de la formación Otate son correlacionables con los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya (Vachard et al., 2000). La formación Otate esta en discordancia con la Formación Cosoltepec en la barranca El Otate al este de Las Minas, así como con la Formación Xayacatlán al sur del Rancho La Sábila. Su contacto con la formación Ahuatlán (Devónico?) no aflora en el área de estudio, sin embargo se infiere discordante debido a sus notables diferencias. Por su relación de discordancia con las rocas del Complejo Acatlán y encontrarse estratigráficamente debajo de los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya. A las rocas de la formación Otate se le ha asignado tentativamente una edad del Devónico Tardío.

El granito Palo Liso intrusiona a rocas del basamento, de la formación Otate y a los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya. Sin embargo a lo largo de la barranca Mal Paso no se reconocieron evidencias de intrusión en la Formación Patlanoaya concretamente al nivel de un conglomerado arcósico compuesto por clastos de cuarzo y feldespato potásico, donde se observa estratificación cruzada y gradación normal. Por la relación existente entre estos elementos geológicos se propone la posible existencia de una discordancia entre la formación Otate y la Formación Patlanoaya que tendría un gran significado tectónico para la evolución del sur de México durante el Paleozoico tardío.

Capítulo I.  
INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivos.

La propuesta de cartografiar una porción del Complejo Acatlán como tema de tesis de licenciatura, tiene la finalidad de contribuir al conocimiento de áreas poco estudiadas de este complejo metamórfico. Los principales objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Efectuar la cartografía geológica escala 1:25,000 del área de Patlanoaya–Ahuatlán, en el Estado de Puebla.
2. Resolver las relaciones de contacto entre las unidades del basamento, su cobertura paleozoica y cuerpos intrusivos.
3. Determinar las características metamórficas de las unidades del Complejo Acatlán involucradas.
4. Determinar las características estructurales esenciales del área: estratificación, foliación, lineación mineral, pliegues y discordancias.
5. Caracterización petrográfica de muestras diversas al nivel de lámina delgada en el microscopio óptico de polarización.
6. Elaborar diversas secciones geológicas donde se resalten aspectos importantes en las relaciones de contacto del basamento con su cobertura paleozoica.
7. Discutir brevemente las implicaciones tectónicas de la geología de la región.

## 1.2 Justificación y alcances.

El Complejo Acatlán, así como la gran mayoría de los complejos metamórficos cristalinos contenidos en la Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000 (Ortega-Gutiérrez et al., 1992) se encuentran poco estudiados y la información generada hasta el momento sin duda alguna resulta escasa, truncada, poco entendida, y en algunas ocasiones con interpretaciones tectónicas que no encajan de manera lógica con las observaciones hechas en campo y los resultados obtenidos en gabinete.

La falta de información geológica detallada en el Complejo Acatlán se debe a diversos factores; por enumerar los más trascendentales:

1. La gran dificultad que presentan las rocas metamórficas de la región al ser estudiadas. Múltiples eventos de deformación dúctil y frágil; 3 orogénesis (cuando menos); heterogeneidad en los protolitos; cambios estructurales abruptos; diferentes procesos metamórficos de alta presión y retrogresión; potentes coberturas sedimentarias y volcánicas.
2. La escasez de científicos de ciencias de la tierra relacionados en los campos de la petrogénesis metamórfica y sus implicaciones tectónicas.
3. El escaso potencial económico que representan las rocas aparentemente estériles del Complejo Acatlán, ha provocado desinterés en las grandes compañías de exploración, destinando recursos humanos y financieros a otros sectores de la República Mexicana económicamente más atractivos.
4. La poca participación de ramas como la Geofísica, Geoquímica e incluso la Paleontología con un enfoque hacia la petrogénesis de rocas de basamento y sus consideraciones tectónicas. Si bien es cierto que la geoquímica ha evolucionado mucho al respecto en las últimas décadas, son pocos los trabajos que analizan a fondo las características geoquímicas de las unidades basales de los terrenos en México, interpretando con ello ambientes tectónicos y posibles fuentes de procedencia, tanto paleogeográficamente como temporalmente hablando. La información geofísica es prácticamente nula en lo referente al tema, y bien podría ser una herramienta muy confiable para ayudar a determinar espesores reales, distribuciones de unidades litoestratigráficas en el subsuelo e incluso datos certeros que al

integrarse con la geología y la geoquímica puedan generar y sostener nuevas hipótesis acerca de la evolución tectónica de basamentos aún más antiguos que el mismo Complejo Acatlán en el terreno Mixteco, y en general en el sur de México.

5. En todo estudio geológico de cualquier índole, es esencial conocer con certeza la distribución espacial y temporal que guardan los diferentes cuerpos de roca involucrados en una región dada, esto es, la cartografía geológica que en esta región es insuficiente.

Si analizamos un espacio representativo de cartas geológicas de México (a diversas escalas) cuya característica común sea la cartografía parcial o total del basamento metamórfico expuesto en una zona determinada, veremos que en su mayoría, dicho basamento está representado solamente por un color, cuando sabemos que en una carta geológica, un color debe representar solo un tipo de roca (excepto en condiciones especiales según el tipo de cartografía que se esté llevando a cabo.). Por tanto el basamento según la cartografía estará compuesto por una unidad litoestratigráfica, aseveración que por supuesto y particularmente para el Complejo Acatlán es falsa.

Es necesario para un mejor entendimiento de los complejos metamórficos expuestos, una cartografía que represente con un mayor grado de confiabilidad la realidad, y esto debe comenzar por la separación en un mapa de las diversas unidades litoestratigráficas que componen al basamento, indicando patrones reales de afloramiento y sus características estructurales dominantes como fallas, planos de foliación, caracterizaciones de pliegues y lineaciones minerales, por nombrar las más importantes.

En función de los puntos anteriores, nos pareció muy interesante realizar una tesis de licenciatura enfocada concretamente al estudio cartográfico y petrológico de una unidad basal como el Complejo Acatlán, el cual representa la convergencia de diferentes eventos tectono-geológicos que han edificado la distribución geográfica de los afloramientos que componen la complicada e intrincada geología del sur de México. No pretendemos con ello resolver las incógnitas referentes al Complejo Acatlán, pero esperamos contribuir al conocimiento de este complejo metamórfico y su cobertura, basándonos en información existente y obtenida por nosotros, generando en el proceso información novedosa que pueda servir como una contribución relevante a la geología mexicana.

### 1.3 Método de trabajo.

El método de trabajo para llevar a cabo la elaboración de la tesis, se esquematizó en función de las etapas siguientes:

- Recopilación bibliográfica.
- Adquisición de material cartográfico y fotogeológico.
- Fotointerpretación.
- Geología de campo.
- Trabajo de gabinete.

#### Recopilación bibliográfica.

Esta primera etapa consistió en la búsqueda y recopilación de textos de distinta índole como revistas nacionales e internacionales, publicaciones especiales, textos explicativos adjuntos a cartas geológicas publicadas por diferentes instituciones y libros de texto clásicos. En ellos se buscaron descripciones y análisis relacionados con la geología del Complejo Acatlán y su cobertura paleozoica. (Ortega-Gutiérrez, 1978; 1979; 1981; 1991; Yañez, et al., 1991; Ortega-Gutiérrez et al., 1999), sus coberturas volcanosedimentarias (Silva-Pineda, 1970; Carillo y Martínez, 1981; Villaseñor y otros, 1987; Weber y otros, 1987; Corona-Esquivel, 1981; Enciso de la Vega, 1988; Grajales-Nishimura, 1988, Flores de Dios, et, al., 1998, Vachard, et, al., 2000), y en general sobre el terreno Mixteco (Sedlock et al., 1993) y sus implicaciones tectónicas para el sur de México (Ortega-Gutiérrez, 1981, 1992).

#### Adquisición de material cartográfico y fotogeológico.

La segunda etapa fue definir el área cartográfica, estableciendo así los alcances de la tesis en función de los objetivos propuestos al inicio del proyecto. Para ello fue necesario adquirir las cartas topográficas Izúcar de Matamoros (E14B62), Tehuitzingo (E14B63) y Coatzingo (E14B73); todas ellas a escala 1:50, 000 y publicadas por el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). Con base en estos mapas, se delimito el área a cartografiar tomando como criterios los objetivos, alcances e intereses comunes entre las personas involucradas del proyecto.

### Fotointerpretación.

El trabajo fotogeológico se realizó con el objeto de crear un mapa preliminar o base, donde se pudieran resaltar contactos entre unidades litoestratigráficas de basamento con respecto a la cobertura volcanosedimentaria, acompañados de rasgos estructurales representativos.

Para la fotogeología se utilizaron las siguientes fotografías aéreas de la región: Línea 171 (fotos 8-12), línea 172 (fotos 8-12), línea 173 (fotos 8-12), línea 174 (fotos 6-10); todas ellas publicadas por el INEGI, con fechas de vuelo de 1996 y editadas a escala 1:75,000.

Con la técnica de estereoscopia, se interpretaron las fotografías aéreas, tomando como principales criterios el patrón y densidad del drenaje, las geoformas, la macrotextura, la presencia o ausencia de vegetación y el color de la litología, determinando así tipos de roca y patrones de afloramiento.

Cabe mencionar que la fotogeología tuvo dos inconvenientes:

- A. La dificultad de separar unidades metamórficas entre sí debido a la gran semejanza en los patrones de drenaje y a la continuidad espacial truncada que presentan las rocas fuertemente deformadas del Complejo Acatlán.
- B. La diferencia notable entre la escala de las fotos aéreas 1:75,000 (donde 1 cm en magnitud dibujada representa 750 m en magnitud real) con respecto a la escala de la carta geológica final 1:25,000, donde 1cm en magnitud dibujada representa solamente 250 m en magnitud real.

Sin embargo, la fotogeología fue de gran ayuda para separar las rocas metamórficas de la cobertura paleozoica, mesozoica y cenozoica, generando así el mapa base en el cual se corrigieron contactos, patrones de afloramiento, y datos estructurales basados en las observaciones de campo que se detallarán a lo largo del presente trabajo.



### Geología de campo.

Partiendo del sustento teórico y del mapa preliminar, se inició la etapa de trabajo de campo con un tiempo acumulado de 25 días, divididos en cuatro salidas, donde se adoptó la siguiente metodología:

- Reconocimiento geológico de unidades litoestratigráficas cartografiables en función de: litología, características metamórficas, posición estratigráfica y comportamiento estructural.
- Muestreo sistemático de las litologías involucradas.
- Toma de datos estructurales: dirección e inclinación de estratificación y foliación, buzamiento y dirección de buzamiento para ejes de pliegue, dirección e inclinación preferencial de lineación o lineaciones minerales, y comportamiento de indicadores cinemáticos.
- Análisis del tipo de contacto entre las unidades involucradas.
- Levantamiento de secciones geológico-estructurales a detalle y semidetalle.

En la primera salida se pretendió hacer un reconocimiento general del área en estudio, identificando las unidades tanto metamórficas como de cobertura a cartografiar, teniendo como principal parámetro la escala escogida. En esta misma salida se resaltaron zonas de conflicto donde se tendría que trabajar con más cuidado y detalle en las próximas incursiones. En las siguientes dos salidas, se entró de lleno al trabajo cartográfico vaciando toda la información geológica generada en la base topográfica 1:25,000. En la cuarta y última salida se terminó el trabajo de campo detallando solamente en algunos sectores del área, mejorando y corrigiendo contactos geológicos un tanto inciertos, siempre sustentados por una densidad representativa de datos estructurales y el muestreo sistemático de unidades litoestratigráficas diversas. Los datos estructurales se levantaron con la brújula declinada magnéticamente 7° hacia el este, en la caracterización de planos estructurales como estratificación y foliación se utilizó la técnica de dirección de echado y echado; análogamente para la caracterización de ejes de pliegues y lineaciones minerales se usó la técnica de buzamiento y dirección de buzamiento. Para la ubicación en campo, se utilizó un GPS (Global Positional System) con datos arrojados en coordenadas geográficas con un error de +/- 10m.

### **Trabajo de Gabinete.**

En el gabinete se vaciaron el total de los datos tomados en campo y se laminaron 20 muestras con un espesor aproximado de 30  $\mu\text{m}$  cada una. Las muestras que fueron laminadas corresponden a unidades que presentaban incertidumbre en cuanto a sus características petrogénéticas para poder correlacionarlas. El estudio petrográfico y las fotomicrografías se llevó a cabo con un microscopio óptico de polarización marca Olympus. Una vez terminado el trabajo petrográfico para determinar con certeza las unidades involucradas se procedió a dibujar la carta geológica final.

Establecido lo anterior, se procedió a redactar el trabajo de tesis en función de la integración total de datos recopilados y generados, así como en las observaciones hechas en campo a lo largo del tiempo ya mencionado.

#### 1.4 Localización del área de estudio.

El área de estudio se ubica a 15 Km al sureste de la ciudad de Izúcar de Matamoros; (Fig. 3) comprende una superficie de 90 Km<sup>2</sup> y esta situada entre los meridianos 98° 15' y 98° 23' de longitud oeste y los paralelos 18° 30' y 18° 34' de latitud norte, abarcando los poblados de San Miguel Las Minas, San Salvador Patlanoaya y Rancho La Sábila.

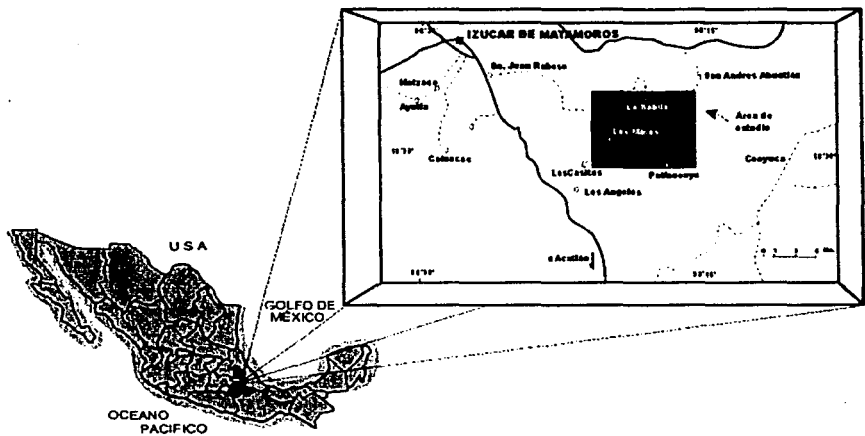


Figura 3. Mapa de Localización

## 1.5 Marco Geológico Regional.

- Terreno Mixteco.

El terreno Mixteco (Fig.1) abarca cerca de 35, 000 Km<sup>2</sup> del territorio nacional y su litoestratigrafía está definida por un basamento cristalino metamórfico del Paleozoico denominado Complejo Acatlán, caracterizado por haber sufrido a lo largo de su compleja historia geológica un metamorfismo de alta presión, sobrepuesto por eventos metamórficos posteriores de retrogresión representados por rocas de menor grado metamórfico.

El basamento metamórfico esta cubierto por unidades con litologías muy variadas: formaciones marinas paleozoicas no deformadas, sedimentos carbonatados del Mesozoico, secuencias clásticas desde lutitas hasta conglomerados, cuerpos intrusivos de diversa composición, tamaño y geometrías, y rocas volcánicas terciarias en grandes espesores.

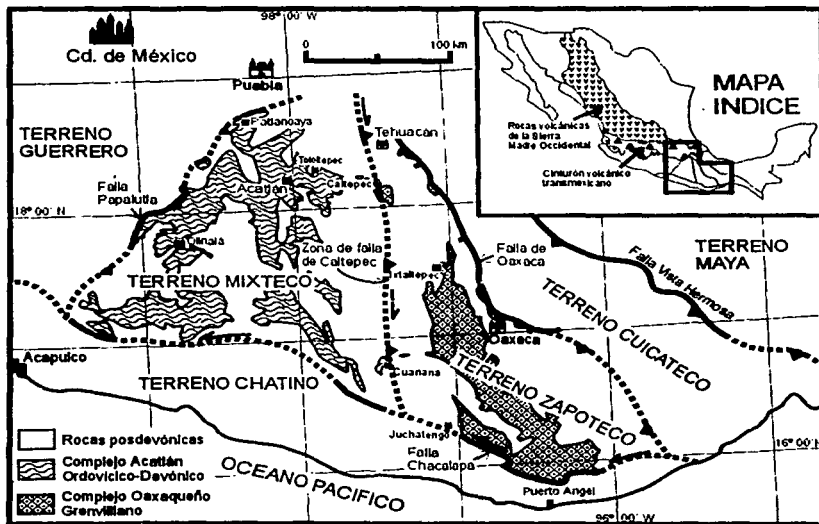


Figura 1. Mapa de los terrenos tectonoestratigráficos del sur de México (Modificado de Ortega-Gutiérrez et al., 1999).

### Límites del terreno Mixteco.

El límite este del terreno Mixteco está definido por la falla de Caltepec (cabalgadura con componente lateral derecha) que representa la yuxtaposición de los Complejos Acatlán y Oaxaqueño (Elías-Herrera y Ortega Gutiérrez, en prensa), este último un fragmento de corteza proterozoica que constituye el basamento del terreno Zapoteco (Sedlock et al., 1993) formado por metanortositas, ortogneises cuarzo-feldespáticos, paragneises, charnokitas y rocas metasedimentarias en facies de granulita. El terreno Zapoteco corresponde al terreno Oaxaca de Campa-Uranga y Coney (1983).

El límite oeste está representado por la falla de Papalutla (cabalgadura) (Sedlock et al., 1993) que pone en contacto tectónico el terreno Mixteco con el terreno Náhuatl, compuesto por sedimentos metamorfizados de bajo grado y rocas magmáticas jurásicas y cretácicas, sobreyaciendo al basamento conocido como Complejo Tierra Caliente, que es un ensamble de rocas metamórficas en facies de prehnita – pumpellitita, esquisto verde y algunas en facies de anfibolita (Sedlock et al., 1993). El terreno Náhuatl corresponde a la parte sureste del terreno Guerrero de Campa-Uranga y Coney (1983).

El límite sur es quizás el menos conocido del terreno Mixteco. Está representado por la falla de Chacalapa-Tierra Colorada (falla lateral izquierda) que pone en contacto al Complejo Acatlán con el Complejo Xolapa, constituido principalmente por ortogneises y rocas migmatizadas derivadas de protolitos de edad a un no determinada Mesozoico? (Tolson, J. G., 1998). El Complejo Xolapa representa la unidad más antigua del terreno Chatino (Sedlock et al., 1993). El terreno Náhuatl corresponde al terreno Mixteca de Campa-Uranga y Coney (1983).

Hacia el norte, el terreno Mixteco está cubierto parcialmente por derrames lávicos de la Faja Volcánica Transmexicana, un arco volcánico continental activo, caracterizado por volcanismo en pulsos desde hace 15 Ma (Ferrari et al., 2000) producido debido a la subducción de dos placas: Cocos y Rivera, ambas remanentes de la extinta Placa Farallón bajo la estructura continental del sur de México.

- **Basamento.**

**Complejo Acatlán.**

El Complejo Acatlán está ubicado en la provincia morfotectónica de la Sierra Madre del Sur. Se extiende por más de 200 Km al oeste del Complejo Oaxaqueño (Ortega-Gutiérrez, 1981). Fue definido con base en un reconocimiento geológico de las rocas cristalinas expuestas en la Mixteca de los estados de Puebla y noroeste de Oaxaca (Ortega-Gutiérrez, 1978), y constituye la unidad litoestratigráfica más antigua del terreno Mixteco. Este complejo del Paleozoico ha sido subdividido litoestratigráficamente en el Subgrupo Petlancingo (Acatlán inferior), sobreyacido por el Subgrupo Acateco (Acatlán superior), y por la Formación Tecomate (devónica) que cubre en discordancia a los 2 subgrupos (Ortega-Gutiérrez, et al., 1999). El Subgrupo Petlancingo está compuesto por tres unidades: La Migmatita Magdalena en la base, La Formación Chazumba en medio, y la Formación Cosoltepec sobreyaciendo a las anteriores. La Migmatita Magdalena se compone en su porción neosomática (anatectítica) por rocas graníticas a granodioríticas, mientras que el paleosoma (protolito) fue probablemente una sucesión de lutitas calcáreas, areniscas y dolomías.

La Formación Chazumba está definida por esquistos de biotita con alto contenido de cuarzo intercalados con bloques metagabroicos. La Formación Cosoltepec (Ordovícico?) con litología diversa es sin duda la unidad más extensa de todo el Complejo Acatlán (Yañez, et al., 1991) y se constituye por intercalaciones de anfíbolitas y cuarcitas en su parte basal, esquistos de mica y gránate en su porción media, y filitas alternadas con cuarcitas en la porción superior de dicha unidad (Ortega-Gutiérrez, 1981). Los protolitos de las tres unidades probablemente han derivado de fuentes grenvillianas como el Complejo Oaxaqueño (Ruiz y otros, 1990; Yañez y otros, 1991).

Análogamente el Subgrupo Acateco cuya característica principal es el metamorfismo de alta presión, se constituye en su base por la Formación Xayacatlán (Ordovícico) sobreyacida por los Granitoides Esperanza (Ordovícico) (Yañez, et al., 1991). La Formación Xayacatlán litológicamente está bien definida por esquistos de granate y mica blanca, rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas, eclogitizadas y anfíbolitizadas, metabasitas, esquistos pelíticos y metasedimentos y cuarcitas.

Esta unidad ha sido interpretada como una ofiolita desmembrada (Ortega-Gutiérrez, 1981). Los Granitoides Esperanza se componen por metagranitos polideformados con megacristales de feldespato potásico, augengneiss y paquetes extensos de migmatitas, esquistos y milonitas derivados de protolitos tonalíticos a graníticos y en menor cantidad anfibolitas. Los Granitoides Esperanza han sido interpretados como producto de la fusión parcial de la corteza continental causada en el Ordovícico Medio-Silúrico Temprano por la Orogenia Acateca. Las edades modelo  $\epsilon\text{Nd}(0) = -10.0$  y TDM de 1.59 [Ga] apoyan la tesis de una procedencia precámbrica de los Granitoides Esperanza (Ortega-Gutiérrez, et al., 1999).

La Formación Tecomate consiste en metagrauvascas, meta-arcosas, pelitas y semipelitas de débil a medianamente carbonosas, de un miembro conglomerático compuesto por cantos deformados, principalmente graníticos y volcánicos; otro miembro distintivo está compuesto por metacaliza impura con fragmentos de invertebrados fósiles (Ortega-Gutiérrez 1978). La edad de depósito es probablemente Devónico Medio-Tardío, con base en la presencia de fósiles del Cámbrico a pre-Missisípico (cistoides) y en la presencia de clastos de los Granitoides Esperanza del Silúrico-Ordovícico (Yáñez y otros 1991).

## • Cobertura.

### Paleozoico tardío (Misisípico-Pérmico).

La cobertura paleozoica del terreno Mixteco (Fig. 2) ha sido identificada en los sectores siguientes: En el sector norte del terreno Mixteco, el Complejo Acatlán está cubierto discordantemente por una secuencia marina no metamorizada con un rango en edad Misisípico-Pérmico (Vachard et al., 2000) denominada Formación Patlanoaya (Vázquez-Echeverría, 1987) (columna 1 de la figura 2). Los depósitos continentales compuestos por areniscas, limolitas y conglomerado de la región de los Reyes Menzontla pertenecen a la Formación Matzitzi de edad Pérmico-Pensilvánico. Sin embargo el contacto entre la Formación Matzitzi y el Complejo Acatlán no está bien expuesto (Silva-Pineda, 1970; Carillo-Martínez, 1981; Villaseñor y otros, 1987; Weber y otros, 1987 ) (columna 2).

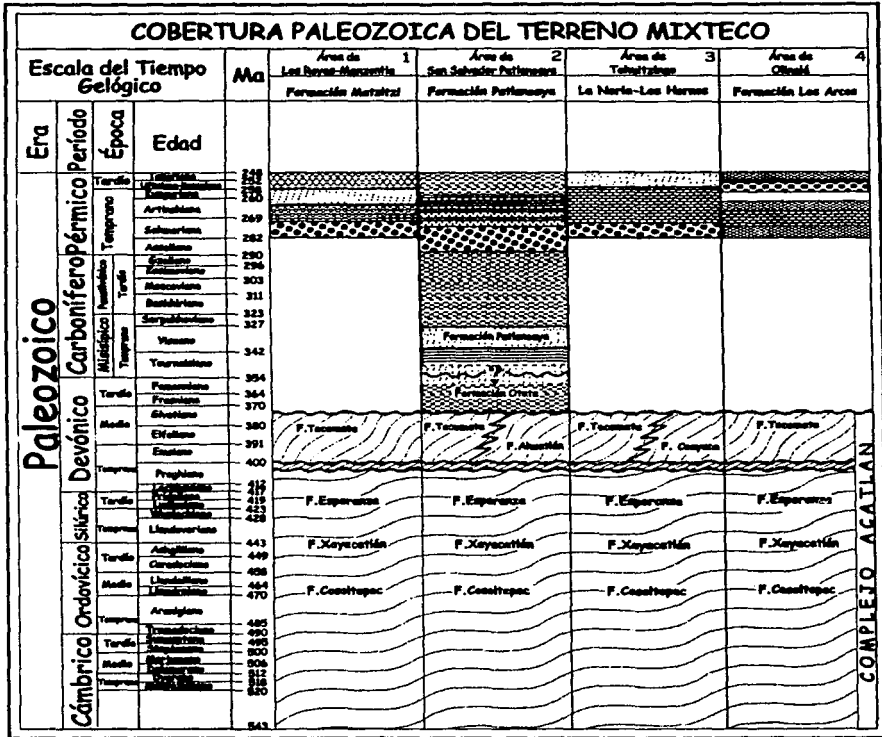


Figura 2. Tabla de correlación estratigráfica de la cobertura paleozoica del terreno Mixteco

La Formación Matzitzi es la unidad más antigua y sin metamorfizar que sobreyace la falla de Caltepec la cual pone en contacto tectónico al terreno Mixteco con el terreno Zapoteco.

