



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Geología e implicaciones tectónicas del
borde septentrional del Complejo Xolapa
(Área de Zenzontepec, Oaxaca).**

**TESIS QUE PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A :
MIGUEL SEGURA JIMENEZ**

**DIRECTOR:
ING. JAVIER ARELLANO GIL**

MEXICO D.F. SEPTIEMBRE, 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIA:

A LA MEMORIA DE MI PADRE, QUIEN ME INTRODUIERA A LOS PLACERES DEL CONOCIMIENTO, PUES CON PACIENCIA SUPO RESPONDER A MUCHAS DE MIS PREGUNTAS Y QUIEN CON TIERNO CARÁCTER ME INVITARA A SUPERARME.

A MI MAMÁ QUIEN CON SABIOS CONSEJOS ME SUPO GUIAR A ESTE BUEN DESTINO.

A MIS HERMANAS QUIENES SIEMPRE TIENEN UNA PALABRA DE ALIENTO AUN EN MIS PEORES MOMENTOS.

A MIS SOBRINOS DE QUIENES SE QUE TENGO SU AFECTO Y A QUIENES TAMBIÉN YO QUIERO.

A MI ESPOSA E HIJOS QUE SON BENDICIONES Y QUIENES SON LA COLUMNA DE MI EXISTENCIA.

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS DE QUIENES RECIBÍ SU CARIÑO.

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS DE LA CARRERA DE LOS QUE RECIBÍ MAS QUE SU AMISTAD, SUS CONOCIMIENTOS Y LA OPORTUNIDAD DE CRECER.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM NUESTRA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS A QUIEN DEBO MI EDUCACIÓN Y SUPERACIÓN Y DONDE RESIDE EL ACERVO CULTURAL DE LOS MEXICANOS.

Indice

	pp.	
Resumen	1	
Prólogo	2	
Capítulo I	Generalidades	
1.1	Introducción	4
1.2	Objetivo	5
1.3	Metas	6
1.4	Ubicación del área	6
1.5	Antecedentes	6
1.6	Vías de Comunicación	10
1.7	Fisiografía	12
1.8	Características climatológicas	14
Capítulo II	Estratigrafía del área	
2.1	Descripción del Paleozoico	15
2.2	Descripción del Mesozoico	16
Capítulo III	Geología Estructural	
3.1	Estructuras mayores	
3.1.1	Fallas y plegamientos	25
3.2	Estructuras menores	
3.2.1	Microestructuras	26
3.3	Los Terrenos tectonoestratigráficos de la región	34
Capítulo IV	Geología Histórica	
4.1	Evolución Proterozoica y Paleozoica	36
4.2	Evolución Mesozoica	36
4.3	Evolución Cenozoica	38

Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	41
Referencias Bibliográficas	43
Apéndice A. Petrografía	45
Apéndice B. Laboratorio de Petrografía	48

Índice de Tablas

pp.

1. Tabla de Datos estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oax_ 28
2. Tabla de Datos estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oax_ 29
3. Tabla de Datos estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oax_ 30
4. Tabla de Datos estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oax_ 31

Índice de Figuras

1. Mapa regional que muestra la ubicación de terrenos tectonoestratigráficos del sur de México y la ubicación de zona de estudio. _ _ _ _ _ 7
2. Vías de comunicación _ _ _ _ _ 11
3. Panorámica de zona de estudio _ _ _ _ _ 13
4. Mapa geológico del área de Zenzontepec, Distrito de Sola de Vega, Oax. _ _ 14
5. Fotografía mostrando diques concordantes _ _ _ _ _ 19
6. Fotografía mostrando bandeamiento magmático en ortogneis _ _ _ _ _ 19
7. Fotografía mostrando textura cumúlítica _ _ _ _ _ 20
8. Fotografía mostrando brechamiento magmático _ _ _ _ _ 20
9. Fotografía mostrando gneises con estructuras asimétricas _ _ _ _ _ 22
10. Estereograma con polos de foliaciones, lineaciones y ejes de pliegues _ _ _ 32
11. Roseta de líneas de máx. pendiente para el Complejo Juchatengo _ _ _ _ 32
12. Estereograma con polos de foliaciones, lineaciones y ejes de pliegues _ _ _ 33
13. Roseta de líneas de máx. pendiente para Complejo Xolapa _ _ _ _ _ 33
14. Modelo tectónico del sur de México _ _ _ _ _ 40

RESUMEN

En este trabajo se exponen parte de los resultados del Proyecto de Investigación 36821T financiado por el **CONACyT** cuyo responsable es el Dr. Mariano Elías Herrera.