Rocas sedimentarias marinas del Pérmico cerca de Olinálá, Guerrero contienen fauna que puede correlacionarse tentativamente con rocas pérmicas del terreno Seri cerca de El Antimonio, Sonora (Corona-Esquivel, 1981) (columna 4). La columna 3 fue descrito como un paquete de rocas sedimentarias con fósiles del Leonardiano (Ramírez-Espinosa, et al., 2000 y Sánchez-Zavala en preparación)

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## Rocas mesozoicas y cenozoicas.

Cuerpos intrusivos en la Migmatita Magdalena y los diques pertenecientes a los intrusivos San Miguel se han asociado a edades que van del Triásico Tardío al Jurásico Medio. Estos últimos se han fechado por el método de Sm-Nd en roca total arrojando  $172 \pm 1$  Ma (Yáñez y otros, 1991).

En general, los depósitos del Mesozoico que cubren en discordancia la cobertura paleozoica del Complejo Acatlán, incluyen las litologías siguientes:

Cerca de Olinalá, ignimbritas triásicas(?) sobreyacen sedimentos del Pérmico al igual que sectores de la unidad más basal del terreno Mixteco (Corona-Esquivel, 1981).

Depósitos del Jurásico (Toarcianos?) incluyen areniscas, lutitas carbonosas y depósitos de carbón (Salvador, 1987). Conglomerados cuarcíticos del Aleniano-Bajociano pertenecientes a la Formación Cualac contienen clastos de la ignimbrita triásica(?) (Corona-Esquivel, 1981).

Rocas clásticas marinas y continentales del Bajociano-Calloviano, intercaladas con carbonatos y lentes carbonosos, contienen fauna correlacionable con la margen Pacífico cerca de los Andes Centrales (Imlay, 1980; Westermann y otros, 1984). Calizas arcillosas del Calloviano-Oxfordiano; rocas clásticas marinas del Kimmeridgiano-Titoniano; carbonatos del Neocomiano y rocas clásticas marinas que contienen fósiles de reptiles con afinidades a rocas de Europa y Sudamérica; capas rojas del Neocomiano-Aptiano; carbonatos de cuenca del Albiano-Maastrichtiano pertenecientes a la plataforma Morelos-Guerrero en el terreno Náhuatl (Ferrusquía-Villafranca, 1976; Salvador, 1987; Ferrusquía-Villafranca y Gómez-Rodríguez, 1988).

A lo largo de la margen suroeste del terreno Mixteco los plutones de Tierra Colorada techados en 60-55 Ma por Rb-Sr en roca total (Morán-Zenteno y otros, 1991) intrusieron calizas Cretácicas del terreno Náhuatl, y se emplazaron a lo largo de la falla de Chacalapa-Tierra Caliente que constituye el límite tectónico con el terreno Chatino. Otras rocas cenozoicas incluyen ignimbritas riolíticas del Oligoceno (?) rocas volcánicas andesíticas, lavas de composición andesítica fechadas en  $29 \pm 1$  Ma por K-Ar en roca total (Yáñez y otros, 1991) y depósitos lacustres del Mioceno-Plioceno(?) (Ferrusquía-Villafranca; Ortega-Gutiérrez y otros, 1990). Rocas volcánicas riolíticas-andesíticas del Eoceno-Mioceno (Morán-Zenteno, et al., 2000)

## Estratigrafía del Área de Estudio

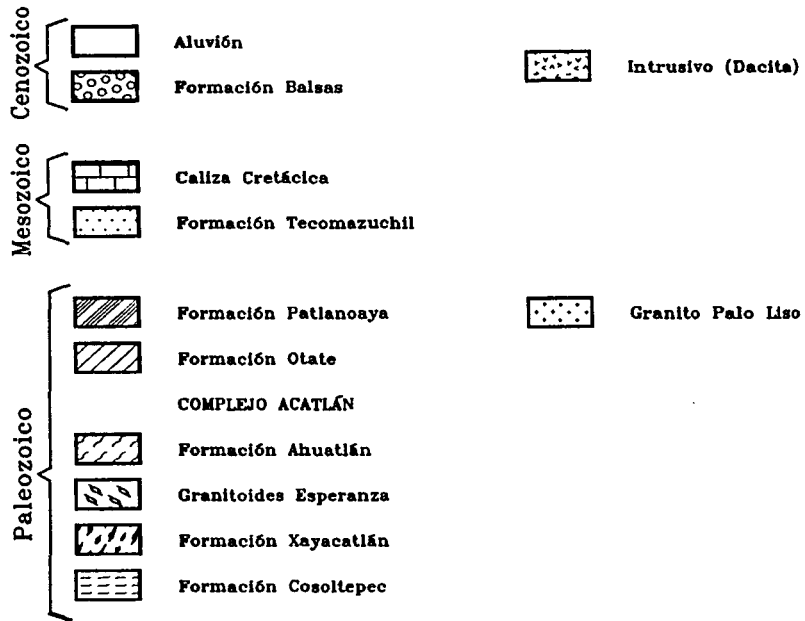


Figura 4. Estratigrafía del área de estudio

## Capítulo II.

# GEOLOGÍA DEL COMPLEJO ACATLÁN.

## 2.1 Estratigrafía

Las unidades litológicas que a continuación se describen conforman las rocas de basamento expuestas en el área de estudio; se analizaron litoestratigráficamente en función de su litología, distribución, relaciones de contacto y edad. La nomenclatura sigue la subdivisión litoestratigráfica de Ortega-Gutiérrez (1978) propuesta para el Complejo Acatlán.

### Formación Cosoltepec.

La Formación Cosoltepec que sobreyace a la Migmatita Magdalena y la Formación Chazumba pertenecientes al Subgrupo Petlancingo, en el área de trabajo representa la unidad litoestratigráfica basal. El área tipo se localiza en el poblado de Cosoltepec, siendo su sección tipo los afloramientos situados a lo largo del camino Cosoltepec-Xoluxtla-Chichihualtepec. Dicha formación con litología diversa, es sin duda la más extensa de todo el Complejo Acatlán (Ortega-Gutiérrez, 1981).

- Litología.

Al noreste del área de estudio la Formación Cosoltepec es sumamente monótona, predominando casi en su totalidad secuencias alternadas y polideformadas de filitas y cuarcitas con abundantes segregaciones de cuarzo blanco metamórfico. Se observan foliación, foliación plegada y replegamiento característicos de esta formación (Foto 1).



Foto 1. Bloque compuesto por cuarcitas y filitas de la Formación Cosoltepec

Sin embargo, en la barranca El Otate, la deformación y el plegamiento se observan menos intensos donde debido a las diferentes características litológicas de la Formación Cosoltepec en el lugar; predominan las filitas en relación a las cuarcitas, siendo este comportamiento constante a lo largo de la barranca El Otate. Las rocas son de color verde claro aunque por intemperismo tiende a tonos amarillo-verdoso.

- **Distribución, estructuras y relaciones de contacto.**

Potentes secuencias filíticas y cuarcíticas polideformadas se pueden distinguir en la porción más occidental del área cartografiada, formando lomeríos suaves como el cerro El Revolcadero al sur de la ranchería Vista Hermosa ( $18^{\circ}32'36.2''$  N y  $98^{\circ}22' 36.8''$  W). El límite oeste está caracterizado por una discordancia donde secuencias sedimentarias cretácicas cubren parcialmente a la Formación Cosoltepec. En las barrancas aledañas al cerro El Revolcadero, descansan discordantemente sobre filitas y cuarcitas que forman pliegues tipo kink y chevron, secuencias metavolcánicas alternadas con metasedimentos pelíticos foliados pero con menor deformación. Esta discordancia representa el contacto entre la unidad más antigua de basamento (Formación Cosoltepec) y la unidad más joven del Complejo Acatlán representada en el área por la formación Ahuatlán. La estructura en la porción central del área de estudio parece indicar un gran pliegue sinforme con implicaciones regionales, cuyo núcleo está definido por las rocas verdes de la formación Ahuatlán y los flancos por rocas de la Formación Cosoltepec (Foto 2), con direcciones de buzamiento de las charnelas de los pliegues hacia el W franco y  $35^{\circ}$  de buzamiento (de modo preferencial y local).

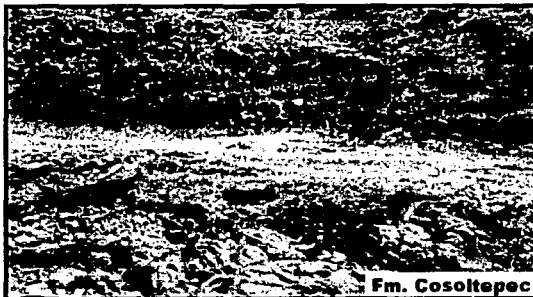


Foto 2. Rocas de la Formación Cosoltepec que afloran en la barranca El Otate.

Entre los cerros El Revolcadero y Piedra Blanca al noroeste del área de estudio ( $18^{\circ}32'37.2''$  N y  $98^{\circ}21'41.5''$ ), se encuentra uno de los contactos mejor expuestos en el área; el contacto es de tipo tectónico y se observa claramente a la Formación Xayacatlán cabalgando a rocas de la Formación Cosoltepec. El comportamiento de esta cabalgadura es complejo debido a que se encuentra sumamente plegada y erosionada, mostrando niveles muy profundos de la estructura original.

En las cercanías del contacto las rocas de la Formación Cosoltepec pierden sus características pasando gradualmente a un esquisto con gran desarrollo de micas. Esta megaestructura representa uno de los eventos más antiguos y característicos que registra el Complejo Acatlán, ya que siempre se observan rocas de la Formación Xayacatlán sobre rocas de la Formación Cosoltepec.

El afloramiento representativo de la Formación Cosoltepec, se localiza al este del poblado Las Minas en la barranca El Otate ( $18^{\circ}31'04''$  N y  $98^{\circ}19'26.9''$  W), donde potentes espesores de secuencias filíticas intercaladas con cuarcitas plegadas isoclinalmente e intrusionadas por diques deformados de composición intermedia afloran a lo largo de esta barranca. En estos afloramientos la Formación Cosoltepec se observa muy homogénea y se aprecia menos deleznable con tonos verdosos que difieren con respecto a los patrones observados en el sector noroeste (Foto 3).



Foto 3. Afloramiento en la barranca El Otate de la Formación Cosoltepec.

Los horizontes filítico-cuarcíticos que presentan localmente nódulos y lentes de metapedernal se inclinan hacia el SE y NE con lineaciones minerales predominantes al  $N65^{\circ}E$  con  $40^{\circ}$  de buzamiento y ejes de pliegues buzantes hacia el E y NE con  $50^{\circ}$  de inclinación.

En la barranca El Oate, la Formación Cosoltepec está limitada al oeste por una falla inversa con rumbo N-S que provocó el cabalgamiento de las filitas y cuarcitas polideformadas sobre granitoides foliados y milonitizados pertenecientes a los Granitoides Esperanza.

Cabe destacar que solo en este sector los granitoides se encuentran estructuralmente debajo de la Formación Cosoltepec, generando así una inversión en la estratigrafía local del área.

Al este de la barranca El Oate, la Formación Cosoltepec entra en contacto un tanto difuso y poco expuesto de tipo discordante ya muy tectonizado, con estratos de una secuencia sedimentaria en posición subvertical ( $60^\circ$  de echado en promedio) inclinados hacia el SE, con un metamorfismo incipiente y prácticamente sin deformación dúctil. Los estratos se componen principalmente de pizarras y areniscas cuarcíticas que presentan diversas estructuras primarias como estratificación, laminación, marcas de carga y de corriente. Esta secuencia sedimentaria puede ser correlacionable muy posiblemente con estratos marinos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya.

Hacia el norte de Las Minas, en la barranca Columpio del Diablo, pizarras, filitas y cuarcitas inclinadas aproximadamente  $50^\circ$  hacia el SE, son puestas en contacto de tipo tectónico con esquistos albitizados ricos en mica blanca y granate, característicos de la Formación Xayacatlán. Al sur, en la barranca El Guayabo ( $18^\circ 30' 30''$  N y  $98^\circ 20' 30''$  W), la Formación Cosoltepec es cubierta discordantemente por un conglomerao polimíctico de color rojizo, poco consolidado y con estratos pobremente definidos, inclinados unos  $30^\circ$  hacia el SE pertenecientes a la Formación Balsas del Terciario.

### Edad.

La Formación Cosoltepec se ha fechado en  $452 \pm 22$  Ma (Ordovícico Tardío) en roca total por el método de Rb-Sr, mediante el estudio de un cuerpo máfico que aflora en la región de Olinála (Ortega-Gutiérrez, comunicación personal)

## Formación Xayacatlán

- **Litología**

Esta unidad litoestratigráfica caracterizada por metamorfismo de alta presión, se compone de esquistos de granate y mica blanca, rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas, eclogitizadas y anfibolitizadas, metabasitas y esquistos pelíticos (Ortega-Gutiérrez, 1978).

En el área de estudio, la Formación Xayacatlán está bien definida por una alternancia foliada y plegada de esquistos pelíticos de mica blanca (fengita y muscovita) y granate, con metabasitas granatíferas, y en algunas partes paragneisses intrusionados por diques sintectónicos de composición intermedia (Foto 4 y 5).

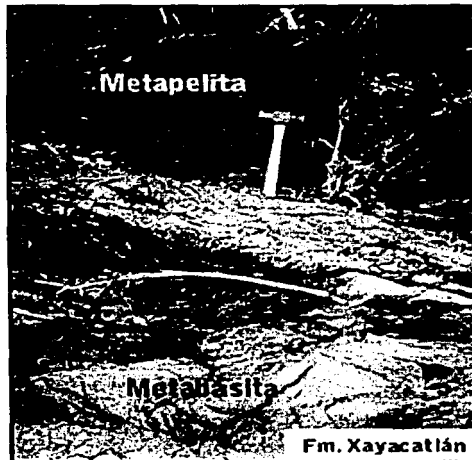


Foto 4. Alternancia plegada de metabasitas y metapelitas de la Formación Xayacatlán.

Al igual que los Granitoides Esperanza, estas rocas han sufrido metamorfismo retrógrado, alta deformación y plegamiento mucho más notorio que los metagranitos debido a su litología más incompetente.



- **Distribución, estructuras y relaciones de contacto.**

Las rocas de la Formación Xayacatlán afloran sistemáticamente a unos 2.5 km aproximadamente al oeste de Las Minas, mostrando una clara alternancia de esquistos pelíticos y metabasitas granatíferas con gran contenido de mica. En la parte occidental de la zona cartografiada (cerro Piedra Blanca), la Formación Xayacatlán cabalga a la Formación Cosoltepec para situarse al mismo nivel estructural debido a un levantamiento pone en contacto tectónico ambas formaciones con litologías y características metamórficas claramente contrastantes; la cabalgadura tiene una orientación preferencial al N25°E y se extiende a niveles regionales que sobrepasan el área de trabajo.

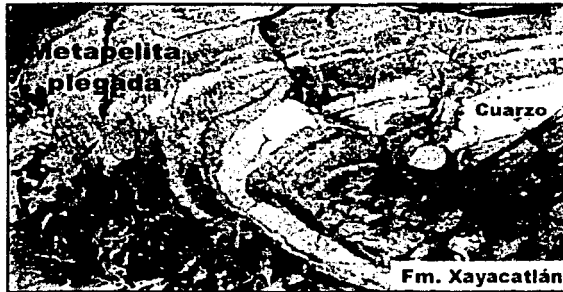


Foto 5. Velas de cuarzo mostrando plegamiento en esquistos pelíticos de la Formación Xayacatlán.

Aproximadamente a 1.5 km al este de dicha falla, esquistos micáceos con pseudomorfos de granate de la Formación Xayacatlán, son cubiertos parcialmente en discordancia por sedimentos conglomeráticos cuarcíticos orientados al N30° W y S20°W, inclinados 40° en promedio (cerro Piedra Blanca con coordenadas 18°32' N y 98°21' W), bien clasificados, con cantos de angulosos a subangulosos que son correlacionables con la Formación Tecamazuchil (Pérez-Ibargüengoitia et al., 1965) del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1978).

Al sureste de la barranca El Oate, se puede apreciar parte del contacto discordante tectonicado, entre unidades del basamento del terreno Mixteco, donde depósitos de la formación Ahuatlán compuesta por metasedimentos pelíticos intercalados con rocas metavolcánicas bien foliados, levemente plegados y con metamorfismo incipiente, descansan sobre las rocas de la Formación Xayacatlán, con variaciones en la orientación de la foliación justo en el contacto discordante de S20°W a S70°W, e inclinaciones de 48° a 52° ( Foto 6).

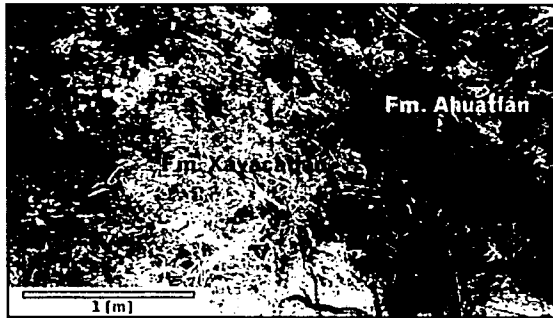


Foto 6. Formación Xayacatlán cubierta en discordancia por esquistos de la Formación Ahuatlán.

Este mismo contacto se extiende hacia el N-NE, con claras variaciones en la foliación de la Formación Xayacatlán, hacia el SE con inclinaciones similares a las mencionadas anteriormente.

En la barranca Columpio del Diablo, justo en las coordenadas 18°32'37" N, y 98°21'23" W, se ve una roca gris oscura metaeclogítica con gran contenido de pseudomorfo de granate y mica blanca, con inclinaciones en la foliación de 32° hacia el S10°E. La metaeclogita está intercalada con una roca albitizada mucho más aluminosa y foliada, lo que hace suponer cambios tajantes en la composición de los protolitos de la Formación Xayacatlán (rocas básicas intercaladas con sedimentos pelíticos). En la porción central del área de estudio en la barranca Columpio del Diablo (18°32'10" N y 98°19'29.5" W) es notable destacar la convergencia de las 4 unidades de basamento involucradas en un área aproximada de 4 Km<sup>2</sup>, donde la Formación Xayacatlán se pone al mismo nivel estructural que la Formación Cosoltepec (en su parte más cuarcítica) debido a una cabalgadura con un rumbo preferencial hacia el NE-SW.

Cercano al contacto tectónico, los afloramientos de la Formación Xayacatlán corresponden a rocas compuestas por partes félsicas y máficas. En algunos afloramientos se observa una relación de intrusión entre la parte aluminosa (cuarzo, feldespatos, mica blanca y granate) y las metabasitas de afinidad eclogítica (Foto 7).

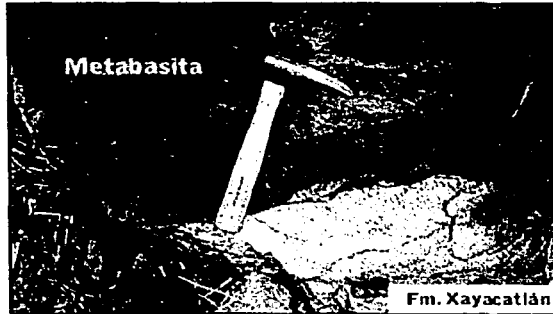


Foto 7. Partes félsicas intrusando partes máficas de la Formación Xayacatlán.

Debido a la deformación y metamorfismo que sufrieron ambas partes, las relaciones macrotecturales hacen pensar que el proceso de eclogitización de la roca fue posterior a la intrusión de la parte granítica, y finalmente ambas partes fueron intensamente deformadas a lo largo de los procesos tectónicos que edificaron al Complejo Acatlán. En algunas zonas donde la deformación se presume fue mayor, los sectores félsicos y máficos constituyen una especie de melange tectónico sumamente plegado. Sobre un arroyo situado en las coordenadas  $18^{\circ}33'24''$  N y  $98^{\circ}16'38''$  W, se aprecia una roca con características litológicas un tanto diferentes a las mostradas por la Formación Xayacatlán anteriormente. La roca con textura porfidoblástica, rica en granate, cuarzo, feldespato, turmalina, grafito y plegada isoclinalmente, se clasificó como un paragneis cuarzo-feldespático rico en granate, formando parte de una secuencia metasedimentaria. La foliación predominante se determinó hacia el  $N55^{\circ}E$  con  $65^{\circ}$  (prácticamente subvertical) y ejes de pliegue con buzamientos entre los  $40^{\circ}$  a  $52^{\circ}$  inclinados hacia el  $N70^{\circ}E$  y  $S55^{\circ}E$ .

Al norte de Las Minas, en los arroyos que corren al oeste de la barranca Columpio del Diablo. La roca paragneísica cambia de modo gradual a los esquistos pelíticos típicos de mica y granate que entran en un contacto no muy claro, pero ya muy tectonizado, con los Granitoides Esperanza.

Hacia la parte más oriental, rumbo a la ranchería La Sábila, al norte de la barranca El Mango ( $18^{\circ}32'24''$  N y  $98^{\circ}18'22''$  W) metapelitas y metabasitas prácticamente "mezcladas" entre sí son cubiertas discordantemente por sedimentos terrígenos de grano fino bien estratificados de carácter limolítico, pizarroso y arenoso, posiblemente correlacionables con los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya. Dichos estratos subverticales y orientados al SE, se observan silicificados, fracturados y cortados por múltiples vetillas de cuarzo producto de la intrusión del granito Palo Liso que se describe adelante.

En Rancho La Sábila, sobre el arroyo, afloran potentes secuencias de metapelitas con una mayor abundancia relativa sobre las metabasitas que se encuentran generalmente en las zonas estructuralmente inferiores. Las rocas fuertemente plegadas y con gran contenido de mica blanca, albita metamórfica y granate, tienen direcciones de foliación hacia el  $SE20^{\circ}$ ,  $SE10^{\circ}$  y sur franco, con inclinaciones variables de  $20^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ . Asimismo, las direcciones de charnela en los pliegues muestran direcciones de buzamiento al  $S80^{\circ}E$  y  $S55^{\circ}W$  con inclinaciones de  $43^{\circ}$  en promedio (Foto 8).

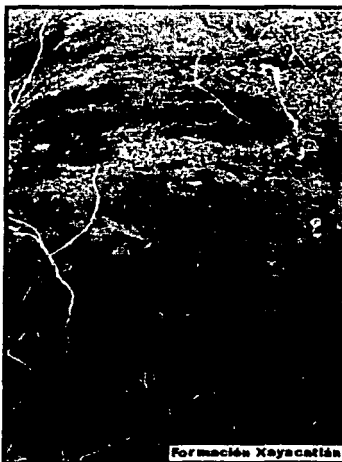


Foto 8. Foliación plegada de la Formación Xayacatlán.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La Formación Xayacatlán continua hasta la parte más oriental de la zona de trabajo, donde es cubierta en discordancia por la formación Ahuatlán cerca de la barranca El Anacahuite ( $18^{\circ}33'22.0''$  N y  $98^{\circ}15'45.8''$  W). En esta parte se compone de potentes secuencias de esquistos verdes intercalados con estratos de metasedimentos pelíticos totalmente concordantes a una foliación, inclinada  $20^{\circ}$  al noroeste.

- **Edad.**

Estudios de isótopos de Sm-Nd obtenidos en granates por el método de roca total en muestras recolectadas de eclogitas pertenecientes a la Formación Xayacatlán, han arrojado una edad metamórfica de  $388 \pm 44$  Ma Devónico Medio (Yañez et al., 1991).

### **Granitoides Esperanza.**

Esta unidad posiblemente preserve los mejores rasgos de edad, metamorfismo, elementos estructurales y eventos orogénicos que han edificado al Complejo Acatlán (Ortega et al., 1999).

- **Litología.**

En la zona de estudio, los Granitoides Esperanza se encuentran representados en su gran mayoría por una roca compacta de color parda clara con tonos rosas compuesta por un metagranito con megacrystales de ortoclasa, albita metamórfica, mica blanca, granate, clorita, poca turmalina y escaso rutilo. Los megacrystales de feldespato alcalino se pueden distinguir elongados y fuertemente deformados producto de la alta deformación en condiciones dúctiles a la que estuvieron sometidas estas rocas a lo largo de su compleja historia geológica; debido a esto, los cristales de ortoclasa presentan buenos indicadores cinemáticos sigmas y deltas cuya vergencia tentativa es con "cima hacia el oeste" (Foto 9).

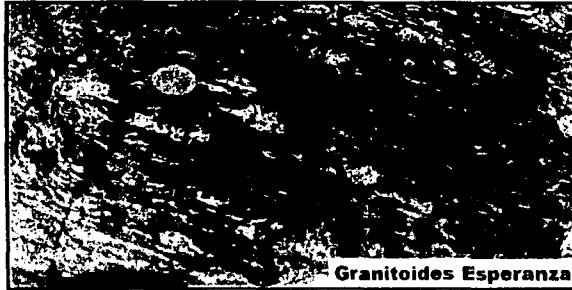


Foto 9. Megacristales de feldespato alcalino con indicadores cinemáticos cuya vergencia tentativa es con "cima al oeste".

- **Distribución, estructuras y relaciones de contacto.**

Los Granitoides Esperanza representan la unidad de basamento con la distribución geográfica más reducida en el área de estudio. El metagranito que representa a esta unidad afloran en el poblado de San Miguel Las Minas, así como en el arroyo que va de dicho poblado a San Salvador Patlanoaya, y esta fuertemente deformado. La lineación mineral indica orientaciones hacia el NE40°, NE30° y este franco con inclinaciones variables entre los 26° y 30° con respecto a la horizontal. La foliación muestra variaciones en las direcciones de echado entre NE30° y NE50°, con una inclinación de 30° en promedio.

El límite este de los granitoides está definido por una cabalgadura postmetamórfica con rumbo predominante N-S, que pone en contacto tectónico filitas y cuarcitas polideformadas de la Formación Cosoltepec cabalgada sobre el metagranito. Al oeste (sobre la terracería a la entrada de Las Minas), se observa un contacto de tipo discordante tectonizado, donde rocas metavolcánicas intercaladas con metasedimentos de la formación: Ahuatlán cubren discordantemente a los Granitoides Esperanza. En este mismo lugar, un intrusivo de textura porfídica, de composición dacítica y de geometría dómica del Terciario (ver capítulo V) corta todas las secuencias de basamento y cobertura del área, incluyendo los Granitoides Esperanza.

Al norte de los granitoides, una cabalgadura con rumbo predominante NE-SW, los pone en contacto con esquistos pelíticos de granate y mica blanca, muy deformados y plegados pertenecientes a la Formación Xayacatlán. Pese a que estas dos unidades son correlacionables en edad Ordovícico Medio–Silúrico Temprano (Ortega-Gutiérrez et al., 1999), la Formación Xayacatlán se encuentra estructuralmente más abajo que los Granitoides Esperanza. En la parte sur del área los Granitoides Esperanza son cubiertos en forma discordante por los lechos rojos terciarios de la Formación Balsas.

- Edad.

Con análisis isotópicos por el método de U-Pb en zircones de los Granitoides Esperanza, se modeló una isócrona, donde la intersección inferior indica edades de 440 +/- 14 Ma y la intersección superior indica edades de 1161 +/- 30 Ma (Ortega-Gutiérrez et al., 1999).

La edad de 440 +/- 14 Ma se ha interpretado como la edad magmática de la roca, mientras que la edad de 1161 +/- 30 Ma corresponde a edades heredadas y se ha relacionado con zircones grenvillianos (ca. 1000 Ma) heredados. Las relaciones isotópicas de Sm-Nd y edades modelo ( $\epsilon_{Nd}(0) = -10.0$  y TDM de 1.59 Ga) (Yañez, et al., 1991) apoyan la tesis de componentes precámbricos en los Granitoides Esperanza y se han interpretado como los productos de fusión parcial de corteza continental en el Ordovícico Medio–Silúrico Temprano durante la Orogenia Acateca (Ortega-Gutiérrez et al., 1999).

### Formación Ahuatlán. (unidad informal, se introduce en este trabajo)

Con este nombre se designó por vez primera a la unidad que representa la secuencia del Complejo Acatlán más joven del área involucrada.

- **Litología**

El paquete litoestratigráfico está constituido principalmente por rocas verdes metavolcánicas intercaladas en menor medida con metasedimentos pelíticos. Las rocas están foliadas, fuertemente plegadas y con metamorfismo en facies de esquistos verde (Foto 10). En algunas partes los depósitos metatobáceos poseen relictos de una textura piroclástica con bandeamientos composicionales; las bandas oscuras indican mayor concentración de material metavolcánico (cenizas primordialmente), sobre las bandas claras, que pudieron representar concentraciones más pelíticas correspondientes a intercalaciones de horizontes sedimentarios.



Foto 10. Secuencia volcanosedimentaria de la formación Ahuatlán.



- **Distribución, estructuras y relaciones de contacto.**

Donde mejor se puede apreciar la secuencia metavolcanosedimentaria, es en el arroyo que corre a lo largo de la barranca Anacahuite (18°32'35" N y 98°16'14" W), ubicada al SW de San Andrés Ahuatlán. En esta barranca afloran potentes espesores de esquistos verdes foliados y con plegamiento isoclinal intercalados en menor medida con horizontes color pardo concordantes con metasedimentos pelíticos. Litológicamente la secuencia se observa muy homogénea, pero estructuralmente sufre cambios notorios en el rumbo de la foliación hacia el NE, SE y SW, con inclinaciones promedio de 30° y lineaciones paralelas en los planos de foliación (Foto 11).



Foto 11. Foliación plegada en esquistos verdes de la formación Ahuatlán.

En algunos afloramientos se observan cuerpos tabulares verdosos correspondientes a mantos deformados de composición gabrónica, que intrusionan estratos metasedimentarios de forma concordante y paralela a la foliación. Las fases minerales de los volcanosedimentos en este sector están definidas por clorita, epidota, zoisita y plagioclasa sódica, todas ellas en facies de esquistos verde. En la barranca Anacahuite la formación Ahuatlán se encuentra cubierta al sur por un contacto deposicional, donde estratos subverticales de limolitas y areniscas pertenecientes a la Formación Patlanoaya, inclinados al S20°E, con 20° de echado sobre los esquistos de la formación Ahuatlán.

En este mismo sector la formación Ahuatlán es intrusionada parcialmente por el granito Palo Liso. Su límite occidental está representado por una discordancia paleozoica, donde esquistos verdes sobreyacen angularmente a rocas pelíticas muy albitizadas e intercaladas con metabasitas granatíferas de la Formación Xayacatlán, con una inclinación preferencial de 55° al SE.

Otro afloramiento representativo de la formación Ahuatlán se localiza al oeste de Las Minas, donde depósitos metavolcánicos en su gran mayoría intemperizados, foliados y con un plegamiento más notorio cubren discordantemente parte de los Granitoides Esperanza foliados, deformados y milonitizados (límite oriental). Dicho contacto puede observarse sobre la terracería justo en la entrada del poblado. En este mismo lugar, un domo terciario de composición dacítica intrusiona parcialmente ambas unidades metamórficas basales.

En este sector, las rocas metavolcánicas se encuentran foliadas predominantemente al N45°W con 18° de echado, y ejes de pliegues inclinados al SE y SW con 30° de buzamiento en promedio.

El sector occidental del afloramiento está caracterizado por el contacto discordante entre la formación Ahuatlán sobreyaciendo potentes secuencias de metaeclogitas en la base, alternadas con esquistos albitizados de mica blanca y granate fuertemente plegados y deformados en la cima; estas rocas pertenecen a la Formación Xayacatlán.

Dicho contacto puede apreciarse a lo largo de la terracería que cruza sobre las faldas del cerro El Pastor y el cerro La Cuchilla (18°32'03" N y 98°20'41" W); ambos lomeríos se componen principalmente por rocas verdes interestratificadas con metasedimentos foliados y con metamorfismo incipiente. En esta zona los metasedimentos abundan más que las rocas metavolcánicas; se distinguen metareniscas inclinadas 30° aproximadamente al SE y SW, muy alteradas (incluso con desarrollo edáfico), incipientemente foliadas y con alto contenido arcilloso debido al intemperismo.

La discordancia entre rocas de la Formación Xayacatlán con la formación Ahuatlán caracterizada por ser la secuencia metamórfica más joven del Complejo Acatlán (correlacionable con la Formación Tecomate), se extiende sistemáticamente hacia el norte hasta la parte sur de la barranca Columpio del Diablo, delimitando así gran parte de la secuencia metavolcanosedimentaria.

Al oeste del cerro El Pastor, la formación Ahuatlán es cubierta en discordancia angular por secuencias sedimentarias del Mesozoico que forman el cerro Piedra Blanca y los estratos se encuentran inclinados 35° al SW y NW. En el sector meridional del área de estudio las rocas verdes metavolcánicas son intrusionadas parcialmente por diversos cuerpos dacíticos terciarios y cubiertos en discordancia por la Formación Balsas y un conglomerado rojo del Cenozoico poco consolidado.

- **Edad**

La formación Ahuatlán no ha sido fechada por métodos isotópicos, pero su relación de contacto discordante sobre los Granitoides Esperanza de edad Ordovícico-Silúrico en el poblado de Las Minas, así como su correlación estratigráfica con los miembros volcánicos de la Formación Tecomate que ha sido fechada por fósiles encontrados en metacalizas (cistoides) (que no fueron resolutivos) y en la presencia de clastos de los Granitoides Esperanza (Yáñez y otros, 1991), permiten asignar una edad tentativa del Devónico Medio-Tardío para las rocas de la formación Ahuatlán.

## 2.2 Petrografía.

### Formación Cosoltepec.

Al microscopio en sección delgada sus minerales más importantes identificados son cuarzo, clorita, plagioclasa, y epidota, y como accesorios calcita, y mica blanca. La mayoría del cuarzo en la roca presenta extinción ondulante, debido a su origen metamórfico o a una deformación intensa. Las asociaciones minerales observadas muestran una paragénesis estable de mica blanca, clorita, cuarzo (Lámina AC10-0301).

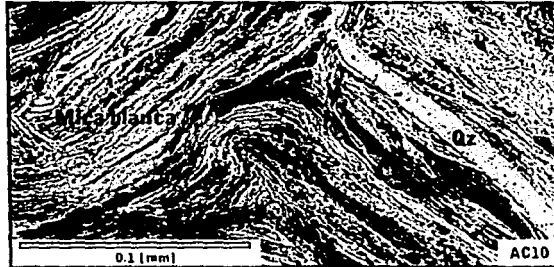


Foto 12. Qz: Cuarzo. Se observa micropliegue definido por los plano de foliación.

Las relaciones texturales de sus minerales principalmente clorita y mica blanca definen una textura lepidoblástica. La mica blanca es mas abundante en porcentaje y tamaño de cristales (0.2- 0.3mm) con relación a los cristales de clorita (< a 0.2mm). Al nivel de lámina delgada puede observarse en algunos sectores creanulación y micropliegues (Lámina AC10-0301) definidos por el crecimiento de cristales a lo largo de los planos de foliación, posteriormente plegados (Foto12). Los cristales de clorita y mica blanca están alineados en la dirección de la foliación, el comportamiento de la foliación a escala microscópica presenta variaciones debido a la deformación plástica.

Se observaron en lámina delgada sectores con "anisotropía mecánica" (lámina AC05-0101) es decir, texturas semejantes a "boudinage". Estas texturas se deben a la diferencia en el comportamiento plástico de los protólitos ante la deformación (Foto 13).



Foto 13. Ms:mica blanca; Cl:clorita; Qz:cuarzo; Ap:apatito.

### Formación Xayacatlán.

Al microscopio sus minerales más importantes identificados son mica blanca (fengita o muscovita), clorita, cuarzo, granate, albita metamórfica, rutilo y turmalina en menor proporción. El cuarzo presenta extinción ondulante, las asociaciones minerales observadas muestran en equilibrio las fases minerales clorita, mica blanca y albita; el granate se observa como una fase inestable ya que esta casi totalmente reemplazado por clorita, cuarzo y hematita quedando en algunas ocasiones solo huecos rellenos por hematita (Foto 14). La paragénesis que se observa es producto de un metamorfismo retrógrado de la paragénesis original en facies de eclogita.

Los cristales de muscovita son más abundantes tienen un tamaño  $>0.5\text{mm}$ , y los cristales de clorita son menos abundantes y tienen un tamaño de  $0.1-0.2\text{mm}$ ; estos minerales se encuentran orientados en la dirección de la foliación, observándose en esta dirección inclusiones de pequeños cristales de rutilo.



Foto 14. Qz:cuarzo; Ms:mica blanca; Hem:hematita.

Los cristales de granate reemplazados por clorita, mica blanca y hematita, se observan como pórfidoblastos con sombras de reemplazamiento, el reemplazamiento del granate lo define como una fase mineral anterior a las fases que definen la foliación, siendo en este caso el granate de origen pre-tectónico. Las relaciones texturales observadas definen una textura porfidocástica. Al nivel de lámina delgada, se observa plegamiento de los planos de foliación.

### Granitoides Esperanza.

En lámina delgada sus minerales más importantes identificados son cuarzo, clorita, mica blanca, granate, hematita, turmalina, circón y apatito. Las asociaciones minerales observadas muestran un paragénesis estable clorita, mica blanca y cuarzo metamórfico, siendo reemplazado el granate por clorita solo de manera parcial en algunos de sus bordes. Una diferencia notable que se observa respecto a los esquistos de granate (metaeclogitas) de la Formación Xayacatlán, es el grado de alteración en el granate, teniendo en este caso un menor grado de alteración (Foto 15).

Las texturas metamórficas que se desarrollaron durante su formación se observan de manera clara en lámina delgada (Lámina A2-13). Una de las características metamórficas más sobresalientes, son los pórfidoblastos de granate formados durante el metamorfismo; la rotación que se observa en los cristales puede ser hasta  $720^\circ$  como mínimo (Foto 15).

La evolución de estas texturas muy desarrolladas implican bastante tiempo de metamorfismo sin una perturbación en las condiciones de presión temperatura y en su cinemática. Estas características evidencian el carácter sintectónico del granate así como el de los Granitoides Esperanza.

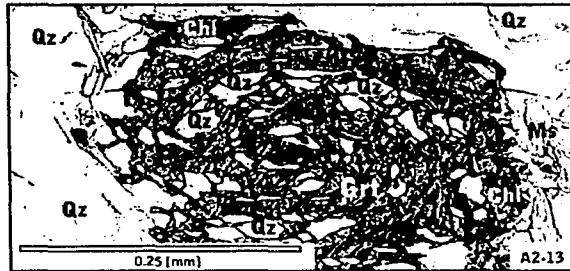


Foto 15. Granate sintectónico (helicitico) de la Formación Esperanza.

El intercrecimiento de los cristales de mica blanca y clorita definen claramente la foliación en las rocas con texturas pórfidoblasticas (Lámina A2-13).

En lámina delgada los metagranitos están compuestos principalmente por cuarzo, plagioclasa y escasa muscovita, el tamaño de grano es muy variable, ya que los cristales de cuarzo y plagioclasa van de 0.1mm a >0.5mm. En algunos sectores de la lámina delgada (Lámina AC13-0301) se observan contactos equigranulares (relictos del protolito), en general la textura de los metagranitos es blastomilonítica de grano medio. El crecimiento de mica blanca es mínimo preferencialmente en dirección de la foliación; la orientación y el estiramiento de los cristales de cuarzo y plagioclasa definen planos de foliación.

## Formación Ahuatlán.

En lámina delgada sus minerales más importantes identificados son cuarzo, clorita, epidota, cloritoide, zoisita, actinolita, albita, y en menor proporción, titanita y calcita producto de reemplazamientos tardíos. Las asociaciones minerales observadas muestran una paragénesis estable de clorita, zoisita, epidota/zoisita y cuarzo (Lámina AC9-03019) esta paragénesis es típica de la facies de esquistos verde (foto16).



Foto 16. Muestra una paragénesis estable en facies de esquistos verde

Se observó un mayor porcentaje y tamaño de grano en los cristales de clorita 0.1- 0.3mm; la mica blanca es muy escasa y los cristales de zoisita y epidota/zoisita son de tamaño < 0.1mm. El crecimiento de clorita y mica blanca definen claramente la foliación; las relaciones texturales de sus minerales definen una textura lepidoblástica de grano fino

Los contactos entre los minerales están prácticamente inalterados, y en algunas ocasiones se observan cristales idiomórficos. Una característica notable es que algunos cristales presentan un núcleo de epidota rodeado por clinozoisita (Foto 17). Este zoneamiento evidencia cambios en las condiciones de oxidación durante la cristalización.



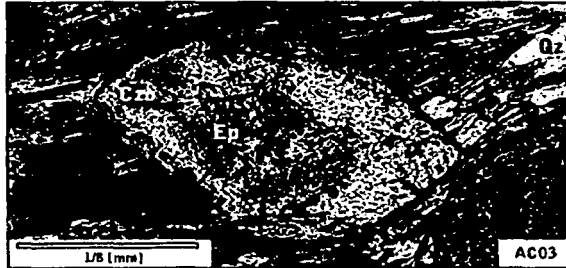


Foto 17. Ep: Epidota; Czo: Clinozoisita; Qz: cuarzo.

En lámina delgada no se observó una deformación muy intensa, y solo en algunos sectores se observó cierto plegamiento en la foliación.

## 2.3 Metamorfismo.

### *Acatlán Inferior*

#### Formación Cosoltepec

Las rocas de la Formación Cosoltepec se caracterizan por una foliación penetrante y pliegues isoclinales subhorizontales; al nivel de afloramiento los rasgos de deformación son más sobresalientes que sus texturas metamórficas; entre las más distinguibles el gran contenido de segregaciones de cuarzo metamórfico, foliación y su color verde características típicas de metamorfismo regional.

La asociación mineralógica que se observa a escala microscópica muestra la evolución de la cristalización metamórfica (Figura 5), sus principales minerales son clorita, mica blanca, cuarzo metamórfico, apatito, circón, hematita y calcita de reemplazamiento tardío, asociación mineralógica cuyas relaciones texturales definen la foliación. Las paragénesis metamórficas reconocidas en lámina delgada y que claramente definen la foliación son las siguientes:

Clorita+mica blanca+cuarzo±hematita

Clorita+mica blanca+cuarzo±calcita

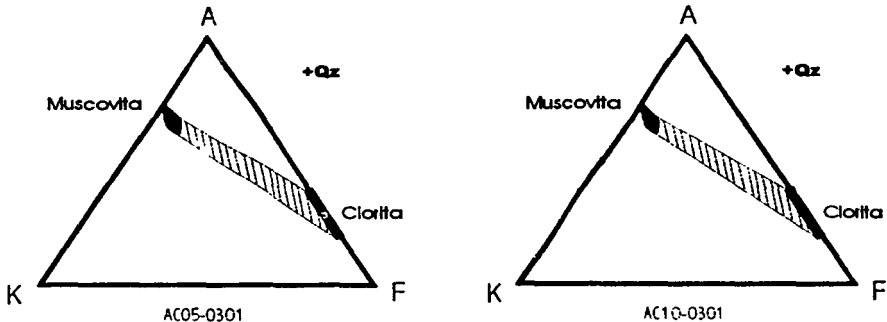


Figura 5. Diagramas quemográficos que muestran la paragénesis estable clorita+mica blanca+cuarzo en facies de esquistos verde (zona de clorita) para las rocas de la Formación Cosoltepec.

En términos de metamorfismo, ninguna de estas asociaciones es diagnóstica de una zona o facies en particular, ya que ocurren en un amplio rango de presión y temperatura, desde la facies de prehnita-pumpellita o metamorfismo de muy bajo grado (Frey, 1987) hasta la parte baja de la facies de esquistos verde; sin embargo, puede tratarse de acotarse las condiciones de presión y temperatura a la que fueron sometidas estas rocas. La ausencia de prehnita, pumpellita o lawsonita en sus rocas verdes intercaladas descarta la posibilidad de un metamorfismo de muy bajo grado y alta presión respectivamente, por otra parte es difícil pensar que dicha roca haya excedido los 300°C, ya que a esta temperatura se formaría cloritoide o biotita (Winkler, 1976) que no se aprecian en la Formación Cosoltepec (para el área de estudio), concluyendo que los rangos de presión y temperatura para estas rocas oscilan entre los 3-4 Kb y 250-300°C, respectivamente. La paragénesis mineral en estas rocas corresponden a la facies de esquistos verde (zona de clorita) y se formaron durante un metamorfismo prógrado. La paragénesis mineral y las características litológicas de la Formación Cosoltepec, sugieren protolitos sedimentarios silíceo-aluminosos depositados en un ambiente marino profundo, posiblemente areniscas y lutitas con bandas de pedernal.

### Formación Xayacatlán

Las rocas de la Formación Xayacatlán presentan una gran variedad de características metamórficas en sus afloramientos. Esta variedad se debe a los diferentes tipos de roca y metamorfismo. A pesar de estar afectada por diferentes tipos de deformación es posible reconocer al nivel de afloramiento texturas metamórficas como planos de foliación plegados, crecimiento de fenoblastos en los planos de foliación y deformación dúctil en grandes volúmenes de roca; estas características son evidencia de un metamorfismo polifásico.

Las asociaciones mineralógicas que se observan a escala microscópica muestran diferentes estadios metamórficos, evidenciando para la Formación Xayacatlán cuando menos 2 eventos de metamorfismo; el primero de ellos, un evento metamórfico de tipo prógrado que transformó un grueso paquete de rocas básicas y pelíticas a facies de eclogita. Posteriormente, un segundo evento metamórfico de tipo retrógrado formó paragénesis minerales en facies de esquistos verde (zona de granate).

La paragénesis típica de las rocas en facies de eclogita es onfacita + granate + rutilo  $\pm$  zoisita-fengita-anfibola, aunque en el área de estudio no se observe esta asociación mineral (Figura 6) es común observarlo en otras partes del Complejo Acatlán. La onfacita es un clinopiroxeno de color verde-hierba compuesto por moléculas de jadeita, diopsida, acmita y hedenbergita, el granate de las eclogitas es por lo general de color rojo o rojo marrón y está compuesto por una solución sólida de los componentes piropo, almandino y grosularia principalmente (Winkler, 1976).

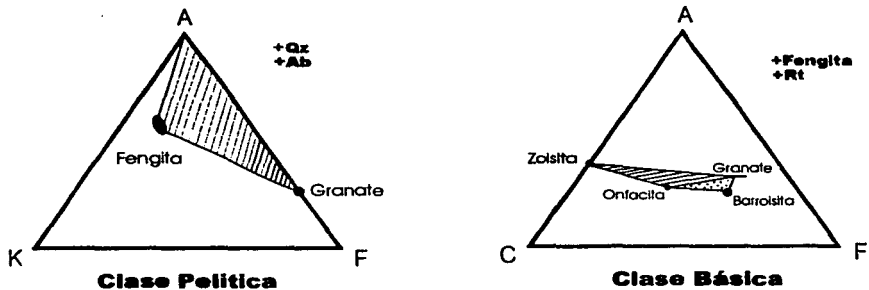


Figura 6. Diagramas quemográficos AKF y ACF de la facies de eclogita para las rocas de la Formación Xayacatlán.

Cabe mencionar que de acuerdo con análisis hechos en otros cuerpos eclogíticos y considerando la clasificación de Coleman et al, (1965), las eclogitas del Complejo Acatlán, corresponden a eclogitas tipo B que pueden contener hornblenda primaria y zoisita (Binns, 1967), siendo la primera un anfíbol rico en Al y Na llamado barroisita. Los granates contienen 12-17 % mol de piropo (Ortega-Gutiérrez, comunicación personal)

Los picos de temperatura y presión mínimos para formar dichas rocas debió ser del orden de 550 °C y entre 11 y 12 Kb, lo que implica profundidades de 40-50 Km (Ortega-Gutiérrez et al., 1981b). Por las paragénesis observadas en lámina delgada se determinó que las rocas de la Formación Xayacatlán fueron sometidas a un primer estadio metamórfico de tipo prógrado bajo las condiciones de presión y temperatura antes señaladas; dicho evento metamórfico está sustentado por las evidencias químicas y mineralógicas registradas en las fases minerales que se observan.