La investigación se realizó en el sur de México, en el Estado de Oaxaca, en las inmediaciones de los poblados de Santa Cruz Zenzontepec, La Aurora, La Huichicata, Mano del Señor y Santa María; todos pertenecientes al Distrito de Sola de Vega. Se realizó acopio de datos de geología de campo (estructuras, lineación y foliación mineral) a lo largo de las márgenes del río Atoyac y en una porción del río Verde. Los caminamientos se realizaron en época de estiaje, para facilitar el trabajo, ya que estos ríos desembocan al Pacífico y transportan gran caudal.

De las rocas metamórficas que afloran en el área de estudio se constató que corresponden a las secuencias del Complejo Xolapa y Juchatengo, en cuyo contacto se determinó que existe una zona de milonitas originadas por fallas de desplazamiento lateral-izquierdo que corresponden a eventos tectónicos regionales, siendo el más antiguo el que tuvo lugar a fines del Jurásico y principios del Cretácico. Este evento parece estar asociado al calentamiento y engrosamiento de la corteza como consecuencia del movimiento del arco magmático del Jurásico (Complejo Xolapa) hacia el oriente, causado por el corrimiento en dirección este del Bloque de Chortis, durante la formación del Caribe. Los análisis petrográficos muestran que hay una clara manifestación de milonitización ya que los indicadores cinemáticos (peces de mica y porfiroclastos sigma) que se observan permiten interpretar que la fase más importante de deformación es por cizalla.

PRÓLOGO.

Es la primera ocasión que tengo la oportunidad de escribir un documento de esta naturaleza y es para mí una gran satisfacción poder presentar algo que signifique una contribución al conocimiento geológico de la zona de estudio, y lo es también al someterlo a la consideración y discusión de los especialistas, ya que constituye el primer acercamiento formal con la investigación científica, por lo que es grato someter este documento a la consideración de los geocientíficos.

En este trabajo presento el estudio geológico referente a las rocas metamórficas de Sta. Cruz Zenzontepec Oaxaca y particularmente trato de dilucidar el tipo de contacto entre el Complejo Xolapa y las rocas del Complejo Juchatengo circundantes.

Existe información generada y publicada por autores nacionales y extranjeros sobre el tópico señalado, especialmente en la literatura que ha desarrollado por largos años la investigación de los Servicios Geológicos de diferentes países, así como la del Instituto de Geología de la UNAM; sin embargo, en la mayoría de los casos es información regional.

La labor de los investigadores en Ciencias de la Tierra a nivel mundial se refleja en la publicación de importantes artículos sobre el Complejo Xolapa y la margen continental del sur de México, como es el caso de los trabajos de exploración geológica, de Carl Fries en 1962; los trabajos de reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de Zoltán de Cserna, 1965; asimismo los trabajos mas recientes de María F. Campa y P. Coney en 1983 y de Ortega-Gutierrez 1981, 2003 sobre la evolución tectónica premisisípica del Sur de México y El Complejo Xolapa, asimismo Tolson, 1998, 2005, Morán Z. 1992 y 1996 y una larga lista de investigaciones, que han llevado a una mejor comprensión sobre los aspectos formales de su constitución y el esclarecimiento de la estratigrafía y su

interpretación en el contexto de la dinámica terrestre, mejor conocida como la Teoría de la Tectónica Global. Esto ha permitido establecer los múltiples movimientos corticales que originaron sistemas de esfuerzos que ocasionaron el fracturamiento, fallamiento, magmatismo y metamorfismo; todos estos componentes son la manifestación de esa movilidad y deformación que se tiene en el área de estudio. También, se ha realizado la interpretación de la evolución tectónica y se han obtenido edades radiométricas para situar las rocas de los complejos metamórficos que caracterizan la región.