Las paragénesis minerales observadas en lámina delgada son las siguientes:

Clorita+mica blanca+albita ±hematita

Clorita+mica blanca+albita+epidota

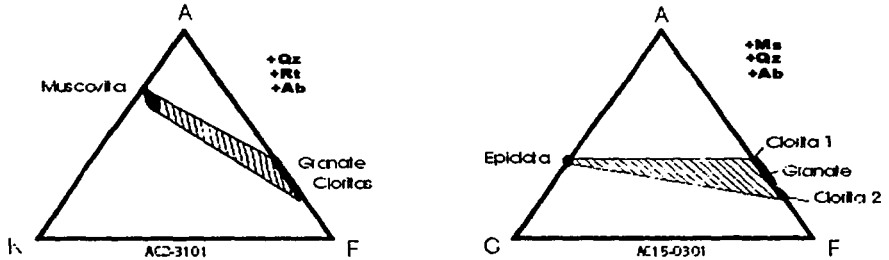


Figura 7. Diagramas quemográficos que muestran la paragénesis mineral retrógrada en facies de esquistos verdes para las rocas de la Formación Xayacatlán.

Un segundo evento metamórfico de tipo retrógrado provocó que el clinopiroxeno liberara grandes cantidades de sodio y aluminio para la formación de mica blanca y albita, así como el reemplazamiento casi total de granate por clorita, cuarzo y hematita.

De acuerdo con las paragénesis observadas, los protolitos fueron rocas máficas de diferente constitución como pillow-lavas, flujos de lava y gabros intercalados en menor proporción con sedimentos peraluminosos.

### Granitoides Esperanza

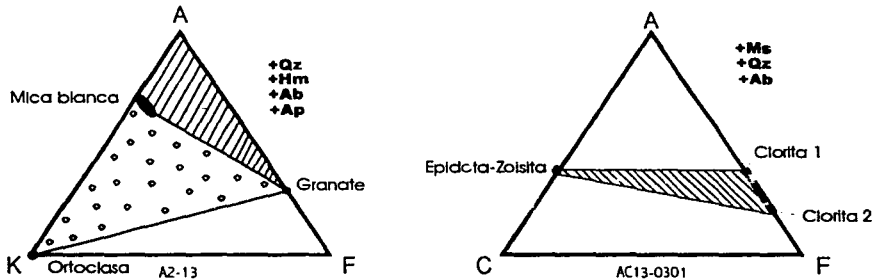
Las características metamórficas y estructurales de los Granitoides Esperanza resaltan al nivel de afloramiento, siendo la deformación en condiciones dúctiles una de las principales. Esta deformación y la naturaleza de sus protolitos permitieron el desarrollo de minerales metamórficos que registraron fielmente su evolución metamórfica, así como el carácter sintectónico de estas rocas.

Las asociaciones mineralógicas que se observan a escala microscópica muestran la evolución de la cristalización metamórfica (Figura 7), siendo sus principales minerales: granate, mica blanca, albita, epidota, ortoclasa, apatito y escaso rutilo. En algunas rocas estas asociaciones mineralógicas muestran una paragénesis estable que define la foliación, específicamente en las rocas peraluminosas. Las paragénesis minerales reconocidas en lámina delgada son las siguientes:

Para el metamorfismo retrógrado:

Clorita+mica blanca+albita

Epidota/zoisita +mica blanca+albita



Figuras 8. En los diagramas quemográficos de la lámina A2-13 y lámina AC13-0301 se observan las paragénesis estables de los Granitoides Esperanza.

Las paragénesis minerales observadas evidencian al menos dos eventos metamórficos; uno progrado, que sugiere condiciones de alta presión y uno retrógrado (facies de esquistos verde). Sus características mineralógicas sugieren una correlación metamórfica en co-evolución con la Formación Xayacatlán. Sin embargo, sus protolitos corresponden principalmente a rocas originalmente intrusivas que van desde rocas tonalíticas hasta rocas graníticas y en menor proporción rocas pelíticas.

*Acatlán Superior***Formación Ahuatlán.**

La formación Ahuatlán presenta diferentes características metamórficas con respecto a las demás unidades de basamento. Al nivel de afloramiento, la característica más sobresaliente es su foliación que presenta un fuerte plegamiento, que permite algunas veces aún reconocer rasgos primarios de estratificación, así como distinguir texturas relictas del protolito.

Las asociaciones mineralógicas que se observan a escala microscópica están compuestas por clorita, zoisita, clinozoisita, epidota, mica blanca, actinolita y cuarzo. Las paragénesis reconocidas en lámina delgada son las siguientes:

Clorita+zoisita+epidota+mica blanca

Clorita+clinozoisita+epidota+mica blanca

Clorita+epidota+actinolita+mica blanca

Clorita+zoisita+albita+mica blanca

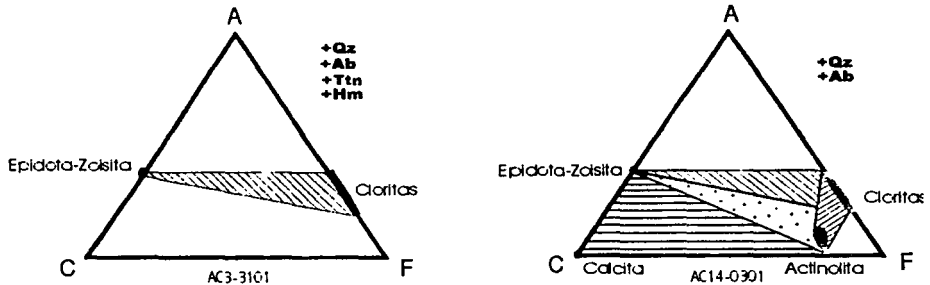
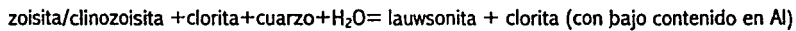


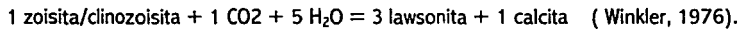
Figura 9. Diagramas quemográficos que muestra la paragénesis estable en facies de esquistos verde para rocas máficas de la formación Ahuatlán.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estas asociaciones minerales son estables en amplios rangos de presión y temperatura; sin embargo, la asociación típica zona de albíta + actinolita + clorita + zoisita/clinozoisita (epidota) está restringida a temperaturas entre los 200° y los 400°C y presiones mayores a los 3 Kb, ya que a presiones menores la clinozoisita o el componente clinozoisítico, libre de fierro, la epidota se descompone formando nuevos silicatos de Ca-Al, tales como lawsonita o laumontita por medio de la siguiente reacción (Winkler, 1976).



Si existe la presencia de CO<sub>2</sub> en pequeñas cantidades en un fluido rico en agua, la siguiente reacción conduce a la formación de lawsonita a presiones elevadas propias de la facies de esquisto azul.



Las paragénesis estudiadas en las láminas AC3-3101 y AC14-0301 descritas en los diagramas quemográficos (Figura 9) muestran la paragénesis típica de la facies de esquisto verde, de grado bajo (zona de la clorita-actinolita-albíta-clinozoisita.)

De acuerdo con las paragénesis identificadas en lámina delgada, el carácter máfico de los protolitos es bastante aceptable. Estos protolitos corresponden a metatobas y lavas de composición básica, con intercalación en menor medida de sedimentos con aporte de material volcánico.



## 2.4 Síntesis estructural del Complejo Acatlán

En este capítulo se pretende hacer un análisis del comportamiento estructural de las unidades del Complejo Acatlán y su cobertura paleozoica involucrada en el área de estudio. Se mencionarán las tendencias estructurales generales y locales de la región, éstas últimas sustentadas por estereogramas de Schmidt, donde se puedan clarificar las orientaciones preferenciales de las estructuras diversas como foliación (formación Ahuatlán), lineación mineral (Granitoides Esperanza), vergencia de ejes de pliegue (Formaciones Cosoltepec y Xayacatlán).

### Características estructurales regionales.

El aspecto estructural del Complejo Acatlán ha sido abordado por diferentes autores entre ellos Fries et al. (1965), Rodríguez-Torres (1970), Ruiz-Castellanos (1979), Ortega-Gutiérrez (1974, 1978b, 1981b, 1990, et al., 1999), este último autor ha identificado por lo menos seis etapas de deformación para el Complejo Acatlán.

### Características estructurales locales en la zona de estudio.

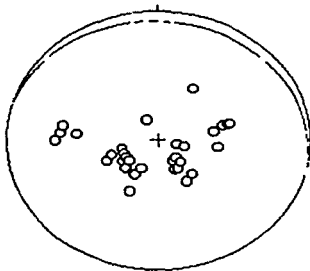
Las estructuras geológicas en el área de estudio están caracterizadas y dominadas por diversos periodos de deformación frágil y dúctil evidenciadas por estratificación foliada, seguida por foliación plegada y replegamientos que se han superpuesto a eventos estructurales anteriores. Análogamente, procesos de deformación frágil han generado fallas múltiples durante el Paleozoico con trenes estructurales hacia el NE20° en promedio. Estas fallas con implicaciones regionales y posiblemente diagnósticas de las etapas orogénicas terminales que han edificado al Complejo Acatlán, están dominadas por cabalgaduras plegadas que ponen en contacto tectónico secuencias de basamento con litologías y características metamórficas contrastantes, que han sufrido procesos petrogénicos muy distintos y hoy se aprecian en contacto tectónico. La vergencia de los pliegues y en general los trenes estructurales hacia el NE-SW que afectaron los patrones de afloramiento de las unidades, sugieren que la zona de estudio está dominada por una gran estructura sinforme formada en el núcleo por rocas verdes de la formación Ahuatlán, y en los flancos por rocas de la Formación Xayacatlán subyacidas por filitas y cuarcitas polideformadas de la Formación Cosoltepec.

### Formación Ahuatlán.

La formación Ahuatlán representa en la zona de estudio el paquete litotectónico del Complejo Acatlán más joven. Estructuralmente está dominado por rocas con una marcada foliación y plegamiento isoclinal.

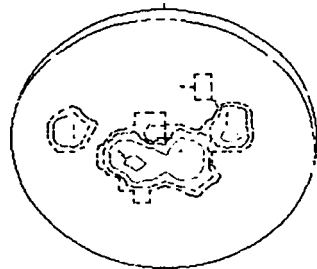
Pese a que la secuencia litológicamente es muy homogénea (metavolcánicos intercalados en menor proporción con metasedimentos pelíticos), estructuralmente sufre cambios notorios en el rumbo de la foliación. Esto se aprecia muy bien al sureste del poblado Ahuatlán, en la Barranca Anacahuite ( $18^{\circ}32'35''$  N y  $98^{\circ}16'14''$  W), donde la dirección de inclinación de la foliación tiene variaciones de  $N10^{\circ}E$  hasta  $N16^{\circ}W$  con  $26^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  de inclinación en promedio. En contraste, al oeste del poblado Las Minas la foliación de las rocas verdes tienen una menor variación en su dirección inclinándose hacia el  $N20^{\circ}W$   $18^{\circ}$  y  $24^{\circ}$  en promedio. Sobreyace discordantemente a los esquistos de mica blanca y granate de la Formación Xayacatlán. Los estereogramas 1 y 2 (Figura 10) muestran la dirección de inclinación preferencial de la foliación para las rocas de la formación Ahuatlán.

#### Polos de los planos de foliación (est. 1)



N=33  
Rumbo y echado preferenciales:  $N67^{\circ}W/16^{\circ}$

#### Conteo estadístico polar (est. 2)



-----	3%	-----	12%
-----	6%	-----	24%

Figura 10. Los estereogramas muestran una dirección preferencial de  $N16^{\circ}E$  con  $19^{\circ}$  de inclinación, para la foliación de la formación Ahuatlán.

Algunos pliegues isoclinales (F1) son concordantes con la foliación (intrafoliales). La dirección de los ejes de pliegue es muy variable y debido a la poca densidad de datos, realizar un estereograma hubiera resultado poco confiable. Los datos más representativos indican direcciones hacia  $320^{\circ}/16^{\circ}$ ,  $310^{\circ}/16^{\circ}$ ,  $200^{\circ}/33^{\circ}$ ,  $145^{\circ}/35^{\circ}$  y  $35^{\circ}/19^{\circ}$ .

Los esquistos verdes de la formación Ahuatlán sobreyacen indistintamente las demás unidades de basamento en un contacto de tipo tectónico. La foliación y el plegamiento de estas rocas metamórficas contrastan notablemente con el intenso plegamiento de las demás unidades de basamento.

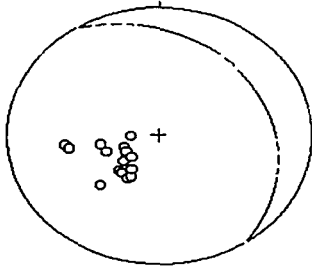
Las relaciones de campo y el comportamiento estructural de dicha unidad permiten reconocerla como el núcleo de una estructura sinforme de orden regional reflejada en la porción occidental del área de estudio (ver mapa geológico).

### **Granitoides Esperanza.**

Los metagranitos y otras rocas que componen esta unidad debido a su carácter intrusivo y litología granítica no desarrollan estructuras plegadas; sin embargo, están foliados, deformados y milonitizados. La deformación dúctil que afectó esta tectonita durante su emplazamiento sinorogénico, provocó la deformación de megacristales de feldespato potásico, desarrollando indicadores cinemáticos sigmas ( $\sigma$ ) y deltas ( $\delta$ ) en los planos cinemáticos. Medidos en un plano que es perpendicular al plano de foliación y paralelo a la lineación mineral, los indicadores cinemáticos tienen una vergencia tentativa de cima hacia el oeste (top-to-the-west).

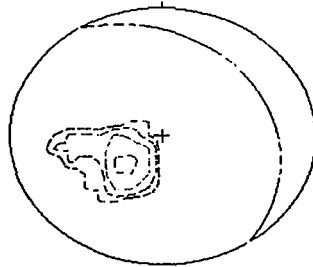
La lineación mineral en esta unidad se puede observar en los cristales de feldespato alcalino y cuarzo con direcciones subparalelas a la dirección de inclinación de la foliación; análogamente, los planos de foliación están definidos por concentraciones de cristales de fengita. Los datos de lineación mineral tomados en campo, indican una dirección de inclinación hacia el  $N64^{\circ}E$  con inclinaciones variables entre los  $26^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ . La foliación muestra variaciones en su dirección de inclinación entre  $NE30^{\circ}$  y  $S50^{\circ}E$ , con una inclinación promedio de  $30^{\circ}$ , lo que hace suponer de modo local, que la dirección de la lineación es similar a la dirección de la foliación.

Polos de los planos de foliación. (est. 3)



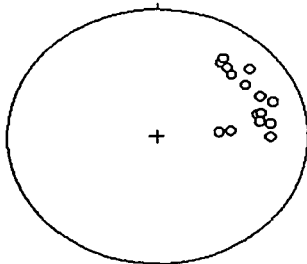
N=15  
 Rumbo y echado preferenciales: N39°W/29°

Conteo estadístico polar (est. 4)



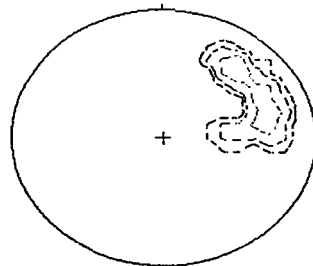
— 6%      - - - 24%  
 — 12%     ····· 48%

Lineación mineral (est. 5)



N=15  
 Dirección preferencial de buzamiento y buzamiento: N64°E/32°

Conteo estadístico lineal (est. 6)



— 6%  
 — 12%  
 - - - 24%

Figura 11. Los estereogramas indican una tendencia similar en la dirección de inclinación de la foliación y lineación mineral para los Granitoides Esperanza.

## Planos de foliación y lineación mineral (est. 7)

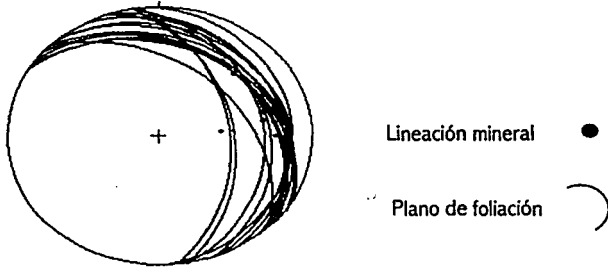


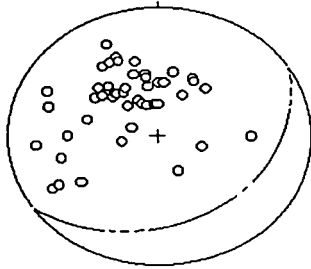
Figura 12. El estereograma muestra los vectores (direccionales) que representan las direcciones de las lineaciones minerales, contenidos en los planos de foliación.

## **Formación Xayacatlán.**

Estructuralmente la Formación Xayacatlán subyace a los Granitoides Esperanza y sobreyace a la Formación Cosoltepec. Los trenes estructurales que controlan la distribución espacial de estas rocas muestran cambios bruscos tanto en los planos de foliación (estereogramas 8 y 9) como en las direcciones de buzamiento de las charnelas contenidas en los pliegues que desarrollan las metapelitas intercaladas con metabasitas (estereogramas 10 y 11). Los contactos tectónicos representados por cabalgaduras tienen un tren estructural en dirección norte-sur, con una ligera desviación de 10° al este y representan contactos tectónicos que ponen en contacto a rocas en facies de eclogita de la Formación Xayacatlán, con rocas de la Formación Cosoltepec en facies de esquistos verde.

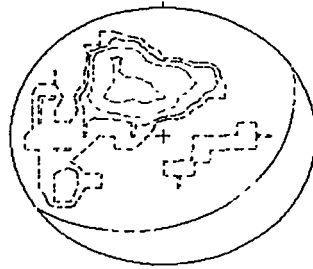
Una de las zonas estructuralmente más complejas en el área de estudio está localizada aproximadamente a 2 Km al norte del poblado Las Minas. En ese sector convergen las cuatro unidades de basamento generando cuñas tectónicas que representan contactos estructurales donde de oriente a poniente la Formación Xayacatlán cabalga filitas y cuarcitas de la Formación Cosoltepec y a su vez ésta cabalga sobre los Granitoides Esperanza. Finalmente, los metagranitos milonitizados cabalgan sobre rocas de la Formación Xayacatlán (ver mapa geológico). Estas cabalgaduras han provocado localmente una inversión estructural en la posición de las unidades litotectónicas del Complejo Acatlán.

**Polos de foliación ( est. 8 )**



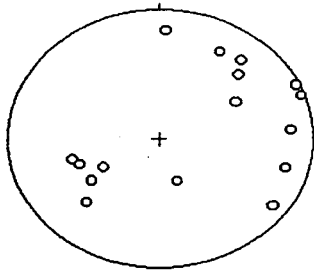
N=48  
 Rumbo y echado preferenciales: N57°E/33°

**Conteo estadístico polar ( est. 9 )**



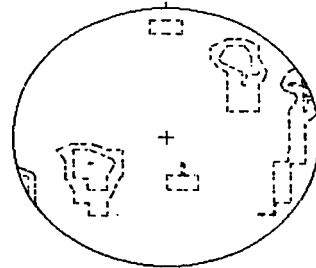
— 2%      ····· 8%  
 - - - 4%      - · - · 16%

**Ejes de pliegue ( est. 10 )**



N=16  
 Dirección de buzamiento y  
 buzamiento: S62W°/2°

**Conteo estadístico lineal ( est. 11 )**



····· 6%  
 - - - 12%  
 - · - · 24%

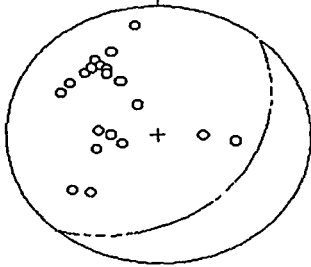
Figura 13. Los estereogramas muestran cambios bruscos tanto en los planos de foliación, como en las direcciones de buzamiento debido a la intensa deformación.

## Formación Cosoltepec.

Litológicamente homogénea, la Formación Cosoltepec se encuentra polideformada, siendo muy difícil reconocer direcciones preferenciales en los trenes estructurales y el plegamiento que controlan su comportamiento estructural. Posterior a su depósito y diagénesis los protolitos de la Formación Cosoltepec estuvieron sometidos a procesos orogénicos que produjeron cambios abruptos en el comportamiento de las estructuras sedimentarias primarias, tales como foliación (estereogramas 12 y 13) seguida por foliación plegada con diversas fases posteriores de plegamiento (F1, F2) ratificadas por una gran heterogeneidad en la vergencia de los planos axiales contenidos en los pliegues que representan la máxima dirección de acortamiento estructural, así como por diversas figuras de interferencia en el plegamiento. Debido a la diferencia en el comportamiento plástico de sus protolitos (lutitas intercaladas con capas de pedernal) ante los esfuerzos, aquellas se deformaron y plegaron a tal grado que resulta muy complicado definir los trenes estructurales en los ejes de pliegue que rigen el comportamiento de la Formación Cosoltepec (estereogramas 14 y 15). El afloramiento más representativo se localiza en el sector este del poblado Las Minas en la barranca El Oate, donde se pueden observar potentes espesores de secuencias filíticas intercaladas con cuarcitas plegadas isoclinalmente e intrusionadas por diques deformados de composición intermedia.

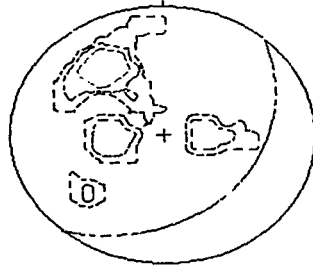


Polos de foliación (est. 14)



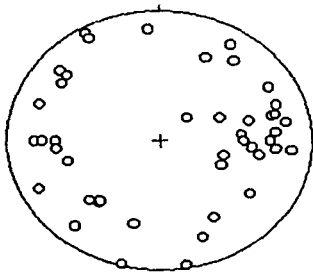
N=21  
 Rumbo y echado preferenciales: N42°E/39°

Conteo estadístico polar (est. 15)



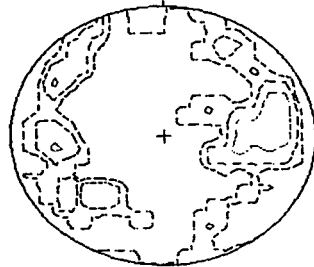
— 4%  
 — 8%  
 - - - 16%

Ejes de pliegue (est. 14)



N=44  
 Rumbo y echado preferenciales: N85°E/17°

Conteo estadístico puntual (est. 15)



— 2%  
 — 4%  
 - - - 8%

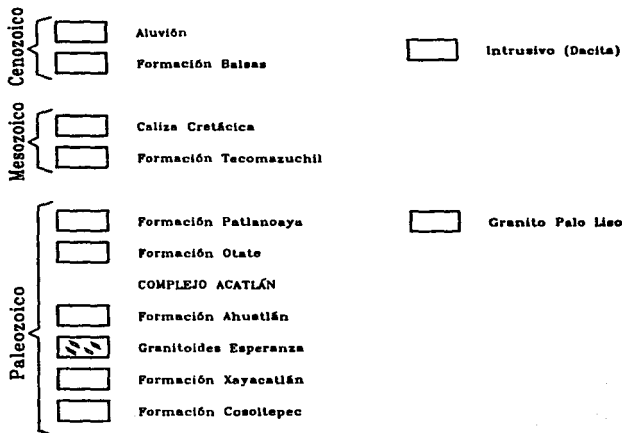
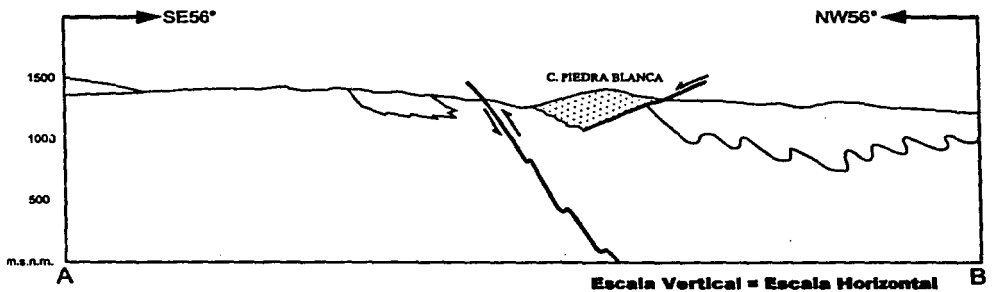
Figura 14. Los estereogramas muestran una dispersión considerable en la dirección de inclinación de los ejes de pliegue y foliación como resultado de la intensa deformación de estas rocas.

TFSIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Secciones estructurales.**

Con el objeto de visualizar el comportamiento de las principales estructuras a niveles más profundos, se levantaron dos secciones representativas. Estas secciones fueron levantadas a lo largo de sectores donde convergen las principales estructuras, así como en las áreas donde se tiene mayor complejidad en las relaciones de contacto (ver mapa geológico).

**Sección A-B**

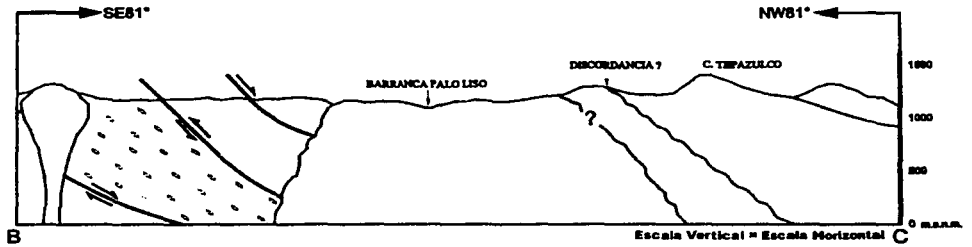


La sección corta una de las principales estructuras que afloran al oeste del área de estudio, donde rocas en facies de eclogita de la Formación Xayacatlán, cabalgan a rocas en facies de esquistos verdes de la Formación Cosoltepec.

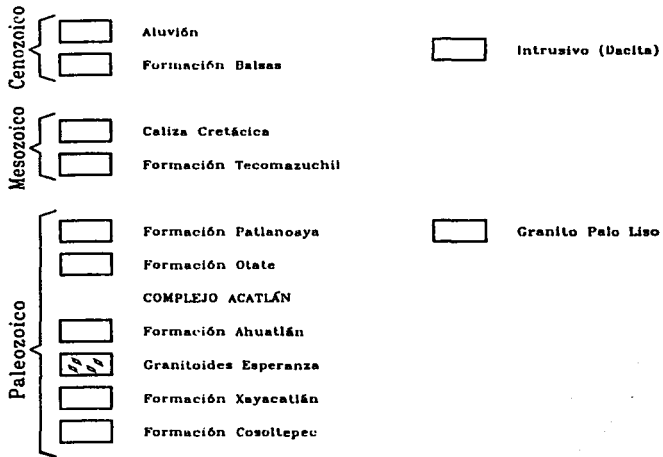
Esta relación estructural es característica de las unidades del basamento, y se le ha asignado una edad del Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano (Ortega-Gutiérrez et al., 1999). Asociada a esta cabalgadura se infiere una serie de pliegues isóclinales buzantes con una vergencia hacia el noroeste; cubriendo en discordancia a estas unidades se encuentran rocas verdes de la formación Ahuatlán, con una foliación bien definida pero menor plegamiento.

En la porción central de la sección, estratos sedimentarios de la Formación Tecamazúchil (Pérez-Ibargüengoitia et al., 1965) del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1978), cubren parcialmente a rocas de las formaciones Xayacatlán y Ahuatlán; el contacto es de tipo discordante angular por fallamientos normales o listricos que inclinan los estratos hacia el S30° W y S20°W con 43° de echado en promedio. En la parte noroeste de la sección, calizas cretácicas cubren en discordancia a filitas y cuarcitas de la Formación Cosoltepec.

Sección B-C



ESTRATIGRAFIA

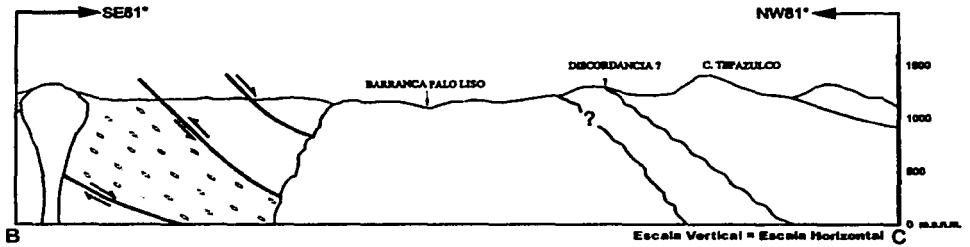


La sección corta una de las principales estructuras que afloran al oeste del área de estudio, donde rocas en facies de eclogita de la Formación Xayacatlán, cabalgan a rocas en facies de esquistos verde de la Formación Cosoltepec.

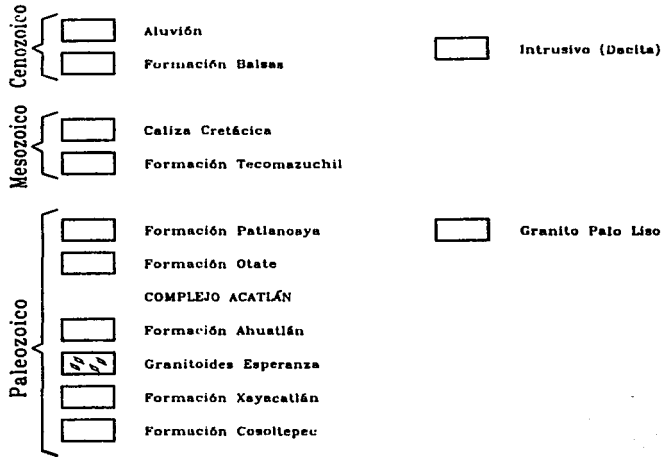
Esta relación estructural es característica de las unidades del basamento, y se le ha asignado una edad del Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano (Ortega-Gutiérrez et al., 1999). Asociada a esta cabalgadura se infiere una serie de pliegues isoclinales buzantes con una vergencia hacia el noroeste; cubriendo en discordancia a estas unidades se encuentran rocas verdes de la formación Ahuatlán, con una foliación bien definida pero menor plegamiento.

En la porción central de la sección, estratos sedimentarios de la Formación Tecomazúchil (Pérez-Ibargüengoitia et al., 1965) del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1978), cubren parcialmente a rocas de las formaciones Xayacatlán y Ahuatlán; el contacto es de tipo discordante angular por fallamientos normales o lístricos que inclinaron los estratos hacia el S30° W y S20°W con 43° de echado en promedio. En la parte noroeste de la sección, calizas cretácicas cubren en discordancia a filitas y cuarcitas de la Formación Cosoltepec.

Sección B-C



E S T R A T I G R A F I A



A lo largo de la sección B-C de noroeste a sureste, se observa el contacto tectónico de los Granitoides Esperanza sobre las rocas de la Formación Xayacatlán, el contacto entre ambas unidades se encuentra afectado por la intrusión del cuerpo dacítico Las Minas. En esta parte los Granitoides Esperanza tienen una dirección de inclinación hacia el N64°E con inclinaciones variables entre los 26° y 30°. La foliación muestra variaciones en su dirección de inclinación entre NE30° y S50°E, con una inclinación promedio de 30°.

Estas unidades son cabalgadas por la Formación Cosoltepec con rumbos variables de sus planos de foliación hacia el N-NE, y sus ejes de pliegue buzan hacia el E y NE con 50° de inclinación. Este contacto es poco común ya que invierte la posición estructural de las unidades litotéctónicas del basamento.

Cubriendo en discordancia a la Formación Cosoltepec se encuentra una secuencia sedimentaria cuyos estratos tienen un rumbo de N35E° con 50° de inclinación preferencial hacia el SE; ésta secuencia fue nombrada en este trabajo como formación Otate y correlacionada con los estratos que forman la base de la Formación Patlanoaya.

En la porción central de la sección la formación Otate es intrusionada por el granito Palo Liso. El límite oriental del granito a lo largo de la barranca Mal Paso no es claro, ya que el contacto intrusivo del granito Palo Liso con los estratos de la Formación Patlanoaya, se vuelve difuso al nivel donde aflora un conglomerado de composición arcósica que no presenta evidencias de intrusión. Al este la Formación Patlanoaya está cubierta en discordancia por el conglomerado rojo de la Formación Balsas del Terciario.

## Capítulo III.

### COBERTURA PALEOZOICA.



La cobertura paleozoica en el área de estudio corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias de tipo marino y litoral con un registro geológico que abarca del Devónico Superior al Pérmico Inferior (360 a 266 Ma). Dicha secuencia denominada Formación Patlanoaya (Vázquez Echeverría, 1986) cubre en discordancia al Complejo Acatlán

En el presente trabajo se documenta una secuencia de carácter sedimentario no reportada en la literatura hasta la fecha; esta secuencia aflora en la barranca El Otate (18°31'06" N y 98°18'52" W) y se nombro de manera informal como formación Otate para diferenciarla de la Formación Patlanoaya originalmente descrita (Vázquez Echeverría, 1986). Con base en su litología, posición estructural y relaciones de contacto, esta secuencia se correlaciono con los estratos que forman la base de la columna estratigráfica publicada por Vachard et al. (2000) para la Formación Patlanoaya.

### 3.1 Formación Otate.

- Litología.

La base de la secuencia está compuesta por rocas sedimentarias de composición argilítica. Los tipos de roca predominantes que la componen son limolitas, lutitas y pizarras con lentes de metapedernal. En la secuencia se puede apreciar un metamorfismo muy incipiente prácticamente imperceptible (foto 18). La parte media y superior de la secuencia está compuesta por rocas con mayor influencia de material detrítico, como areniscas, litarenitas, conglomerados y areniscas conglomeráticas.



Foto 18. Areniscas y limolitas estratificadas que forman la base de La formación Otate.

En contados afloramientos como en la barranca El Otate al este de Las Minas, se pudo observar influencia volcánica durante el depósito del material sedimentario, evidenciada por la presencia de rocas volcánicas de composición básica (posiblemente lavas). En esta porción de la secuencia es donde mejor se pudieron observar y caracterizar sus estructuras sedimentarias primarias dominadas en gran medida por estratificación, gradación normal, marcas de corriente y estructuras de arrastre (foto 19).



Foto 19. Marcas de carga en rocas argilíticas de la secuencia sedimentaria Formación Otate, en la barranca El Otate al este de Las Minas.

- **Distribución y relaciones de contacto.**

Los afloramientos más representativos de la formación Otate se encuentran en la barranca El Otate que se localiza en la porción central del área cartografiada ( $18^{\circ}31'06''$  N y  $98^{\circ}18'52''$  W), entre los poblados Las Minas y San Salvador Patlanoaya. En este sector las rocas se distribuyen como un cuerpo bastante elongado y curvo que se extiende en una dirección casi norte-sur. A 1.5 Km al sur del rancho La Sábila en la barranca El Mango ( $18^{\circ}32'24''$  N y  $98^{\circ}18'22''$  W), los espesores litológicos son mayores; esto se debe a que el área de afloramiento de la secuencia se va haciendo más estrecha hacia su porción sur. En este sector, estratos subverticales de composición argilítica sobreyacen en discordancia angular y erosional a esquistos muy albitizados de mica blanca con pseudomorfo de granate pertenecientes a la Formación Xayacatlán.

Este mismo contacto se prolonga hacia el sureste cubriendo parcialmente otros contactos geológicos más antiguos que involucran otras unidades de basamento. Estratos de limolitas, areniscas y

pizarras subverticales e inclinados en forma preferencial hacia el sureste afloran a lo largo de arroyos que corren por las barrancas El Angostadero y El Otate ( $18^{\circ}31'45''$  N y  $98^{\circ}18'46''$  W).

Al noreste del área de estudio en la parte media del cerro Totocatepec ( $18^{\circ}33'12''$  N y  $98^{\circ}17'01''$  W), sobre rocas de la Formación Xayacatlán, descansan en discordancia angular areniscas de grano fino con horizontes arcillosos correlacionables con la formación Otate reconocida al sur del rancho La Sábila. Hacia el sector meridional del poblado Las Minas, en la barranca El Otate ( $18^{\circ}31' 2''$  N y  $98^{\circ}19'22''$  W), está expuesto un contacto donde la formación Otate sobreyace a filitas alternadas con cuarcitas polideformadas de la Formación Cosoltepec. La relación de contacto entre ambas unidades se caracteriza como una discordancia que, está parcialmente afectada por fallamiento de tipo normal, muy posterior al depósito de la secuencia sedimentaria. Dicha estructura provocó el hundimiento de grandes volúmenes de roca de la base de la formación Otate.

Al oeste de la barranca Palo Liso, estratos inclinados en promedio  $52^{\circ}$  hacia el SE se caracterizan por una alternancia un tanto difusa de limolitas de aspecto pizarroso con litarenitas de grano fino a medio. Estas rocas están intrusionadas por un cuerpo granítico compuesto por megacristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa sódica. Dicho cuerpo, caracterizado como el granito Palo Liso, generó en la roca encajonante cuando menos 2 familias de fracturas, en algunas partes silicificación y la inyección de vetas múltiples de cuarzo. Diques y diquestratos graníticos intrusionan a la secuencia y son de tamaños heterogéneos; son mucho más notorios en la parte occidental del granito (fotos 20 y 21).



Foto 20. Dique granítico que intrusiona la formación Otate.

A 1.5 Km al noroeste del río que cruza el poblado de San Salvador Patlanoaya, afloran rocas descritas como la parte inferior de la Formación Patlanoaya (Vachard. et al., 2000). Localmente los estratos tienen bandas de color gris oscuro por su mayor contenido de clorita alternadas con bandas de color claro. Tanto la silicificación, cloritización y bandeamiento, así como el fracturamiento son producto de un metamorfismo de contacto por la intrusión del granito Palo Liso. En los afloramientos cercanos a la intrusión es difícil medir la posición estructural de los estratos, sin embargo muestra variaciones notables con respecto a las direcciones preferenciales de la mayoría de los afloramientos. Las capas inclinadas al N33°W con 65° de echado están claramente silicificadas y fracturadas.

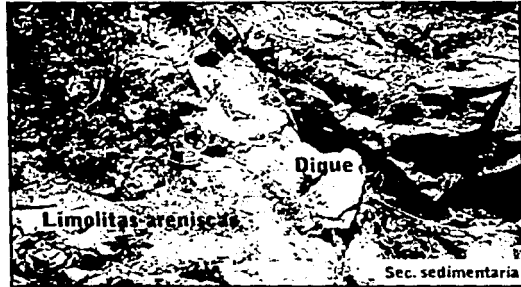


Foto 21. Dique granítico intrusionando una alternancia de limolitas y areniscas de la formación Otate.

- Edad.

La formación Otate ha sido correlacionada con los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya, cuyo intervalo cronoestratigráfico va del Carbonífero (Osagean , 340 Ma) al Pérmico medio (Vachard. et al., 2000). Pese a que no se realizaron estudios paleontológicos de los sedimentos involucrados en el área de estudio (debido a que no fue parte de los objetivos planteados en el trabajo de tesis), la Formación Patlanoaya a sido bien acotada en tiempo por su contenido de fósiles. Con base en ello y por las relaciones litoestratigráficas observadas a lo largo del trabajo de campo, permiten asignarle a la formación Otate una edad mínima del Mississippio inferior.

### 3.2 Formación Patlanoaya.

Esta unidad fue descrita por Vázquez-Echeverría (1986) quien propone el nombre de Formación Patlanoaya a la secuencia sedimentaria de tipo marino litoral, que aflora en la región de San Salvador Patlanoaya con base en la abundante flora y fauna fósil se le asigna a esta secuencia una edad del Carbonífero-Pérmico. Villaseñor et al., (1987) realiza un estudio bioestratigráfico y la divide en cuatro unidades litoestratigráficas. Vachard et al., (2000) proponen una columna estratigráfica con un rango de edades del Devónico Tardío (?) y Osageano (340 Ma) al Pérmico medio (Leonardiano 275 Ma). La Formación Patlanoaya conforma los flancos de una estructura sincinal cuyo eje tiene una orientación NE-SW 85° que sobreyace en discordancia a rocas del Complejo Acatlán.

- **Litología, contenido fósil y edad.**

A lo Largo de la barranca Mal Paso la Formación Patlanoaya se compone en su base de areniscas, areniscas conglomeráticas y limolitas de color verdoso; presenta algunas lutitas con metamorfismo incipiente (filitas) de color amarillo ocre; se observan estructuras primarias como estratificación cruzada y estratificación gradada. Sobre esta unidad se encuentran capas delgadas de areniscas conglomeráticas de color rojizo, intercaladas con capas rojas, donde se encontraron abundantes braquiópodos y crinoides del Osageano (Bruner et al., 1998) que constituyen la base del Carbonífero (Mississípico inferior). A este nivel bioestratigráfico se encuentran arcillas verdes con intercalaciones de capas con radiolaritas grises que corresponden a depósitos de cuenca. Sobreyaciendo las radiolaritas se encuentran turbiditas bioclásticas y calizas fosilíferas con crinoides y fusulinidos del género Triticites burgessae característicos del Missouriiano Inferior (Thompson 1936).

En la cima de esta unidad se observan cambio en la sedimentación, pasando transicionalmente a siliciclásticos, donde se observan lentes de arcillas verdes debajo de un conglomerado polimictico rojo, que corresponde al limite local entre los sistemas Carbonífero y Pérmico.

Sobre el conglomerado se encuentran calizas con aporte de clásticos; la parte inferior de las calizas contiene fusulinidos *Dumbarinella gregaria* que indican el Wolfcampiano superior con una cierta influencia Tethisiana (Ross & Ross 1987 in Vachard. et al., 2000).

Análogamente la parte superior contiene fusulínidos *Parafusulina skinner* (Bruner et al., 1998, p. 108) del Leonardiano inferior-medio de afinidad Norteamericana (Vachard. et al., 2000).

Sobre las calizas se encuentran areniscas con fragmentos de plantas, bivalvos y gasterópodos, que pasan transicionalmente a arcillas negras muy ricas en materia orgánica con contenido abundante de goniatitidos *Perrinites hilli* que representan el Leonardiano superior. El ambiente de depósito de esta formación es correspondiente al prodelta de un gran río (Flores de Dios., et al 1998).

- **Distribución y relaciones de contacto.**

Hacia el noroeste sobre el río que cruza el poblado de San Salvador Patlanoaya, afloran estratos limolíticos y pizarrosos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya y correlacionables con la formación Otate; tienen bandeamientos de color gris oscuro con un mayor contenido de clorita, intercalados con bandas de color claro que corresponden a una mayor abundancia de material detrítico. Las capas están fracturadas, silicificadas, cortadas por vetas de cuarzo y parcialmente cloritizadas, ya que fueron claramente afectadas por la intrusión del granito Palo Liso.



Foto 22. Areniscas, limolitas y pizarras que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya son cortadas por diversas vetas de cuarzo.

Al norte de Patlanoaya, por la brecha hacia Ahuatlán, afloran esquistos verdes con, epidota, clorita, tremolita, albita y cuarzo, intercalados en menor proporción con metasedimentos pelíticos concordantes a la foliación que tiene rumbos muy variables al NE, SE y SW inclinados 27° en promedio.

Estos esquistos pertenecientes a la formación Ahuatlán son cubiertos en discordancia por estratos de areniscas y areniscas conglomeráticas en posición subvertical ( $65^\circ$  en promedio) de la Formación Patlanoaya. Cubriendo en discordancia las rocas de la Formación Patlanoaya se encuentran depósitos arenosos y conglomeráticos de la Formación Tecamazúchil del Jurásico Medio. En las cercanías al poblado de Patlanoaya, la secuencia del Paleozoico superior esta parcialmente cubierta por un conglomerado terciario rojo poco consolidado de la Formación Balsas.

El limite occidental de la Formación Patlanoaya posiblemente sea uno de los más inciertos. Debido a que en la barranca Mal Paso, al noroeste de Patlanoaya, se pierde la continuidad de la relación intrusiva del granito Palo Liso y los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya. El nivel estratigráfico donde ya no se observan indicios de intrusión corresponde a un conglomerado arcósico compuesto por clastos de cuarzo y feldespato potásico de subangulosos a subredondeados (Foto 23) y bien clasificado y seleccionado; también se observan claramente estructuras primarias como estratificación cruzada y gradación normal.

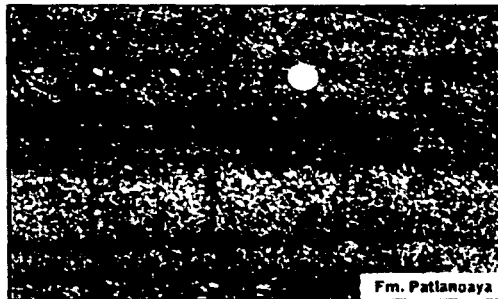


Foto 23. Horizontes del conglomerado arcósico de la Formación Patlanoaya, se observa estratificación y gradación normal.

Este conglomerado aflora en las coordenadas ( $18^\circ 31' 11''$  N y  $98^\circ 17' 11''$  W) y se observa prácticamente intacto, sin fracturamiento notable ni silicificación que indiquen un contacto intrusivo con el granito Palo Liso. Los estratos se encuentran inclinados en promedio hacia el  $S65^\circ E$  con  $50^\circ$  de echado y posiblemente represente el nivel donde se encuentra la discordancia erosional con la formación Otate.

En función de lo anterior no se puede precisar con exactitud si el granito Palo Liso intrusiona a la Formación Patlanoaya, o bien pueda representar el basamento de dicha unidad. Este contacto ya sea de carácter intrusivo o discordante se analizará con detalle en el capítulo de discusión.



Foto 24. Estratos del conglomerado arcósico inclinados hacia el S65°E con 50° de echado

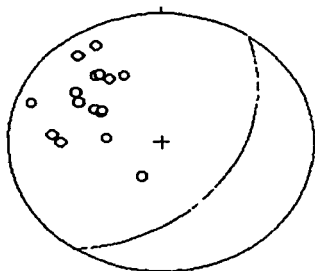


- **Características estructurales.**

La Formación Patlanoaya debido a su carácter post-orogénico, es una secuencia que no está metamorfizada, foliada o deformada; solo en algunos afloramientos presenta un metamorfismo de contacto incipiente (pizarras) producto de la intrusión del granito Palo Liso.

La estratificación es homogénea tanto en la formación Otate (estereograma 16) como la Formación Patlanoaya (estereograma 17) y está representada por estratos con rumbo de N35E° con 50° de inclinación preferencial hacia el SE (Figura 15).

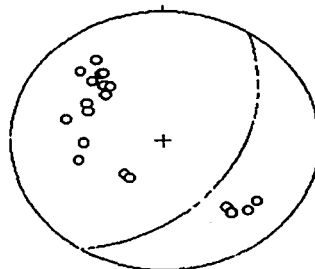
**Polos de planos de estratificación.**



**formación Otate (est. 16)**

**N=17**

Rumbo y echado del plano de estratificación preferencial: N34°E, 49



**Formación Patlanoaya (est. 17)**

**N=23**

Rumbo y echado del plano de estratificación preferencial: N33°E, 50°

Figura 15. Los estereogramas 16 y 17 muestran una gran similitud en la dirección de inclinación de la estratificación en la formación Otate y la Formación Patlanoaya.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## Capítulo IV.

### COBERTURA POST-PALEOZOICA.

Estas rocas corresponden primordialmente a paquetes sedimentarios que en general exhiben una deformación marcada por el acortamiento, pliegues anticlinales, pliegues sinclinales abiertos y fallas inversas ocasionadas por la orogenia Laramide del Cretácico Tardío-Terciario temprano. De acuerdo con las descripciones litológicas y relaciones de contacto verificadas en campo, estas unidades se correlacionaron con las formaciones que integran parte de la cubierta sedimentaria del terreno Mixteco y comprenden para el Mesozoico un rango de edades del Jurásico Medio al Cretácico Temprano.

#### 4.1 Formación Tecamazúchil - Jurásico Medio.

El nombre de Formación Tecamazúchil fue asignado para las rocas que afloran en la región de Petalcingo localizada al sureste del Estado de Puebla (Pérez-Ibargüengoitia et al., 1965). Esta formación del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1970) se compone de conglomerados y subfelsarenitas líticas con restos de plantas, limolitas y limolitas arenosas depositadas en un ambiente fluvial. Su contacto inferior con el Complejo Acatlán es discordante; su contacto superior es transicional con la Formación Chimeco del Oxfordiano. La distribución de estas rocas en el área es limitada, pero se encuentra bien expuesta en su porción noreste donde aflora con gran potencia.

##### • Litología.

La Formación Tecamazúchil se compone de estratos de 50 cm a 1 m de espesor formados por conglomerados de composición arcósica, ortoconglomerados y subfelsarenitas líticas alternado con estratos más delgados de 30-50 cm de espesor compuestos por limolitas y limolitas arenosas, donde se identificaron fósiles de plantas. La potencia de este paquete es de más de 200 m. Sobreyaciendo este miembro limolítico, aflora un conglomerado de cuarzo con clastos de angulosos a subangulosos, bien seleccionados, con gradación y estratificación normal. Ambas unidades forman una estructura sindinal cuyo eje se orienta en dirección NW-SE (Foto 25).

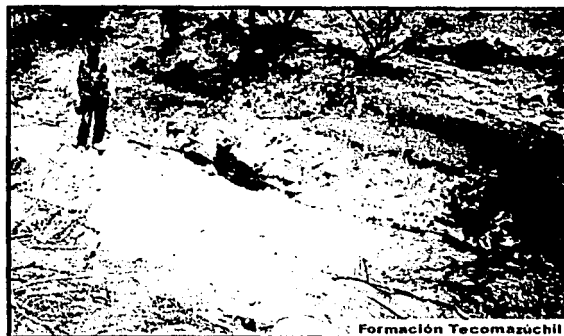


Foto 25. Estratos del ortoconglomerado alternado con limolitas y limolitas arenosas de la Formación Tecmazúchil.