Este trabajo es la suma de esfuerzos y voluntades de muchos investigadores que me anteceden, que al mismo tiempo pretende ser una modesta contribución al conocimiento de la problemática existente relativo a la tectónica de esta región de estudio y las posibilidades de su interpretación; particularmente mi contribución es haber participado en la elaboración de la cartografía geológica y en la interpretación de las relaciones estratigráficas-estructurales de un sector del Estado de Oaxaca.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la valiosa ayuda que me proporcionó el Instituto de Geología de la UNAM; además deseo expresar mi gratitud al **Consejo de Ciencia y Tecnología CONACyT** por el financiamiento de la investigación de la cual este trabajo es solo una pequeña parte; también manifiesto mi agradecimiento al Dr. Mariano Elías, responsable de la investigación, por su orientación, apoyo y experiencia transmitida en el campo. También agradezco a mi asesor de tesis, Ing. Javier Arellano Gil, por sus aportaciones y por la cuidadosa revisión del trabajo, lo que permitió su enriquecimiento; asimismo a compañeros e instituciones de los que recibí su colaboración y apoyo.

I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se desarrolló en el estado de Oaxaca, en un área cercana al poblado denominado Santa Cruz Zenzontepec; la totalidad del área de estudio comprende las unidades metamórficas del Complejo Xolapa y parte de la secuencia Juchatengo.

El trabajo inició con una etapa de recopilación de información sobre el área de estudio, en la que cabe citar el valioso acervo que existe en la extensa bibliografía que obra en poder de la Unidad de Bibliotecas de la UNAM, donde se encuentran los trabajos realizados por investigadores del Instituto de Geología de la UNAM y las de procedencia extranjera. Se revisó, se analizó y se realizó una síntesis de los aspectos más relevantes de la región.

Posteriormente, se llevó a cabo el trabajo de campo, en el que se realizó una cuidadosa descripción de las unidades rocosas, la medición y mapeo con brújula Brunton de las unidades estructurales, obteniendo los rumbos y echados de las foliaciones de las secuencias metamórficas; los rasgos geológicos fueron ubicados con geoposicionador satelital **GPS**; todos los datos se referenciaron a las cartas topográficas Claves: E14-D65 y E14-D75 escala 1: 50 000 de INEGI, que debido a su escala se logró tener una visión clara para llevar a cabo el mapeo de lineamientos con expresión superficial, mismas que conformaron el mapa geológico del área de estudio. Con los datos e información disponible durante las etapas previas de análisis y procesamiento de información, así como del acopio y colección de datos de campo, se estableció la correlación con el modelo geológico estructural.

La elaboración de la cartografía y las mediciones de campo se llevaron a cabo durante la etapa de estiaje, cuando los ríos de la región lo permiten, ya que llevan poco caudal, tal es el caso del río Atoyac, en el que se hicieron recorridos con levantamiento

geológico en los cortes naturales de su valle. Incluyo también los resultados de la radiometría que generosamente cedió el responsable académico de la presente investigación.

El fracturamiento se originó por una fase de extensión y transtensión sinistral, donde también interactuó un arco isla, procesos tectónicos que ayudaron a comprender la evolución del área y los tipos de contactos entre las rocas metamórficas. Asimismo, se realizó una breve descripción sobre los mecanismos del origen, de los distintos elementos estructurales y tectónicos del sur de México, que han podido interpretarse gracias a los trabajos realizados por otros investigadores.

La información estructural y estratigráfica se correlacionó con las rocas de otros complejos, y con el empleo de la metodología aplicada en este estudio, fue posible el estudio de zonas aledañas al proyecto.

Asimismo con el análisis de trabajos previos y con el trabajo de campo se realizó el mapa geológico del área estudiada, que corresponde con uno de los principales aportes de este trabajo.

1.2 OBJETIVO

El objetivo fundamental es determinar la naturaleza del contacto entre los terrenos mixteco, zapoteco y chatino; al mismo tiempo conocer, describir e interpretar las características de las rocas metamórficas del área, su geología estructural y sus relaciones estratigráficas; su relación con las estructuras regionales y su implicación en aspectos de la geodinámica.