- Distribución y relaciones de contacto.

Al noroeste del área de estudio, el cerro Piedra Blanca ( $18^{\circ}32'23.4''$  N y  $98^{\circ}21'13.9''$  W), se compone del conglomerado de cuarzo descrito anteriormente. Sus capas están inclinadas hacia el  $N30^{\circ}$  W y  $S20^{\circ}$  W con  $43^{\circ}$  de echado. La inclinación fuerte con respecto a la horizontal se debe a que el conglomerado está basculado debido posiblemente a una serie de fallas lítricas normales que lo afectaron. Estas rocas conglomeráticas, están compuestas en su parte más basal por estratos de limolitas y areniscas concordantes a la estratificación del conglomerado. Las areniscas se inclinan al  $N35^{\circ}$  W  $44^{\circ}$  y se correlacionaron con la Formación Tecmazúchil del Jurásico Medio. Dicha secuencia cubre indistintamente y discordantemente a esquistos pelíticos y metabasitas fuertemente plegadas de la Formación Xayacatlán y a rocas verdes metavolcánicas de la formación Ahuatlán.

El límite superior de la secuencia sedimentaria no aflora en el área cartografiada. En el sector noreste del área rocas sedimentarias de la misma composición comprendidas por los cerros el Puntigudo, el Papaxcludo ( $18^{\circ}31'53''$  N y  $98^{\circ}16'18''$  W) y El Boludo ( $18^{\circ}33'03''$  N y  $98^{\circ}15'06''$  W) cubren en forma discordante a la formación Ahuatlán y la Formación Patlanoaya. En este sitio la potencia de la secuencia es mayor de 500m, extendiéndose al sureste hasta el Río Atoyac.

Al noreste de Patlanoaya sobre arroyos que corren a lo largo de la barranca La Cueva, las rocas de la Formación Tecmazúchil son cubiertas en discordancia por el conglomerado Balsas del Terciario.

#### 4.2 Formación Balsas - Terciario temprano.

Este nombre fue propuesto originalmente como "Grupo Balsas" (Fries, 1960); posteriormente de Cserna, (1965) denominó Formación Balsas a ese grupo de rocas que comprende varios tipos litológicos locales de espesor variable y que se presentan en la cuenca hidrográfica del Río Mexcala-Balsas.

- **Litología .**

La litología que se correlacionó con la Formación Balsas, corresponde a un conglomerado polimítico de color rojo, compuesto por fragmentos de roca de todas las unidades de basamento, de la cobertura paleozoica y de la Formación Tecamazúchil. Destacan clastos subangulosos de esquistos verdes y micáceos; clastos angulosos de gneises cuarzo-feldespáticos, granito y clastos subredondeados de limolitas, litarenitas, pizarras, filitas y calizas. Todos ellos están contenidos en una matriz arcillo-arenosa mayor al 15% y muy oxidada debido al intemperismo y diagénesis.

El conglomerado rojizo es muy inmaduro, se encuentra poco consolidado y pobremente clasificado (Foto 26); sin embargo, en algunas partes se puede observar pseudoestratificación y graduación normal. De forma preferencial la Formación Balsas se encuentra basculada entre 32°-35° en dirección SE.

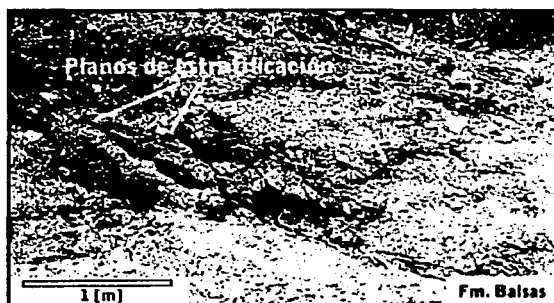


Foto 26. Conglomerado rojo de la Formación Balsas.

- **Distribución y relaciones de contacto.**

El conglomerado rojo de la Formación Balsas representa la discordancia más reciente del área, donde la roca descrita cubre indistintamente a todas las unidades del Complejo Acatlán y su cobertura paleozoica-mezozoica.

Se extiende ampliamente hacia la porción meridional del área a lo largo de la barranca El Guayabo ( $18^{\circ}30'37''$  N y  $98^{\circ}18'35''$ ), donde cubre discordantemente a rocas del basamento, al granito Palo Liso y a rocas de la Formación Patlanoaya. En la barranca La Cueva ( $18^{\circ}30'48.3''$  N y  $16^{\circ}07'26.8''$  W), los lechos rojos sobreyacen a estratos limolíticos y arenosos de la Formación Patlanoaya y Formación Tecomazúchil respectivamente. El contacto es muy abrupto debido a que la Formación Balsas se encuentra afectada por algunas fallas normales terciarias. Al sur de San Miguel Las Minas, el conglomerado rojo está alterado y afectado parcialmente por cuerpos intrusivos de composición dacítica.

## Capítulo V.

### CUERPOS INTRUSIVOS.

## Cuerpos intrusivos

### 5.1 Granito "Palo Liso"- Paleozoico superior.

Con este nombre se designó un cuerpo plutónico no cartografiado ni definido anteriormente en la literatura, que ahora en la porción central del área de trabajo.

- **Distribución y características generales.**

Se localiza entre los poblados San Miguel Las Minas y San Salvador Pattanoaya. Fue emplazado como un cuerpo elongado cuyo eje mayor se orienta en dirección N45°E, se extiende 4 Km a lo largo y 2 Km a lo ancho ocupando un área aproximada de 7.5 Km<sup>2</sup>.

Sus mejores afloramientos se pueden apreciar en los arroyos que corren a lo largo de las barrancas El Cuatmate y Palo Liso (18°30'57.4" N y 98°18'01" W) donde se observan sus principales características. Mineralógicamente está compuesto en orden de abundancia por cuarzo y grandes cristales de feldespato potásico (ortoclasa peritica), oligoclasa, biotita como accesorio y sericita como mineral secundario producto de la alteración de las plagioclasas sódicas.

A nivel de afloramiento se observa localmente una textura fanerítica de grano grueso con anillos de plagioclasa rodeando los cristales de ortoclasa, formando una textura "rapakivi" (Foto 27).

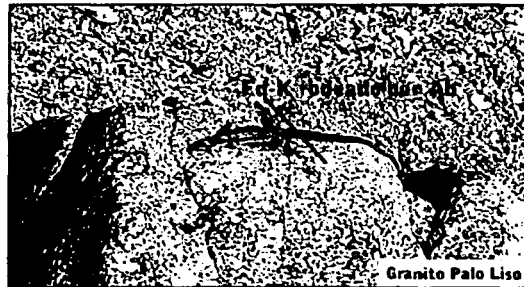


Foto 27. Cristales de ortoclasa rodeados por plagioclasas sódicas.



La litología es muy homogénea, lo que hace pensar que seguramente el cuerpo fue emplazado en un solo período de intrusión sin zoneamientos petrogénéticos.

El cuerpo magmático no está ni foliado ni deformado; en los bordes se observa gran cantidad de xenolitos de rocas verdes pertenecientes a las rocas del basamento, al igual que alteración hidrotermal generada por el magma original.

- **Petrografía**

Al nivel de lámina delgada los principales minerales identificados son cuarzo, ortoclasa perítica, feldespato potásico, biotita cloritizada y sericita (Foto 28). Los cristales de cuarzo son los más abundantes y de mayor tamaño de 5 a 7 mm. El cuarzo y plagioclasa se encuentran un equilibrio, la biotita se encuentra como una fase inestable con reemplazamiento por clorita; la oligoclasa se encuentra reemplazada parcialmente por sericita.

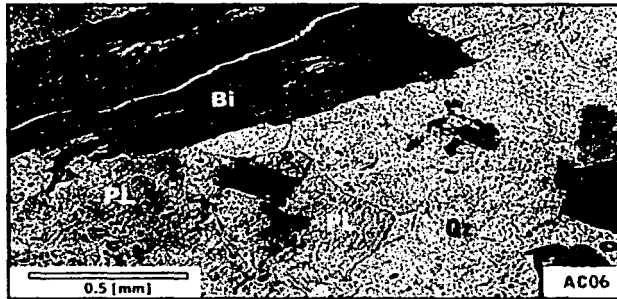


Foto 28. Hbl: Hornblenda; Pl; Plagioclasa; Qz: Cuarzo.

En lámina delgada esta roca tiene una textura holocristalina de grano medio a grueso, definida por cristales de hornblenda, cuarzo y plagioclasa. Por sus asociaciones mineralógicas se clasificó como una granodiorita de biotita.

- **Relaciones de contacto.**

El granito Palo Liso intrusión claramente a rocas de la Formación Xayacatlán en la barranca El Mango al sur del Rancho La Sábila, así como a la secuencia sedimentaria de la formación Otate compuesta por estratos limolíticos, pizarrosos y arenosos al este de Las minas en la barranca El Otate. En la Formación Patlanoaya, no se aprecian evidencias claras de intrusión del granito Palo Liso, al nivel donde se encuentra una secuencia conglomerática de composición arcósica, esta secuencia se encuentra muy bien preservada, sin fracturamiento, silicificación o evidencias de un metamorfismo de contacto. Le sobreyacen secuencias de carbonatos de tipo wackestone y packestone no recristalizadas. Con base en las observaciones anteriores es posible que el granito Palo Liso no afecte a la Formación Patlanoaya. Para explicar esta relación se proponen dos interpretaciones que se analizarán en el capítulo de discusión.

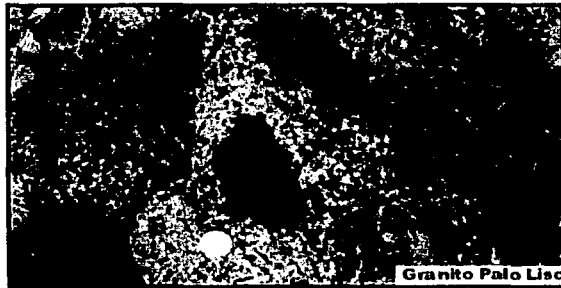


Foto 29. Xenolitos de roca verde en el granito Palo Liso.

- **Correlación.**

Por sus características litológicas y estar cubierto por secuencias sedimentarias del Paleozoico tardío el granito Palo Liso se puede correlacionar con el granito Los Hornos que es otro cuerpo plutónico que aflora en la región y está cubierto por un paquete de rocas sedimentarias con fósiles del Leonardiano (Ramírez-Espinosa, et al., 2000). Por su parte el granito deformado La Noria se encuentra 15 Km al sureste de Patlanoaya entre los poblados de Tehultzingo y Coayuca, con base

en estudios de U-Pb de zircones le asignan una edad de 360 Ma (Yáñez et al., 1991), y por lo tanto más antiguo que el granito Palo Liso.

## 5.2 Intrusivos Las Minas.

En la porción sur-suroeste de la zona de estudio, así como a la entrada del poblado Las Minas, afloran cuerpos intrusivos dómicos y semidómicos diversos, que conforman las estructuras topográficas más elevadas del terreno, como son el cerro El Chapulmixtle y el cerro La Muñeca ( $18^{\circ}30'35''$  N y  $98^{\circ}20'50''$  W). Los cuerpos magmáticos de composición dacítica son de color gris claro con tonos pardos más oscuros; no se encuentran deformados y se aprecian múltiples diadasas producto de procesos de enfriamiento magmático.

Al nivel de afloramiento son distinguibles minerales como cuarzo plagioclasa sódica, cristales euedrales de hornblenda, y biotita (como mineral accesorio), contenidos en una matriz porfídica. Concretamente el intrusivo de Las Minas es de geometría dómica, y contiene xenolitos de las rocas de basamento metamórfico, al igual que xenocristales de granate con una procedencia desconocida, posiblemente de zonas corticales profundas.

Estos cuerpos además de intrusionar a las rocas del Complejo Acatlán y su cobertura paleozoica y post-paleozoica, cortan al conglomerado rojo de la Formación Balsas, lo que los caracteriza como post-Balsas por lo que su edad es posiblemente oligocénica.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## Capítulo VI.

### DISCUSIÓN/PROBLEMÁTICA.

## Discusión.

En este capítulo se hace un análisis e interpretación de los datos recopilados a lo largo del presente trabajo, incluyendo litologías, características metamórficas y relaciones de contacto. Resaltando tanto los contactos plenamente establecidos, como aquellos difusos y poco entendidos debido a su complejidad. Uno de los contactos más problemáticos es el contacto entre las rocas con metamorfismo de alta presión formadas a presiones del orden de 11 a >12 Kb y temperaturas mínimas de 550 °C, lo que implica profundidades mayores que 30 y 40 Km (Ortega-Gutiérrez et al., 1981), representadas por esquistos de mica blanca y granate originalmente en facies de eclogita pertenecientes a la Formación Xayacatlán. Estas rocas se encuentran estructuralmente arriba de las cuarcitas y filitas de la Formación Cosoltepec en facies de esquistos verde formadas a menor presión, y por ende, a una profundidad más somera y a una temperatura más baja. Este contacto es por medio de cabalgaduras que tienen un comportamiento estructural de carácter regional; sin embargo, el intenso plegamiento que tiene este contacto involucra problemas adicionales.

Una de las zonas estructuralmente más complejas en el área de estudio esta localizada aproximadamente a 2 Km al norte del poblado Las Minas; en ese sector convergen las cuatro unidades de basamento generando cuñas tectónicas que representan contactos estructurales donde de oriente a poniente la Formación Xayacatlán cabalga a filitas y cuarcitas de la Formación Cosoltepec que a su vez esta cabalga sobre los Granitoides Esperanza y, finalmente, los metagranitos milonitizados cabalgan sobre rocas de la Formación Xayacatlán (ver mapa geológico). Esta relación anómala que ha provocado localmente una inversión estructural en la posición de las unidades litotectónicas del Complejo Acatlán, se ha explicado como resultado de la intensa deformación y desplazamiento compresivo al que han sido sometidas las cabalgaduras. Otra propuesta para explicar la inversión estructural en las unidades litotectónicas del basamento, es la existencia de fallas normales listricas que permitieron el corrimiento de unidades más antiguas y con una evolución metamórfica distinta sobre unidades con características diferentes (Duncan Keppie comunicación oral).

En el área de estudio, estas cabalgaduras tienen un comportamiento regional con un tren estructural en dirección norte-sur y ligera desviación de 10° al este, que representan levantamientos tectónicos responsables del emplazamiento en superficie de niveles profundos de estas cabalgaduras.

Su comportamiento regional da una idea de la magnitud del evento tectónico que las afectó; ya que para lograr el registro geológico de este tipo de estructuras es necesario involucrar movimientos tectónicos de dimensiones continentales. Estas estructuras han sido interpretadas como una sutura ofiolítica resultado de una colisión continente-continente ocurrida en el Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano (Ortega-Gutiérrez et al., 1999). Debido a que se trata de una ofiolita desmembrada, es difícil establecer la polaridad o el sentido en la dirección de colisión, aumentando el grado de incertidumbre por la ausencia de las masas continentales involucradas, es decir, la contraparte occidental del microcontinente Oaxaquia que estaría localizada al poniente o por debajo del Complejo Acatlán no se ha determinado. Sin embargo, la ausencia de una secuencia ofiolítica completa en el Complejo Acatlán, podría explicarse como resultado de la superposición de eventos tectónicos que la han desmembrado, ya que las zonas de contacto que involucran diferentes tipos de corteza tienden a ser zonas de debilidad generalmente reactivadas.

La superposición de eventos tectónicos se encuentra evidenciada por la Formación Tecomate del Devónico (Ortega et al., 1999), que representa un paquete litoestratigráfico con características metamórficas y una evolución geológica que difiere de las demás unidades de basamento. En el área de estudio las rocas de la Formación Tecomate están representadas en tiempo por la formación Ahuatlán, que tiene como principales características una foliación y plegamiento bien definidos, con asociaciones minerales como, clorita, epidota/zoisita, clinzoisita, mica blanca, cuarzo, titanita y calcita y hematita como minerales secundarios o de reemplazamiento tardío. Las paragénesis de sus rocas indican una composición máfica y una facies máxima de esquisto verde (zona de la clorita-albita-clinzoisita), donde las condiciones P-T que originaron estas rocas podrían oscilar entre los 3-5 Kb y 350-400°C respectivamente. Los protolitos que corresponden a secuencias metavolcánicas y metasedimentarias, sugieren un ambiente de arco para su depósito. Para determinar el tipo de cuenca en que se depositaron estas rocas es necesario hacer análisis geoquímicos de sus elementos traza y elementos mayores, lo cual quedó fuera de los alcances de este trabajo.

Sin embargo, estudios cartográficos previos en la Formación Tecomate donde se han identificado las características litotéctónicas y tectonoestratigráficas de sus unidades, así como datos geoquímicos preliminares de sus rocas volcánicas, sugieren un ambiente de cuenca trasarco (back-arc basin) para el depósito de esta formación (Sánchez-Zavala, 2001, comunicación personal).

El trabajo cartográfico para diferenciar al basamento cristalino de su cobertura, especialmente la cobertura paleozoica, tuvo como resultado el descubrimiento de afloramientos que corresponden a una secuencia sedimentaria nombrada en este trabajo formación Otate. Esta secuencia esta compuesta en su base por rocas de composición argilítica, principalmente lutitas, limolita, pizarras y metapedernal, en las que se observa un ligero plegamiento y metamorfismo. Su parte media y superior están compuestas por areniscas, litarenitas, conglomerados y areniscas conglomeráticas que preservaron de mejor manera sus estructuras sedimentarias primarias, dentro de las cuales se identifico estratificación primaria, gradación normal, marcas de corriente y estructuras de arrastre; intercaladas con rocas volcánicas de composición básica (posiblemente lavas). De acuerdo con observaciones de campo se determinó su relación de discordancia sobre la Formación Cosoltepec en la barranca El Otate al este de Las Minas, así como con la Formación Xayacatlán al sur del rancho La Sábila. El contacto de la formación Otate con la formación Ahuatlán (Devónico?) no aflora en el área de estudio; sin embargo se infiere de tipo discordante debido a sus diferencias notables. El contacto de la formación Otate con el granito Palo Liso es claramente intrusivo.

La formación Otate se encuentra estratigráficamente debajo de los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya que en su sección tipo está compuesta por areniscas, areniscas conglomeráticas y limolitas de color verdoso; presenta algunas lutitas con metamorfismo incipiente (filitas) de color amarillo ocre, donde se observan estructuras primarias como estratificación cruzada y estratificación graduada; sobre esta unidad se encuentran capas delgadas de areniscas conglomeráticas de color rojizo, intercaladas con capas rojas, donde se encontraron abundantes braquiópodos y crinoides del Osageano (Bruner et al., 199.1) que constituyen la base del Carbonífero (Vachard et al., 2000)

Las relaciones de campo de la formación Otate permiten acotar burdamente la edad de su depósito quedando restringida del Devónico tardío al Mississípico inferior. Por sus características litológicas se sugiere un ambiente marino de aguas profundas para su depósito.

El granito Palo Liso, que en la literatura aparece reportado como parte del basamento metamórfico, fue delimitado y se establecieron sus relaciones de contacto. De acuerdo con datos de campo se concluye que el granito intrusión rocas del Complejo Acatlán, a la formación Otate y a los estratos que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya, donde se reconocieron indicios de silicificación, fracturamiento, múltiples vetillas y diques graníticos productos de metamorfismo y magmatismo de contacto. Sin embargo, durante los caminamientos hechos en la barranca Mal Paso que corta la mayoría de las unidades que componen la columna estratigráfica de la Formación Patlanoaya, la relación de intrusión del granito Palo Liso con la Formación Patlanoaya se vuelve difuso al nivel donde aflora un conglomerado de composición arcósica. Para explicar la falta de evidencias de intrusión en la Formación Patlanoaya se proponen las interpretaciones siguientes.



## 6.1 Interpretación 1

Esta interpretación está sustentada por la ausencia de indicios de intrusión en la Formación Patlanoaya. Concretamente, el nivel donde ya no se observan rasgos de intrusión corresponde a un conglomerado arcósico compuesto por clastos de cuarzo y feldespato potásico, que preserva muy bien los rasgos primarios de sedimentación, como estratificación, estratificación cruzada y graduación normal intercalado con capas rojas. Otro elemento a favor en esta interpretación es el cambio tan brusco en los ambientes de depósito, ya que las rocas de la formación Oate se depositaron en un ambiente marino de aguas profundas con influencia volcánica de composición básica (posiblemente lavas), mientras que las rocas que componen la Formación Patlanoaya se depositaron en un ambiente de tipo marino litoral, con abundante flora y fauna fósiles.

Esto sugiere que el granito Palo Liso intrusión las rocas del basamento, a la formación Oate, (Figura 16) y sirvió como basamento del conglomerado arcósico de la Formación Patlanoaya, siendo posiblemente su principal fuente de aporte (pero no la única), así como de los niveles superiores de la Formación Patlanoaya. Bajo este esquema, el rango de edades para el emplazamiento del granito Palo Liso sería del post-Devónico Tardío al pre-Misisípico?. De comprobarse esta interpretación traerá como consecuencia la existencia de una discordancia entre la formación Oate y la Formación Patlanoaya (Figura 17), que tendría un gran significado para la evolución tectónica del sur de México durante el Paleozoico tardío.

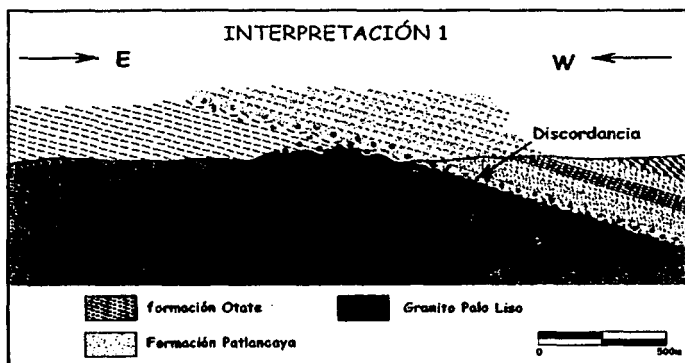
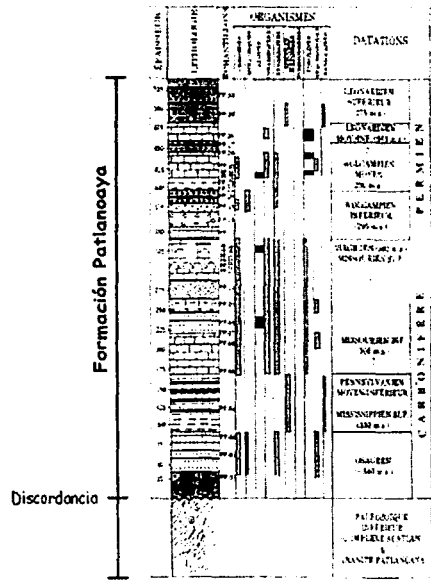
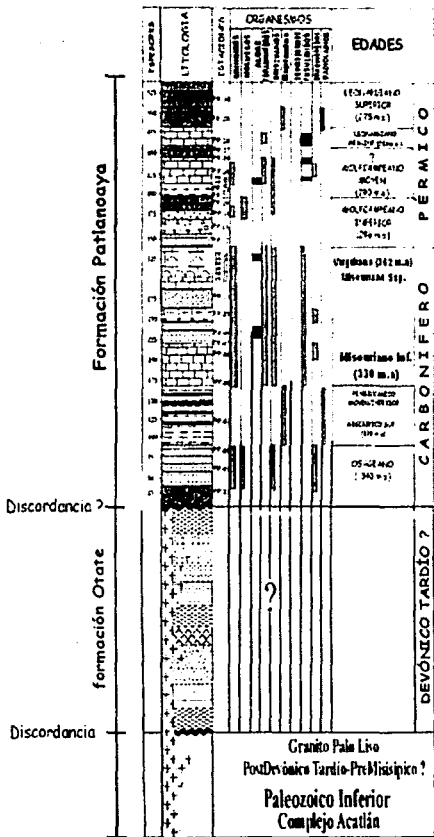


Figura 16. Esquema que muestra la posible discordancia entre la formación Oate y la Formación Patlanoaya. Para este escenario la edad del granito es del post-Devónico Tardío al Pre-Misisípico?.



Columna Estratigráfica de San Salvador Patlanoyaya.  
(Tomada de Vachard et al., 2000)

Columna Estratigráfica de San Salvador Patlanoyaya.  
Propuesta en este trabajo (Modificada de Vachard et al., 2000)

Figura 17. Muestra la columna estratigráfica propuesta para el área de San Miguel Las minas-San Salvador Patlanoyaya.

## Interpretación 2.

El escenario siguiente plantea la posibilidad de una relación intrusiva del granito Palo Liso con la formación Oate y con la Formación Patlanoaya (Figura 18), en cuyo caso no existiría la discordancia antes mencionada, y por tanto la edad del cuerpo granítico tendría un rango de edades más amplio que abarcaría desde el Pérmico Temprano hasta el Cretácico debido a que solamente lo cubren en discordancia los lechos rojos de la Formación Balsas del Terciario.