1.3 METAS

Establecer la correlación con los modelos geológicos propuestos con otros autores e interpretar la naturaleza de los contactos y relaciones estructurales entre las diferentes secuencias expuestas.

Con la integración de los resultados obtenidos en el trabajo de campo y de gabinete elaborar un mapa geológico detallado.

1.4 UBICACIÓN DEL ÁREA

El Estado de Oaxaca tiene aproximadamente una extensión territorial de 95,364 Km², lo que representa el 4.8% de la superficie total de la República Mexicana, ocupando el quinto lugar a nivel nacional. La entidad está dividida en ocho regiones geoeconómicas, 30 distritos y 570 municipios.

La superficie del Distrito Sola de Vega, donde pertenece la zona de estudio, se ubica dentro de la región geoeconómica VI Sierra Sur, es de 3,719.03 Km² con 55,347 habitantes, de acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 2005.

La comunidad más próxima al sitio donde desarrollamos el estudio se ubica dentro del Municipio Santa Cruz Zenzontepec, que tiene una población total de 16,773 habitantes (INEGI, 2005); la totalidad del área de estudio comprende las unidades metamórficas del Complejo Xolapa en el terreno Chatino y parte de la Secuencia Juchatengo en el terreno Zapoteco, perfectamente demarcadas en Mapa de Sedlock, 1993 (Fig. 1).

1.5 ANTECEDENTES

Numerosas investigaciones se han llevado a cabo para comprender la naturaleza de la geología de los complejos metamórficos del sur de México, que ha significado un desafío para quienes han investigado aspectos geológicos en esa amplia región, debido a la

complejidad estratigráfica, a la heterogeneidad de edades radiométricas obtenidas, a la variedad de grados de metamorfismo y las posiciones estructurales encontradas.

Existe una secuencia de rocas metamórficas en la Región Mixteca conocidas como “El Complejo Basal Metamórfico de edad Precámbrica” reportadas por primera vez por