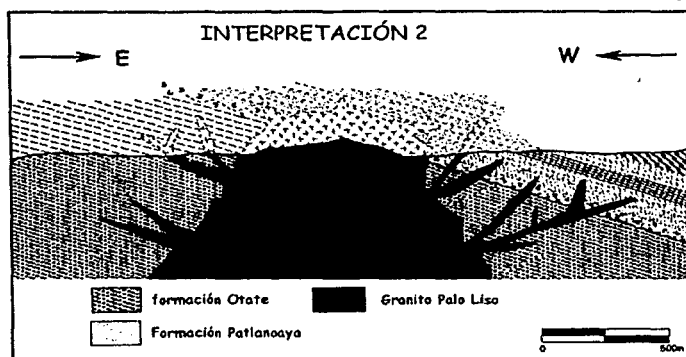


Figura 18. Esquema que muestra la relación intrusión del granito Palo Liso con la formación Oate y con la Formación Patlanoaya. Para este escenario la edad del granito tendría un rango de edades más amplio que abarcaría desde el Pérmico Temprano hasta el Cretácico.

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Capítulo VII.

# EVOLUCIÓN TECTÓNICA/GEOLOGÍA HISTÓRICA

## Evolución Tectónica / Geología Histórica.

Justamente una de las carencias del Complejo Acatlán es la falta de un modelo tectónico completo que explique sus rasgos internos y sus relaciones de contacto; sin embargo, este complejo metamórfico refleja una gran actividad tectónica durante el Paleozoico medio e inferior en el sur de México. La presencia de ofiolitas (tectonizadas) con una vergencia de este a oeste en sus estructuras megascópicas, así como su avance (mínimo 200 Km) de la cabalgadura ofiolítica sobre un continente hipotético situado al poniente de Oaxaquia (Ortega et al., 1995) son elementos clave para su reconstrucción paleogeográfica.

Para explicar su evolución geológica se han propuesto diversas hipótesis; una de ellas propone que su origen está ligado a la evolución del océano proto-atlántico (Wilson, 1966 in Ortega 1981b) o Iapetus (Harland y Gayer, 1972). Considerando las semejanzas geológicas globales que el Complejo Acatlán tiene con respecto al Cinturón Orogénico Apalacheano-Caledoniano, se hizo una correlación física con las partes mejor conocidas de este cinturón, para así poder situar tentativamente los eventos más importantes que registró el Complejo Acatlán en su evolución. Las fases orogénicas pre-misisípicas más conocidas de los Apalaches son la Tacónica y la Acadiana, del Ordovícico Medio-Tardío y Devónico, respectivamente. Sin embargo, la confluencia del cinturón Orogénico Herciniano en el noreste de México y su culminación en América al término del Paleozoico, introduce en términos de la evolución tectónica del sistema Orogénico Ouachita, problemas adicionales al extender el proceso de suturación final de Pangea hasta el Paleozoico tardío.

La mayoría de estos eventos pueden compararse tentativamente con los eventos registrados en la evolución del Complejo Acatlán. La Formación Xayacatlán ha dado edades que en promedio se sitúan en 456 Ma (Ordovícico Medio), por lo que es probable que la edad de la ofiolita Xayacatlán sea Ordovícico Temprano o Cámbrico y podría marcar la etapa de expansión oceánica de Iapetus. En forma análoga, las edades ordovícicas obtenidas para el metamorfismo hiperbárico (eclogitización) podrían tomarse como el inicio de la etapa de subducción que inició la clausura de Iapetus.

El metamorfismo de alta temperatura/presión media y la deformación con su estilo de foliación y plegamiento subverticales probablemente expresan los efectos del tectonismo acadiano que puso fin durante el Devónico a este ciclo tectónico (Ortega-Gutiérrez.,1981).

Por un lado y según estudios isotópicos de Yañez et al. (1991), la geocronología del Complejo Acatlán indica que éste fue afectado por tres eventos tectonotérmicos: El más antiguo se registró hace 380-400 Ma; este evento esta asociado con la deformación y la eclogitización, así como la intrusión y deformación de los Granitoides Esperanza. El segundo evento ocurrió durante el Pensilvánico-Pérmico, se relaciona con el tronco de Totoltepec, que dio una edad de 287 Ma. (Yañez et al.,1991). El último evento involucra los diques San Miguel y la Migmatita Magdalena que dieron edades de 205-170 Ma (Ruiz-Castellanos, 1979).

Con base en reconstrucciones paleozoicas de Kent y Van der Voo (1990) se ha propuesto el siguiente modelo de evolución tectónica para el Complejo Acatlán (Yañez et al.,1991). La colisión Gondwana-Laurencia posiblemente tuvo lugar durante el Devónico Temprano (390 Ma), y tuvo como resultado el amalgamamiento de los cinturones metamórficos Acadiano-Caledoniano y Acatlán, involucrando posiblemente la parte noroeste de Sudamérica. Durante el Carbonífero temprano (350 Ma) estos dos paleocontinentes se separaron pasando el Complejo Acatlán y el terreno Zapoteco a formar parte de la masa gondwánica. En el Carbonífero tardío se dio una colisión mayor que dio como resultado gran deformación y actividad ígnea en el margen este de Norteamérica (orogenia Allegheniana), el margen oeste del norte de África (cinturón Mauritánido), México (cinturón Huasteco, tronco de Totoltepec e intrusivos en Chiapas y Oaxaca) y posiblemente rocas graníticas del noroeste de América del Sur. Durante la apertura de Pangea a partir del Jurásico, el Complejo Acatlán y el terreno Zapoteco formaron parte de América del Norte, y el cinturón carbonífero deformado fue desplazado a lo largo de la megacizalla Mojave-Sonora.

Sin embargo, con base en nuevos estudios de U-Pb en zircones y monacitas, un mapeo tectónico detallado y estudios petrológicos de las unidades del Complejo Acatlán, se ha sugerido el Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano para la colisión Gondwana-Laurencia en el sureste de México (Ortega-Gutiérrez et al., 1999), proponiendo para el cierre de Iapetus dos escenarios.

El primer escenario incluye al Complejo Acatlán como parte de la sutura formada durante el cierre de Iapetus, independientemente si Oaxaquia estaba anexada o no al sureste de Laurentia ó a la parte sur de Avalonia. El segundo escenario considera a Oaxaquia unida a Colombia en una margen gondwánica, que posteriormente colisionó con Laurentia, causando la orogenia Acateca en el sureste de México.

Una vez consolidadas las estructuras del Ordovícico Tardío-Silúrico Temprano, fueron cubiertas por unidades litológicas diversas, predominando al norte (respecto al sistema de coordenadas geográficas actuales) la presencia de material volcánico, al oriente una mayor proporción de sedimentos, y en la parte septentrional una interdigitación de secuencias volcánicas y sedimentarias con precipitación de carbonatos. A todo este paquete de rocas que cubrieron las estructuras antiguas del Complejo Acatlán se le ha nombrado Formación Tecomate. Esta formación tiene una evolución propia, con por lo menos dos eventos de deformación penetrante que reflejan una actividad orogénica en el Complejo Acatlán ocurrida durante el Devónico Medio? y que correspondería a la orogenia Mixteca (Sánchez-Zavala et al., 2000).

Durante el Devónico Tardío?, se depositó la secuencia sedimentaria de la formación Oate en un ambiente marino de aguas profundas; posteriormente esta secuencia fue intrusionada por el granito Palo Liso de edad aun incierta pero acotado del post-Devónico tardío al pre-Pérmico temprano. Las unidades que forman la parte inferior de la Formación Patlanoaya donde se encontraron abundantes braquiópodos y crinoides del Osageano (Bruner et al., 1998) constituyendo la base del Carbonífero (Missisípico inferior) (Vachard et al., 2000) se depositaron en posible discordancia con el granito Palo Liso y la formación Oate. Los niveles medio y superior de la Formación Patlanoaya se depositaron del Misisípico al Pérmico Temprano en un ambiente de tipo marino litoral.

La presencia de cuerpos intrusivos sintectónicos como el granito de Cozahuico fechado (Elias-Herrera y Ortega Gutiérrez, en prensa) en  $274 \pm 11$  Ma (Wolfcampeano) que esta cubierto por rocas de la Formación Matzitz del Leonardiano, evidencian una actividad orogénica durante el Pérmico Temprano en el Complejo Acatlán, que correspondería a la orogenia Caltepeense (Elias-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2000).

Posteriormente existe una ausencia en el registro geológico hasta el Jurásico, cuando se depositan en discordancia secuencias sedimentarias de la Formación Tecamazúchil (Pérez-Ibargüengoitia et al., 1965) del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1978), compuestas por conglomerados y subfelsesarenitas líticas con restos de plantas, limolitas y limolitas arenosas depositadas en un ambiente fluvial. En el Cretácico se depositaron algunas calizas de plataforma en la porción noroeste del área.

Las rocas jurásicas y cretácicas presentan una marcada deformación, principalmente de acortamiento, formando pliegues anticlinales y pliegues sinclinales y fallas inversas a consecuencia de la orogenia Laramide del Cretácico Tardío-Eoceno temprano. Finalmente, estas estructuras fueron cubiertas parcialmente durante el Paleoceno por un conglomerado rojo del Grupo Balsas (Fries, 1960) que en la porción meridional del área está afectado por cuerpos intrusivos de composición dacítica y edad probable del Oligoceno. Estas secuencias junto con su basamento cristalino fueron afalladas durante el Terciario en un régimen aparentemente extensional. La región ha estado sujeta a erosión madura desde el Mioceno.



## Capítulo VIII.

### CONCLUSIONES.

## Conclusiones.

Durante el trabajo cartográfico se hizo una diferenciación detallada de las unidades del basamento paleozoico metamórfico que permite visualizar y explicar su comportamiento y distribución en la zona de estudio. Se comprobó el carácter discordante de la formación Ahuatlán (correlacionable con la Formación Tecomate) respecto a las demás unidades de basamento; sus características litológicas que corresponden a secuencias volcanosedimentarias y metasedimentarias intercaladas con lavas de composición básica, sugieren un ambiente de cuenca trasarco (back-arc basin) para su depósito (Sánchez-Zavala, 2001, comunicación personal)

Se identificaron y correlacionaron los paquetes litoestratigráficos que forman parte de la cobertura del basamento cristalino, poniendo un énfasis especial en la cobertura paleozoica. El resultado fue el reconocimiento de nuevos afloramientos correlacionables con los niveles basales de la Formación Patlanoaya. Estos afloramientos corresponden a una secuencia sedimentaria nombrada en este trabajo formación Otate, compuesta en su base por rocas de composición argilítica en las que se observa un ligero plegamiento y metamorfismo. Su parte media y superior están compuestas por areniscas, litarenitas, conglomerados y areniscas conglomeráticas que preservaron de mejor manera sus estructuras sedimentarias primarias, dentro de las cuales se identificó estratificación primaria, graduación normal, marcas de corriente y estructuras de arrastre. Por su relación de discordancia con las rocas del Complejo Acatlán y encontrarse estratigráficamente debajo de los estratos que forman la base inferior de la Formación Patlanoaya del Carbonífero-Pérmico, se le ha asignado tentativamente una edad del Devónico Tardío.

El granito Palo Liso fue delimitado y se establecieron sus relaciones de contacto. De acuerdo con datos de campo se concluye que el granito intrusión rocas del Complejo Acatlán y a la formación Otate. En cambio, durante el trabajo de campo hecho en la barranca Mal Paso al noroeste de San Salvador Patlanoaya no se encontraron evidencias de intrusión en la Formación Patlanoaya.

Por las características litológicas, ambientes de depósito y relaciones de campo entre ambas secuencias, se propone la posible existencia de una discordancia entre la formación Otate y la Formación Patlanoaya. Tomando como referencia la columna estratigráfica de la Formación Patlanoaya publicada por Vachard et al. 2000, se propone que dicha discordancia se encuentra entre los niveles estratigráficos del post-Devónico Tardío al Mississípico inferior (Ver Figura 16). Sin embargo no se determinó con exactitud la edad de la discordancia, ya que se requieren estudios estratigráficos de mayor detalle.

La información geológica generada durante el trabajo cartográfico y el levantamiento de las secciones estructurales, aporta información nueva de áreas poco conocidas o no estudiadas del Complejo Acatlán y su cobertura más antigua.

## 7.1 Recomendaciones.

- Programar un estudio estructural y de microtectónica en las unidades inferiores del Complejo Acatlán para jerarquizar y caracterizar sus eventos de deformación.
- Fechamiento del granito Palo Liso para correlacionarlo con otros cuerpos graníticos en la región, establecer el contexto geológico de su emplazamiento y además para entender su emplazamiento con relación al depósito de las secuencias sedimentarias del Paleozoico superior.
- Realizar secciones detalladas (con una escala en metros) a lo largo de la barranca Mal Paso, para verificar la existencia de una posible discordancia entre la formación Otate y la Formación Patlanoaya.
- Estudios geoquímicos de elementos mayores y traza en las rocas metavolcánicas de la formación Ahuatlán, para establecer claramente su afinidad con el tipo de cuenca en que se dio su depósito, y correlacionarla con otros miembros de la Formación Tecomate.

**Referencias Bibliográficas.**

- Barbarin, B., 1999, A review of the relationship between granitoid types, their origins and their geodynamic environments, *Lithos*, vol. 46, Elsevier science, Amsterdam pp. 605-626.
- Brunner, P., 1987, Microfacies y microfósiles de las rocas carbonatadas del Paleozoico de San Salvador Patlanoaya, Puebla, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, V.1. P.98-112.
- Campa-Uranga, M. F., Coney P. J., 1983 Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions of México: *Canadian Journal of Earth Sciences* vol. 20, pp. 1040-1051.
- Carfantan, J.C., 1983, Les ensembles géologiques du Mexique meridional-Évolution géodynamique durant le Mésozoïque et le Cenozoïque, *Geofísica Internacional (México)* vol. 22, p. 9-37.
- 1986, Du système cordilléraire nord-américain au domaine Caraïbe-Étude géologique du Mexique meridional, Chambéry, Université de Savoie, Tesis de Doctorado 558 p. (no publicado).
- Carrillo, M., and Martínez, E., 1981 (1983), Evidencias de facies continentales en la Formación Matzitz, estado de Puebla: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, v.5, p. 117-118.
- Centeno-García, E., Keppie J. D., 1999 Latest paleozoic-early mesozoic structures in central Oaxaca terrane of southern Mexico: deformation near a triple junction *Tectonophysics* Vol. 301 (3-4) Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 231-242.
- Coney, P. J. and Campa-Uranga, M. F., 1987, Lithotectonic terrane map of Mexico (west of the 91<sup>st</sup> meridian): U.S. Geological Survey, Miscellaneous Field Studies Map MF-1874-D, scale 1:2,500,000.
- Corona-Esquivel, R. J., 1981 (1984), Estratigrafía de la región de Olinalá-Tecocoyunca, noreste del Estado de Guerrero: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, v.5 p. 1-16.
- Cox, K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J., 1979, The interpretation of igneous rocks, Allen & Unwin, Londres, 450 p.
- De Cerna, Z., 1965, Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur de México entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero: *Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, V. 62, p. 1-77.

- Enciso de la Vega, S., 1988 Una nueva localidad pérmica con fusulinidos en Puebla: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, v.7, p. 28-34.
- Ferrari, Luca., Petrone, Chiara, M., Franci, L. Generation of oceanic-island basalt-type volcanism in the western Trans-Mexican volcanic belt by slab rollback, asthenosphere infiltration, and variable flux melting. *Geology* 29, no. 6, p 507-510
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1976, Estudios geológicos-paleontológicos en la región Mixteca, Parte 1: Geología del área Tamazulapán-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, V. 97, 160 p
- Ferrusquía-Villafranca, I., and Comas-Rodríguez, O., 1988, Reptiles marinos mesozoicos en el sureste de México y su significación geológico-paleontológica, Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional autónoma de México. V7, p. 136-147.
- Flores de Dios, L.A., Vachard, D., Grajales, M., Cedillo, E., 1998 Facies y ambientes sedimentarios de la Formación Patlanoaya del Paleozoico superior: cambio permanente de escenario en un espectáculo geológico de más de 100 Ma. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Delegación México. 18 p.
- Fries, C., Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central —meridional de México: Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, v. 60, 236 p.
- Fries, C., Jr and Rincón-Orta C., 1965, Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de Geocronometría: Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, v. 73, p. 57-133.
- Grajales-Nishimura M., 1988, Geology, geochronology, geochemistry and tectonic implications of the Juchatengo green rock sequence, state of Oaxaca, Southern México. Master of Science Thesis, University of Arizona: 145 p.
- Imlay, R. W., 1980, Jurassic paleobiogeography of the conterminous United States in its continental setting: U.S. Geological Survey Professional Paper 1062, 134 p.
- INEGI, 1998, carta topográfica escala 1:50,000 Hoja Coatzingo E14B63 México. 2ª impresión 1999.
- INEGI, 1989 carta topográfica escala 1:50,000 Hoja Izúcar de Matamoros E14B62. 2ª impresión 1999.

- INEGI, 1989 carta topográfica escala 1:50,000 Hoja Tehuiztzingo E14B73 2ª impresión 1999.
- Jones, N. W., Mc Kee J., Anderson T., Silver L. T., 1995, Jurásic Volcanic rocks in northeastern Mexico: A possible remnant of a Cordilleran Magmatic Arc, GSA, Special Paper, no. 301, pp.45-70.
- Keppie, J. D., Ortega-Gutiérrez F., 1995, Provenance of Mexican terranes: isotopic constraints, *International Geology Review*, vol. 37, pp. 813-824.
- Keppie, J. D., Ortega-Gutiérrez F., 1999, Middle American Precambrian basement: A missing piece of the reconstructed 1-Ga orogen, // Ramos V. A., Keppie J. D., (Eds) *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*, Geological Society of America, Special Paper 336, pp. 199-210.
- Keppie, J. D., Ramos A. V., 1999, Odyssey of terranes in the Iapetus and Rheic oceans during the Paleozoic, // Ramos V. A., Keppie J. D., (Eds) *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*, Geological Society of America, Special Paper 336, pp. 267-275.
- Maniari, P. D., Piccoli P. M., 1989, Tectonic discrimination of granitoids, *GSA Bulletin* 101, pp. 635-643.
- Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, no. 274, pp. 321-355.
- Morán-Zenteno, D. J., Urrutia-Fucugauchi, J., and Köhler, H., 1991, Rb-Sr geochronology and Sr-Nd systematics of crystalline rocks from the Xolapa terrane, southern México: *Geological Society of America Abstracts With Programs*, v. 23, A136.
- Morán-Zenteno, D.J., Martiny, B., Tolson, G., Solís-Pichardo, G., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M., Macías-Romo, C., Matrínez-Serrano, R, G., Schaaf, P., Silva-Romo, G., 2000. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. V. LIII, p 27-58.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978a, *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca*. Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. Geología Revista, V. 2 Núm. 2. P. 112-131.
- 1978b *Geología del contacto entre la Formación Acatlán Paleozoico y el Complejo Oaxaqueño Precámbrico, al oriente de Acatlán, Estado de Puebla: Sociedad Geológica Mexicana Boletín*, v. 39, p 27-28.
- 1981a, *Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance*. *Geofísica Internacional*, vol. 20, núm. 3, pp. 177-202.

- 1981b (1984), La evolución Tectónica Premisisípica del sur de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, vol. 5, pp. 140-157.
- 1983, La falla de Oaxaca, una discontinuidad tectónica fundamental del sur de México. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre Salazar L., Roldán Quintana J., Aranda Gómez J., Morán Zenteno D., Alaniz Álvarez S., Nieto Samaniego A., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana escala 1: 2'000,000. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Consejo de Recursos Minerales. , México D. F., 74 p.
- Ortega Gutiérrez, F., Mitre Salazar L., Roldán Quintana J., Sánchez Rubio G., De La Fuente M., 1990, H-3: Middle America Trench-Oaxaca-Gulf of México. Geological Society of America (GSA). Transecto Continente/Océano #14.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz J., Centeno-García E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. Geology, (GSA) vol. 23, núm. 12 pp. 1127-1130.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elias-Herrera M., Reyes-Salas M., Macías-Romo C., López R., 1999, Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern México and its bearing on Gondwana-Laurentia connections. Geology (GSA), vol. 27, no. 8, pp. 719-722.
- Pérez-Ibarguenoitia, J.M, et, al., 1965. Reconocimiento Geológico del Área Petlalcingo-Santa Cruz, Municipio de Acatlán, Estado de Puebla. UNAM, Instituto de Geología. Paleontología Mexicana, N.21, Pt.1, p 1-22.
- Ramírez-Espinosa, J., 2000., Tectono-magmatic evolution of the Paleozoic Acatlán complex in southern México, and its correlation with the Appalachian system. University of Arizona. U.S.A. 178 p.
- Robinson, K. L., Gastil R. G., Campa-Uganda M. F., Ramírez J., 1989, Geochronology of basement and metasedimentary rocks in southern Mexico and their relation to metasedimentary rocks in peninsular California. Geological Society of America (GSA), Abstract with programs, vol. 21, p. 135.
- Rodriguez-Torres, R., 1970 Geología Metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla, Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía, Excursión México-Oaxaca.
- Rowley, D. B., Pindell J. L., 1989, End Paleozoic-early Mesozoic western Pangea reconstruction and its implications for the distribution of Precambrian and Paleozoic rocks around Meso-America. Precambrian Research, vol. 42, Elsevier science, pp. 411-444.



- Ruiz, J., Patchett, P.J., and Arculus, R. J., 1988a, Reply to "Comments on Nd-Sr Isotopic Composition of lower crustal xenoliths-Evidence for the origin of mid-Tertiary felsic volcanics in México: by Cameron, K. L., and Robinson J.V.: Contribution to Mineralogy and Petrology, v. 104, p. 615-618.
- Ruiz, J., Patchett, P.J., and Ortega-Gutiérrez, F., 1988b Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of México from Nd isotopic studies: Geological Society of America Bulletin, v. 100, p. 274-281.
- Ruiz-Castellanos, M., 1979, Rubidium-strontium geochronology of the Oaxaca and Acatlán metamorphic áreas of southern Mexico. (Ph. D. dissertation): Dallas, University of Texas, 188 p.
- Ruiz, J., Tosdal R. M., Restrepo P. A., Murillo-Muñeton G., 1999, Pb isotope evidence for Colombia-southern México connection in the Proterozoic. //z Ramos V. A., Keppie J. D., (Eds.), Laurentia-Gondwana connections before Pangea, Geological Society of America, Special Papers.
- Salvador, A., 1987, Late Triassic-Jurassic Paleogeography and origin of Gulf of México basin: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 71, p. 419-451
- Saldivar-Ruiz Jorge., 1990, Geología Estructural y Tectónica de la Península Oaxaqueña. X Convención Geológica Nacional. Sociedad Geológica Mexicana.
- Sánchez-Zavala, J. L., Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., 2000. La Orogenia Mixteca del Devónico del Complejo Acatlán, Sur de México. Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana. V 20, p 321-322.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez F., Speed R. C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México. Geological Society of America, Special Paper 278, 153p.
- Silva-Pineda, A., 1970, Plantas del Pensilvánico de la región Tehuacan, Puebla: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Paleontología Mexicana, v. 29, 109 p.
- Stewart, J. H., Blodget R. B., Boucot A. J., Carter J. L., 1993, Middle Paleozoic exotic terrane near Ciudad Victoria, northeastern México, and the southern margin of Paleozoic North America. 1<sup>st</sup>, Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference, Proceedings, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 147-149.
- Tolson, J. G., 1998, Deformación, Exhumación y Neotectónica de la Margen Continental de Oaxaca: Datos Estructurales, Petrológicos y Geotermobarométricos. Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Doctorado (inédita), Instituto de Geofísica, 98 p.

- Torres, V. R., Ruiz P. J., Patchett J. P., Grajales M. J., 1999, A permo-triassic continental arc in Mexico: tectonic implications for reconstructions of southern north America. In Bartolini, C., Wilson J. L., (Eds) Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico. Special Paper., GSA, Boulder Co., pp. 191-196.
- Vachard, D., Flores de Dios, A., Buitrón, B. E., and Grajales M. 2000. Biostratigraphie par fusilines des calcaires carbonifères et permians de San Salvador Patlanoaya ( Puebla, Mexique)GEOBIOS, 33, 1: 5-33.
- Vasquez-Echeverría, A., 1986, Descubrimiento de una nueva localidad de rocas marinas del Paleozoico al suroeste del Estado de Puebla. XXIV Congreso Nacional de la AiPM, PEMEX, Dto. Expl. Zona Centro, 19 p.
- Vernon, R. H., 1986, K-feldspar megacrysts in granites – phenocrysts, not porphyroblasts. Earth Sciences Reviews, vol. 23, pp. 1-63.
- Villaseñor- Martínez, A. B., Martínez-Cortes, A., and Contreras y Montero, B., 1987, Bioestratigrafía del Paleozoico superior de San Salvador Patlanoaya, Puebla, México: Revista de la Sociedad Mexicana Paleontológica Bulletin, v.1, p. 396-417.
- Weber, R., Centeno- García, E., and Magallón- Puebla, S., 1987, La formación Matzitzi (Estado de Puebla) tiene una edad Permo Carbonífera: Segundo Simposio de Geología Regional de México, p. 57-58.
- Westermann, G.E.G., and Corona, R., and Carrasco, R., 1984 The Andean Mid Jurassic *Neuquenicerias* ammonite assemblage or Cualac, México, In Westermann, G.E.G., ad Jurassic-Cretaceous biocronology and paleogeography of North America: Geological Association of Canada Special Paper 27, p. 99-112.
- Winkler G.F. Helmunt, Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Four Edición 1976, Springer-Verlag, pp 172
- Yañez, P., Ruiz J. P., Ortega-Gutiérrez F., Gehrels G., 1991, Isotopic studies of the Acatlan Complex, southern México: implications for Paleozoic North American tectonics. Sociedad Geológica de América (GSA), Boletín, vol. 103, pp. 817-828.
- Zaldivar, R. J., 1990, La franja de intrusiones graníticas del Paleozoico superior en el occidente de Oaxaca y Sur de Puebla: México D.F., Convención Geológica Nacional., P. 57-58. (resúmenes)

***Anexo A. Petrografía de láminas delgadas.***

## Rocas Metamórficas.

## Lámina AC1-3101

- Microtextura: Foliada Lepidoblástica
- Mineralogía:
  - Clorita.
  - Zoisita
  - Cuarzo
  - Mica blanca
  - Calcita
  - Hematita
  - Turmalina
- Clasificación de la roca: Esquisto verde
- Formación: Ahuatlán.
- Facies metamórfica: Esquisto verde.
- Protolito: Roca máfica.
- Observaciones:

Hay intercrecimiento de mica blanca y clorita y crecimiento de cuarzo en los planos de foliación. Se aprecia una alteración de los cristales de rutilo a leucoxeno.

- Fotomicrografía.



Qz: cuarzo; Chl: clorita; Zo: zoisita.

Se observan cristales elongados de cuarzo mostrando extinción ondulante; están intercrecidos con zoisita y rodeados por clorita. Hay reemplazamiento tardío de calcita.

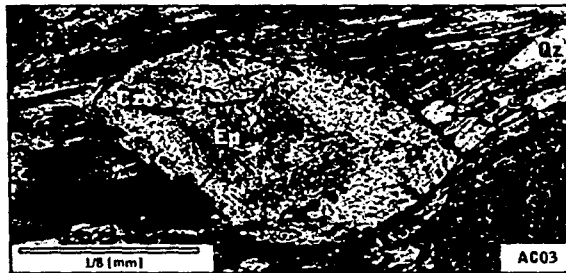
## Lámina AC3-3101

- Microtextura: Foliada Lepidoblástica
- Mineralogía:
  - Epidota/clinozoisita
  - Clorita
  - Cuarzo
  - Titanita
  - Hematita

- Clasificación de la roca: Esquisto verde
- Formación: Ahuatlán.
- Facies metamórfica: Esquisto verde.
- Protolito: Roca máfica.
- Observaciones.

Hay crecimiento de mica en los planos de foliación, se observa cristales con zoneamiento de epidota (en el núcleo) con bordes de clinozoisita, que indica cambios en las condiciones de oxidación.

- Fotomicrografía.



Ep: Epidota; Czo: Clinozoisita; Qz: cuarzo.

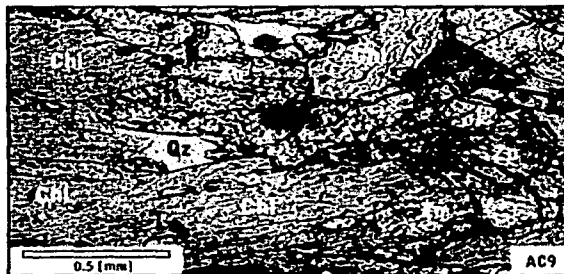
En el centro se encuentra un cristal zoneado de epidota a clinozoisita, rodeado por cuarzo y mica blanca.

## Lámina AC9-0301

- **Microtextura:** Foliada
- **Mineralogía:**
  - Clorita.
  - Cuarzo
  - Zoisita
  - Titanita
  - Zircón.
- **Clasificación de la roca:** Esquisto verde
- **Formación:** Ahuatlán.
- **Facies metamórfica:** Esquisto verde.
- **Protolito:** Roca piroclástica de composición básica.
- **Observaciones.**

Foliación bien definida con un plegamiento incipiente. Los cristales de clorita y zoisita no presentan bordes de alteración. Se observan texturas relictas de una roca piroclástica.

- **Fotomicrografía.**



Qz: cuarzo; Chl: clorita; Zo:zoisita

Textura de intercrecimiento entre la zoisita – clorita – cuarzo.

## Lámina AC16-0301

- Microtextura: Lepidoblástica
- Mineralogía:
  - Clorita.
  - Cuarzo
  - Mica blanca
  - Zoisita
  - Hematita
  - Zircón
- Clasificación de la roca: Esquisto verde de clorita
- Formación: Ahuatlán.
- Facies metamórfica: Esquisto verde.
- Protolito: Roca piroclástica de composición básica.
- Observaciones.

Foliación bien definida, los cristales de clorita y zoisita no presentan bordes de alteración y se encuentran orientados en la dirección de la foliación, se observan texturas relictas de una roca piroclástica.

- Fotomicrografía.



Qz:cuarzo; CHI:Clorita; Zo:Zoisita.

Los cristales de clorita y zoisita se encuentran orientados en la dirección de la foliación.

## Lámina AC2-3101

- Microtextura: Foliada lepidoblástica.
- Mineralogía:

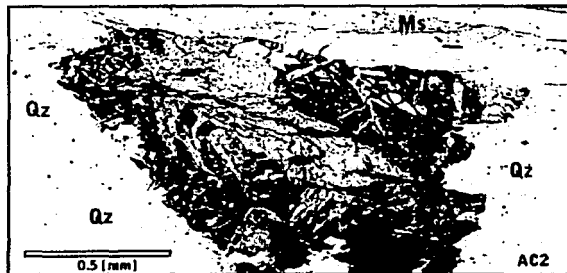
- Clorita.
- Cuarzo
- Mica blanca
- Albita
- Granate
- Zircón
- Rutilo
- Apatita

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

- Clasificación de la roca: Esquisto de mica y granate
- Formación: Xayacatlán
- Facies metamórfica: Eclogita en rocas pelíticas.
- Protolito: Roca pelítica
- Observaciones:

Hay intercrecimiento de mica blanca y clorita y crecimiento de cuarzo en los planos de foliación. Se aprecia una alteración de los cristales de rutilo a leucoxeno. El granate está siendo reemplazado por hematita.

- Fotomicrografía.



Qz: cuarzo; chl: clorita; Ms: mica blanca.

El cristal del centro corresponde a granate, afectado por retrogresión. Está parcialmente reemplazado por clorita y se encuentra rodeado por cuarzo.

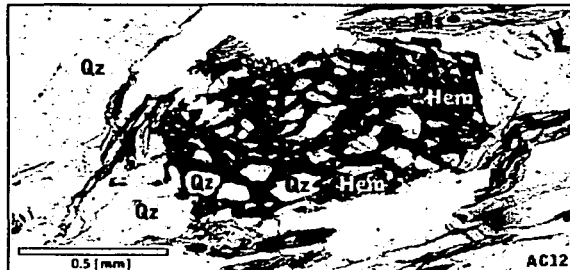


## Lámina AC12-0301.

- **Microtextura:** Porfidoblástica
- **Mineralogía**
  - Cuarzo, (con extinción ondulante)
  - Mica blanca
  - Granate
  - Rutilo
  - Zircón redondeado o detrítico.
  - Turmalina
  - Opacos, en su mayoría óxidos e hidróxidos de Hierro.
- **Clasificación de la roca:** Esquisto de mica blanca y granate
- **Formación:** Xayacatlán
- **Facies metamórfica:** Eclogita en rocas pelíticas.
- **Protolito:** Lutita.
- **Observaciones:**

El cuarzo en su totalidad presenta extinción ondulante. Los granates se aprecian rotados y están parcialmente reemplazados por hematita, en los planos de foliación hay crecimiento de mica blanca,

- **Fotomicrografía.**



Qz: cuarzo, Ms: mica blanca; Hem: hematita.

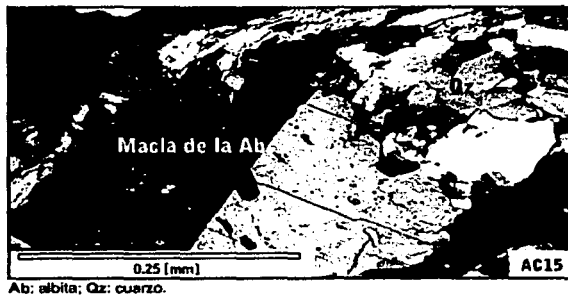
El cristal del centro pertenece a un granate que está siendo parcialmente reemplazado por hematita y pseudomorfos de arcillas. Está rodeado por mica blanca y cuarzo con extinción ondulante posterior al crecimiento del granate.

## Lámina AC15 - 0301

- Microtextura: Lepidoblástica
- Mineralogía:
  - Clorita.
  - Cuarzo
  - Mica blanca
  - Granate
  - Albita
  - Epidota /Zoisita
  - Rutilo
  - Hematita
  - Zircón.
- Clasificación de la roca: Esquisto de mica y granate
- Formación: Xayacatlán
- Facies metamórfica: Eclogita en rocas pelíticas.
- Protolito: Sedimentos ricos en aluminio.
- Observaciones.

La albita presenta su macla típica.

- Fotomicrografía.



Ab: albita; Qz: cuarzo.

Al centro un cristal de albita mostrando su macla típica. Lo rodea un mosaico compuesto por cristales subedrales de cuarzo, clorita y epidota en menor cantidad.

## Lámina AC5-0101

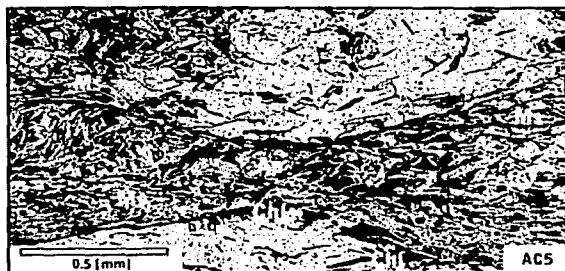
- **Microtextura:** Foliada Lepidoblástica
- **Mineralogía:**

- Clorita.
- Cuarzo
- Mica blanca
- Zircón
- Apatito

- **Clasificación de la roca:** Esquisto pelítico (filita)
- **Formación:** Cosoltepec.
- **Facies metamórfica:** Esquisto verde (zona de clorita).
- **Protolito:** Sedimentos silíceo-aluminosos, tal vez lutitas con lentes de pedernal.
- **Observaciones.**

Se aprecian estructuras semejantes al boundinange producto de anisotropía mecánica. Los minerales micáceos están orientados en dirección de los planos de foliación.

- **Fotomicrografía.**



Ms: mica blanca; Chl: clorita; Qz: cuarzo; Ap: apatito.

En el centro se encuentra un cristal de apatito contenido en una matriz de cuarzo, clorita y mica blanca. La lámina delgada muestra anisotropía mecánica.

## Lámina AC10-0301

- **Microtextura:** Foliada cataclástica.
- **Mineralogía:**
  - Clorita.
  - Mica blanca
  - Cuarzo.
  - Rutilo
  - Hematita
  - Zircón.

TERNIS C N  
 FALLA DE ORIGEN

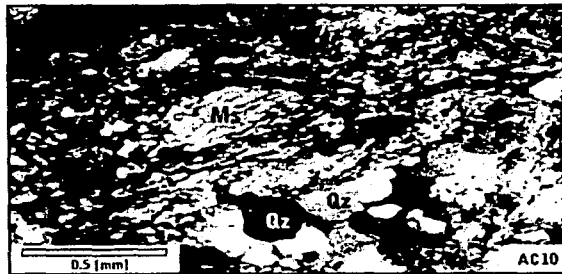
- **Clasificación de la roca:** Filita Cuarzosa
- **Formación:** Cosoltepec
- **Facies metamórfica:** Esquisto verde (zona de clorita).
- **Protolito:** Sedimentos pelíticos.
- **Observaciones.**

El cuarzo (40% de la lámina) presenta extinción ondulante debido a la deformación intensa.

Los cristales de mica están definiendo la foliación.

Se ve estratificación foliada seguida por foliación plegada.

- **Fotomicrografía.**



Ms: mica blanca; Qz: cuarzo

Los cristales de cuarzo se aprecian con extinción ondulante. La mica blanca con su típica alta birrefringencia muestra foliación plegada.

## Lámina AC13 – 0301.

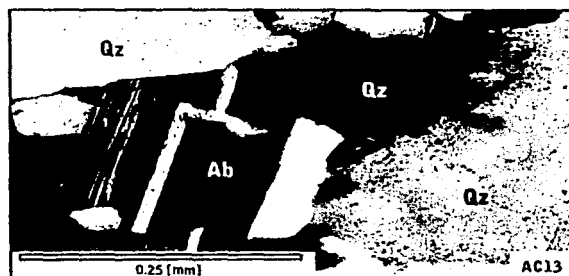
- Microtextura: Blastomilonítica de grano medio.
- Mineralogía:

- Cuarzo con extinción ondulante.
- Mica blanca, muy posiblemente fengita.
- Feldespato Potásico
- Albita, en su mayoría maclada.
- Zoisita
- Epidota
- Clorita
- Apatita

- Clasificación de la roca: Metagranito
- Formación: Granitoides Esperanza.
- Facies metamórfica: Epidota - Anfibolita.
- Protolito: Roca Granítica.
- Observaciones:

Es notable la abundancia relativa de la albita sobre la ortoclasa, debido a que la roca sufrió milonitización produciendo una disminución en el tamaño de grano del feldespato potásico.

- Fotomicrografía.



Qz: cuarzo; Ab: albita

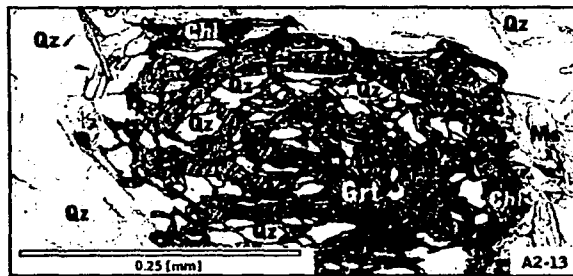
Cristal de albita maclado y rodeado por cuarzo con extinción ondulante producto de la deformación.

## Lámina A2-13

- Microtextura: Porfidoblástica.
- Mineralogía:
  - Cuarzo
  - Clorita.
  - Granate
  - Feldespato Potásico
  - Mica blanca
  - Hematita
  - Zircón
  - Apatito
- Clasificación de la roca: Esquisto de granate
- Formación: Granitoides Esperanza
- Facies metamórfica: Epidota - Anfibolita.
- Protolito: Roca pelítica con alto contenido en aluminio.
- Observaciones.

Foliación bien definida por los cristales de clorita y mica blanca, los cristales de granate presentan una estructura helicítica "snow ball" y se encuentran rotados  $720^\circ$  como mínimo definiendo un crecimiento sintectónico. El cuarzo presenta extinción ondulante.

- Fotomicrografía.



Qz: Cuarzo; Ma: Mica blanca; Hem: Hematita; Grt: Granate.

Al centro cristal rotado de granate "snow ball" rodeado por un mosaico compuesto por cristales de cuarzo y mica blanca.

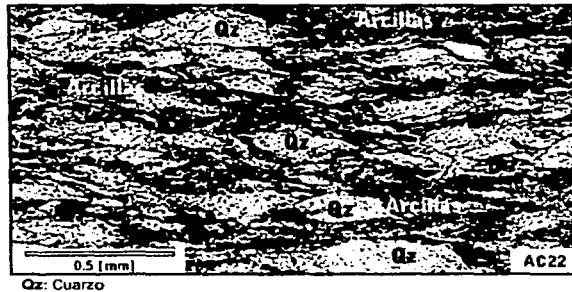
## Rocas Sedimentarias.

### Lámina AC22-0501

- Mineralogía:
  - Fragmentos argílicos
  - Cuarzo
  - Pedernal
  - Minerales opacos
  - Calcita
- Madurez Textural: Inmadura
- Clasificación de la roca: limolita
- Formación: Oate
- Observaciones.

La roca esta levemente metamorfozada, los clastos se encuentran alargados en la dirección de la foliación, la matriz principalmente de arcillas esta cloritizada

- Fotomicrografía.



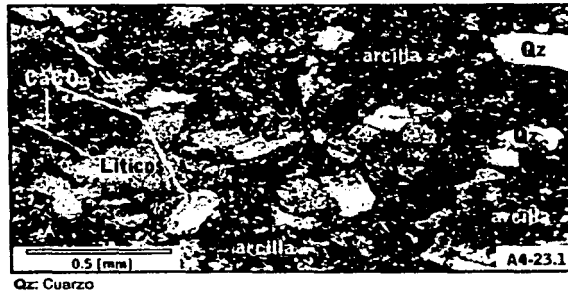
Los fragmentos de cuarzo, se encuentran alargados en dirección de la foliación, se observa cloritización en la matriz

## Lámina A4-23.1

- **Mineralogía:**
  - Volcanoclásticos
  - Cuarzo
  - Feldespato
  - Clorita
  - Calcita
- **Madurez textural:** Inmadura
- **Clasificación de la roca:** Grauwaca lítica
- **Formación:** Otate
- **Observaciones:**

El porcentaje de volcánoclastos es mayor al de cuarzo, el feldespato es muy escaso. Los clastos están soportados por una matriz de arcillas cloritizada, se observa recristalización tardía de calcita.

- **Fotomicrografía.**



Fragmentos de cuarzo y líticos, en una matriz de arcilla

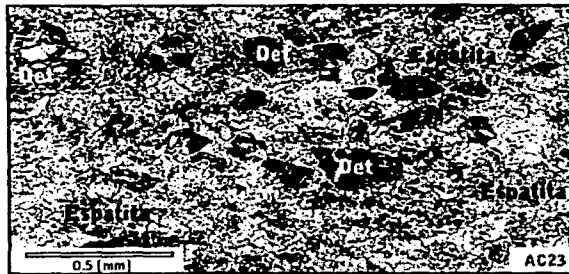


## Lámina AC23-0501

- Mineralogía:
  - líticos de roca metamórfica
  - Cuarzo
  - Feldespato
  - Clorita
  - Calcita
- MadurezTextural: Inmadura
- Clasificación de la roca: Intraespatita
- Formación: Otate
- Observaciones:

La mayoría de los fragmentos líticos son de rocas metamórficas, mal clasificados y cementados por espatita, en algunas partes están rellenas por micrita.

- Fotomicrografía.



Det: Detritos líticos de roca metamórfica

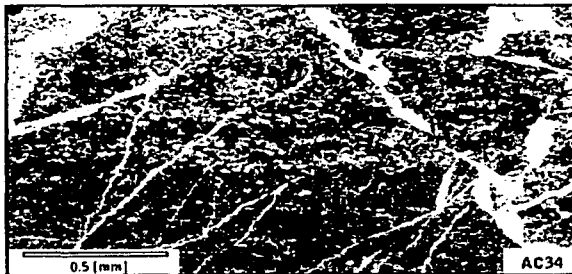
Fragmentos líticos de roca metamórfica, cementados por espatita.

## Lámina AC34-0501

- **Mineralogía:**
  - Fragmentos líticos
  - Arcilla
  - Pirita
  - Calcita
  
- **Madurez Textural:** Inmadura
- **Clasificación de la roca:** Limolita
- **Formación:** Otate
- **Observaciones:**

Predomina una matriz arcillosa, en los clastos se observa gradación normal y bastante fracturamiento, las fracturas están rellenas por calcita y pirita;

- **Fotomicrografía.**



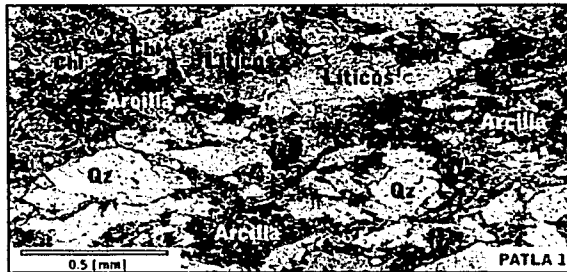
La roca está sumamente fracturada, en las fracturas hay calcita y pirita, se observa gradación normal en los clastos.

## Lámina Patla1

- Mineralogía
  - Volcaniclásticos
  - Cuarzo
  - Feldespato
  - Clorita
  - Calcita
- Madurez textural: Inmadura
- Clasificación de la roca: Grauwaca lítica
- Formación: Otate
- Observaciones.

El porcentaje de volcaniclásticos es mayor al de cuarzo, no hay feldespato, los clastos están soportados por una matriz de arcillas cloritizada, se observa recristalización tardía de calcita.

- Fotomicrografía.



Qz: Cuarzo, Chl: Clorita, líticos volcaniclásticos

Se observan fragmentos líticos de volcaniclásticos soportados por una matriz de arcilla.

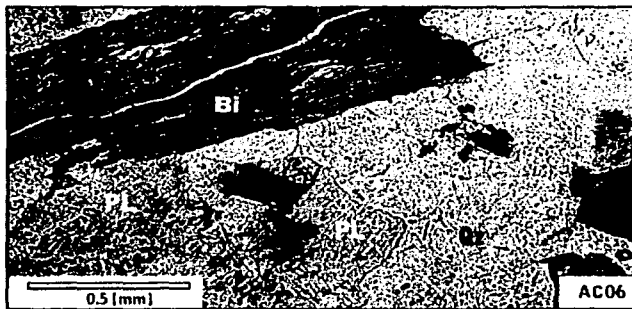
## Rocas Intrusivas.

### Lámina AC6 -0201.

- **Microtextura:** Holocristalina de grano medio a grueso.
- **Mineralogía:**
  - Biotita cloritizada, donde se aprecia un alto pleocroísmo de verde a pardo verdoso.
  - Cuarzo abundante, aproximadamente en 1/3 de la lámina. En algunos cristales se observa extinción ondulante.
  - Ortoclasa perfitica.
  - Mica blanca.
  - Oligoclasa, con un ángulo de extinción promedio de 10°.
  - Sericita.
  - Apatita con hábito prismático alargado, lo que indica magmas de altas temperaturas para rocas félsicas, del orden de 700°C.
  - Zircón
  - Opacos, especialmente hematita.
- **Clasificación de la roca:** Granito de biotita.
- **Formación:** Granito " Palo Liso "
- **Observaciones:**

Se observa una alteración generada por aguas meteóricas o por actividad hidrotermal tardía. Esto se aprecia claramente en la cloritización de la biotita, y el reemplazamiento de oligoclasa por sericita. El cuarzo es la fase mineral más abundante y más desarrollada al nivel de lámina delgada, con tamaños aproximados de sus cristales de 5 a 7 mm.

- Fotomicrografía.



Hbl: Hornblenda; PL: Plagioclasa; Qz: Cuarzo.

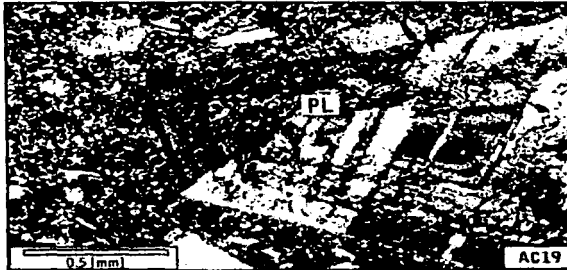
Los cristales de hornblenda, plagioclasa y cuarzo se presentan en contactos típicos de rocas intrusivas, la hornblenda presenta alteración.

## Lámina AC19 –030

- **Microtextura:** Microlítica
- **Mineralogía:**
  - Plagioclasa Zonada, formando fenocristales
  - Cuarzo
  - Hornblenda, con pleocroismo característico
  - Feldespato potásico
  - Zircón.
  - Opacos, especialmente hematita.
- **Clasificación de la roca:** Dacita
- **Formación:** Intrusivo Las minas
- **Observaciones:**

La roca consiste en cristales de plagioclasa (zonados), cuarzo y hornblenda en una pasta microlítica; el feldespato potásico se presenta en menor proporción

- **Fotomicrografía.**



PL: Plagioclasa

Los fenocristales de plagioclasa zonados presentan bordes angulosos propios de su hábito prismático cristalino, están inmersos en una pasta microlítica.