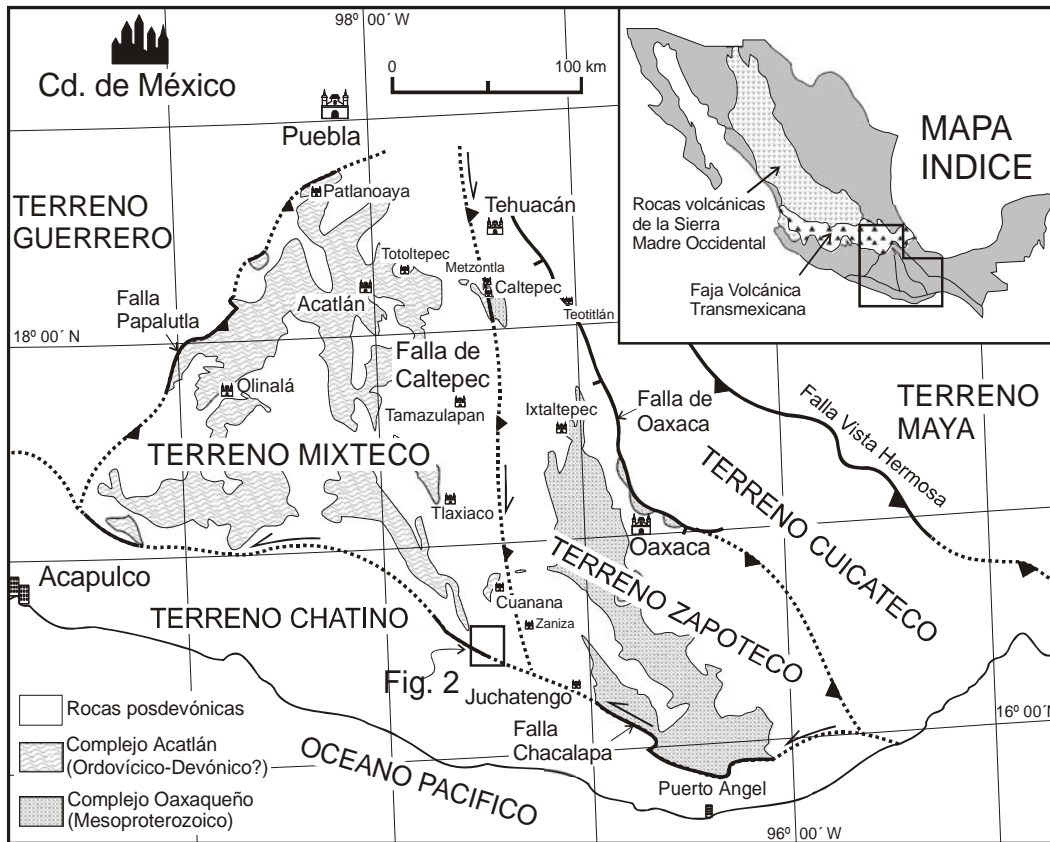


Fig. 1 Mapa Regional que muestra la ubicación de los terrenos tectonoestratigráficos del Sur de México y la ubicación del área de estudio

Ordóñez E. (1904), quien reporta que afloran en bandas más o menos estrechas, generalmente en forma irregular a manera de ventanas estructurales; se considera que gran parte de estas rocas cristalinas son la subestructura (basamento) de rocas más recientes. Una determinación radiométrica de estas rocas se realizó en una muestra de flogopita procedente de una vetilla pegmatítica en Zaachila, Oaxaca, que fue enviada a los laboratorios del Geological Survey de Estados Unidos. Se obtuvo un fechamiento por el método de potasio-argón arrojando una edad de 940 ± 30 millones de años (Schmitter, 1957 y 1960 y Fries, 1962).

Esto permitió concluir a los autores antes citados que las pegmatitas de las cuales se extrajo la muestra estudiada, son de edad más antigua que el Paleozoico, por lo que Fries y Schmitter concluyen que “la formación de las pegmatitas tuvo lugar en una

época entre 1000 y 1200 millones de años, y que el metamorfismo de la roca cortada por las pegmatitas es definitivamente de edad Precámbrica”.

Fries (1960) consideró que las pegmatitas de la parte central del estado de Oaxaca, fueron formadas hacia el final de la época en que las rocas encajonantes fueron metamorizadas, por lo que propone denominar a este episodio de metamorfismo y actividad ígnea asociada como “Orogenia Oaxaqueña”, equivalente en edad a la “Orogenia Grenviliana”.

En 1961 se publicó la primera Carta Tectónica de México, patrocinada por el Servicio Geológico Americano, en la que participó Zoltán de Cserna; en este trabajo se constató que las rocas más antiguas (Precámbrico) del territorio mexicano se localizaban tanto en el Norte (Sonora) como hacia el sur, particularmente en el Estado de Oaxaca.

En la celebración de la VI Convención de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México de 1966, Cárdenas Vargas, publicó el trabajo titulado “Contribución al conocimiento de la Mixteca Oaxaqueña”; en este trabajo se bosqueja un mapa geológico esquemático donde se muestra concretamente el área del presente estudio, conformada por rocas del mencionado Complejo Basal Metamórfico, constituido por gneises y esquistos, bordeadas por rocas pertenecientes al Jurásico compuestas por areniscas, calizas y lutitas.

Ortega-Gutierrez (1981), aportó ante la comunidad geológica internacional un trabajo donde realizó la interpretación tectónica del sur de México y regiones circundantes, en donde incluye una interpretación del complejo Xolapa como de arco magmático. Sobre la base de migmatización a gran escala de la corteza media y baja, y el muy extenso plutonismo granodiorítico, tonalítico y granítico; interpretó el complejo como un arco magmático construido a través de un proceso evolucionario de emplazamientos de magma y migmatización de la corteza. Posteriormente otros investigadores llevaron a cabo estudios dentro de esta región, tal es el caso de Campa y Coney, 1983, quienes sugirieron que gran parte del basamento del sur de México comprende terrenos

sospechosos, con paleogeografías desconocidas relativas al cratón de Norteamérica. Ellos delinearon los terrenos de Guerrero, Xolapa, Juárez, Oaxaca y la Mixteca. Estos terrenos acrecieron a la margen continental de México entre el Cretácico Tardío y Cenozoico Temprano, ó entre el Jurásico Medio y Cenozoico Temprano (Morán Z., et. al., 1986).

El interés reciente que han tenido los geocientíficos por el complejo Xolapa, se debe en parte a su constitución petrológica, ya que está formada de rocas metamórficas de alto grado (wollastonita, cummingtonita, cordierita, silimanita-andalusita) graduando a ortogneis migmatítico y paragneis; además contiene una serie de plutones que afloran; y una gruesa cubierta de rocas sedimentarias no metamorfoseadas, cubriendo los terrenos adyacentes. Estas investigaciones dieron lugar a otros trabajos como los de Herrmann U. R. y otros en 1994, que corroboraron las ideas previas y que incluso proponen modelos tectónicos congruentes sobre la evolución en esta parte del territorio, tal es el caso del mecanismo de transtensión junto con un régimen de fallamiento lateral-izquierdo, establecidos durante la formación del Caribe. Como resultado, se tienen ya algunas conclusiones sobre las edades y mecanismos de origen del Complejo Xolapa; así se interpreta que durante Jurásico y Cretácico (165-128 Ma) con edades obtenidas de isótopos de U/Pb en circón y Rb/Sr de roca completa, reflejan la construcción de un arco magmático a lo largo de este complejo, originado por la subducción a lo largo de la margen sur del cratón de Norteamérica. La actividad termal culminó durante el Paleógeno Temprano (66-46 Ma). Junto con el crecimiento cortical por plutonismo (35-27 Ma) seguido por un evento de migmatización, probablemente representa la evolución final del arco a lo largo del complejo Xolapa; posteriormente la actividad magmática anterior se trasladó a la presente posición Centro-Mexicana.

Las investigaciones de Grajales-Nishimura, Centeno-García E. y otros, 1999, en una zona cercana al área de estudio resaltan que los basaltos Juchatengo de edad Permo-

Carbonífera, se formaron cerca de la margen oriente de una cuenca tras-arco. Esta secuencia está constituida por rocas que han sido consideradas por diversos autores como de edad Pérmica y las cuales se componen de rocas de afinidad oceánica, ya que se encuentran diques, rocas gabróicas, lavas almohadilladas y como constituyente metamórfico una secuencia de filitas.

Un trabajo importante referente a la geología del Complejo Xolapa, es la tesis doctoral de Corona Chávez (1997), quien realizó un estudio completo por medio de cartografía, petrología metamórfica y geología estructural; realizó cálculos de presión y temperatura en rocas de este complejo, concluyendo que el pico térmico fue a más de 850°C y que el esfuerzo máximo fue mayor a 7 kbar.

La publicación del trabajo de Tolson (2005), sobre la Falla Chacalapa en el sur de Oaxaca, es una contribución muy importante, ya que identifica y caracteriza la zona de cizalla, constituida por ultramilonitas, milonitas, protomilonitas, pseudotaquilitas, filonitas y cataclasitas, en orden cronológico de desarrollo. Este autor interpreta que la cinemática de esta zona de cizalla vertical es predominantemente una falla lateral-izquierda y que el registro de temperaturas de recristalización es del orden de 500° C. En cuanto a la edad de las rocas miloníticas de esta falla se las ubica entre los 29 ± 0.2 y los 23.7 ± 1.2 Ma.

1.6 VIAS DE COMUNICACIÓN

El Estado de Oaxaca cuenta con siete carreteras federales, seis rutas de ferrocarril, tres aeropuertos (dos de servicio internacional, Ciudad de Oaxaca y Santa Cruz Huatulco, y uno nacional) y cuatro puertos marítimos, de los cuales solamente el Puerto de Salina Cruz es de altura; asimismo se cuenta con servicio de telefonía en todas sus modalidades en las principales ciudades y cabeceras municipales.

1.7 FISIOGRAFÍA

El Municipio Sola de Vega, en donde se realizó el presente estudio, se ubica dentro de la Provincia Fisiográfica “Sierra Madre del Sur”, según la descripción y caracterización de Provincias Fisiográficas de México por E. Raisz (1964); dicha provincia se encuentra en la porción centro-occidental de la entidad, desde el centro de la misma hasta las costas del Pacífico y hacia el extremo sudoriental de la Sierra Madre Occidental. Las montañas de este sistema y las sierras frontales hacia el mar quedan tan cerca del Océano Pacífico, que prácticamente no existe llanura costera, con excepción de algunas franjas angostas en las bahías; en algunos lugares los flancos de las sierras terminan abruptamente en el mar. En general, las crestas de las sierras que comprenden este sistema son uniformes, excepto en algunos casos en que los picos o cumbres aisladas se levantan sobre el nivel promedio de las cadenas montañosas. El parte aguas de la Sierra Madre del Sur queda comprendido entre los 2,000 y los 2,200 msnm; sin embargo, existen elevaciones aisladas que alcanzan altitudes superiores a los 3,000 msnm, como ocurre en la suprovincia de las Tierras Altas que se caracteriza por ser un terreno predominantemente montañoso, burdamente dividido por los valles de los ríos Grande y Atoyac.

De acuerdo con los estudios geológicos y geofísicos previos, el área de estudio se encuentra enclavada en la porción suroriental de la Sierra Madre del Sur, lugar que se ha denominado Nudo Mixteco y que es donde convergen las Sierras Madre del Sur y la Sierra de Oaxaca.

La zona de estudio comprende cordones montañosos, cuya tendencia es en rumbo NW-SE, paralelamente a los cuales se localizan valles alargados como es el caso de los de Putla y Juxtlahuaca. Sin embargo, puede apreciarse también que existen unidades orográficas transversales al rasgo estructural antes mencionado, como ocurre con el cordón montañoso que sirve de parte aguas a las cuencas de los ríos Balsas y Verde.

Los cordones montañosos que constituyen la vertiente sur del Río Atoyac, en los cuales se encuentran alturas del orden de los 3 000 metros, se continúan hacia el oeste de la sierra de Mihuatlán constituyendo una sola unidad orográfica paralela a la costa en esa porción del estado de Oaxaca.

La profusa actividad erosiva en esta región ha dado lugar a un gran número de valles de laderas escarpadas en algunos tramos de considerable altitud y fuerte pendiente.

En la zona de estudio se encuentra el Río Atoyac el cual presenta configuración sinuosa en las zonas de mayor relieve y meándrica que ha cortado valles en V, exponiendo las rocas profundas de la región.

Es en esos valles, fue donde se llevó la presente investigación, ya que el río expone las rocas metamórficas que constituyen el objetivo de la misma.

Particularmente cercano a la zona de estudio se encuentra el Cerro Pelón que se levanta hacia la cota 1600 m (ver panorámica Figura No. 3) y que constituye un rasgo que sobresale por su relieve y sus fuertes pendientes.



Figura 3. Panorámica de la región, al fondo Cerro Pelón, obsérvense los valles que ha erosionado el río Atoyac.

1.8 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Debido a su posición geográfica, el área de estudio queda comprendida dentro de la zona tropical; sin embargo, la temperatura disminuye por efectos de la altitud, presentando valores medios anuales de 18°C y solamente alcanza valores superiores en las planicies costeras.

Las partes bajas y las cimas de la Sierra Madre del Sur, dentro de la cual se encuentra nuestra área de estudio, tienen un clima templado moderado con lluvias en verano e invierno; en esta región, la temperatura desciende hasta los 3°C en el mes más frío y alcanza los 22°C en el mes más cálido.

Hacia la costa del Pacífico, que es la frontera sur en la que se localiza la zona de estudio, predomina un clima tropical lluvioso en verano.

La precipitación pluvial media anual de esta región es de 700 mm (carta de temperaturas medias anuales y climas de INEGI, 2005) escala 1:250,000, por lo que la vegetación es muy abundante.

II. ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA

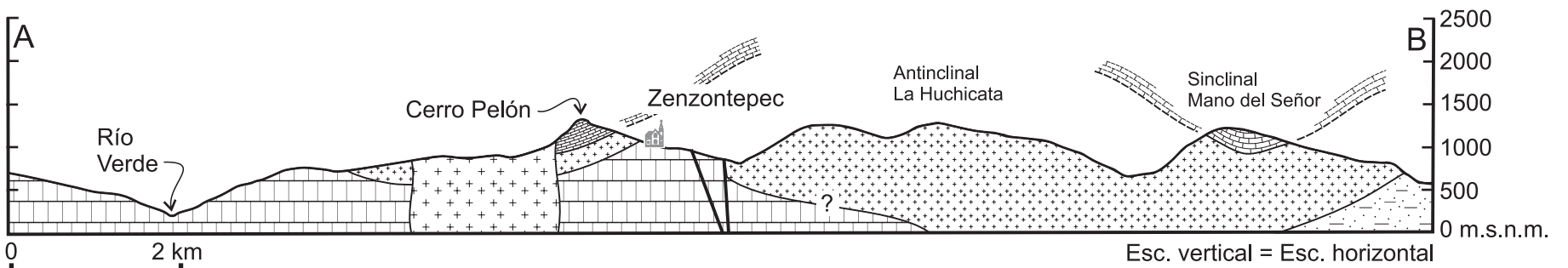
En el área de estudio se cartografiaron las siguientes cinco unidades estratigráficas, que de base a cima son:

En primer lugar se tienen las rocas que integran al Complejo Xolapa (esquistos de mica-granate, esquistos verdes, ortogneis graníticos y anfibolita) con edades que han sido asignadas desde el Paleozoico Tardío hasta el Cretácico; después la segunda unidad es la correspondiente al Batolito Zanitza del Pérmico temprano; la tercera unidad la integran las limolitas, pizarras y areniscas del Jurásico Medio; la cuarta unidad corresponde con las calizas del Cretácico. Por último, la quinta unidad corresponde con la Tonalita-granodiorita sin deformación dúctil del Oligoceno-Mioceno. La distribución de estas unidades se muestra en el mapa geológico de la Figura 4.

II.1 Descripción del Paleozoico

Las rocas plutónicas del Paleozoico que afloran en diferentes áreas del Sur de México se correlacionan genéticamente con el Batolito de Chiapas, con edades isotópicas del Pérmico (isócronas de Rb-Sr; Damon-Salas, 1975). Los principales cuerpos intrusivos paleozoicos que afloran en el Estado de Oaxaca son: El Batolito Juchatengo de composición granítica, localizado en el sector suroccidental (Grajales Nishimura, et al., 1988; Grajales Nishimura et al., 1986) y el tronco granítico del distrito de ETLA, el cual está expuesto al poniente de los poblados de San Pedro y San Pablo ETLA y Magdalena Apasco (Ruíz Castellanos, 1979). Asimismo se cartografió parte del Batolito de Zanitza de edad Pérmico Temprano de acuerdo al fechamiento U-Pb, que arrojó una edad de 290.8 Ma.

La complejidad geológica de Oaxaca ha sido puesta de manifiesto debido a los diferentes eventos tectónicos superpuestos que existen en su territorio (Carfanta, 1981), así como por los muy diversos estilos litológicos que afloran; por este motivo, la entidad ha sido objeto de trabajos de investigación por parte de diversos autores e instituciones en diferentes épocas. Actualmente, se han registrado



Paleozoico tardío - Cretácico

Complejo Xolapa

Esquisto de mica/filita, mica-granate, esquisto verde, ortogneis granítico y anfibolita

Pérmico temprano

Batolito Zanitza

Tonalita-granodiorita -granito

Jurásico Medio

Limolita, pizarra y arenisca

Cretácico

Caliza en estratos medianos y gruesos

¿Oligoceno-Mioceno?

Tonalita-granodiorita sin deformación dúctil

- Estratificación
- Estratificación inferida
- ▲ Foliación
- ◆ Foliación horizontal
- ♦ Foliación vertical
- ↑ Lineación mineral
- ↑ Eje de pliegue menor (F₁)
- ↑ Eje de pliegue menor (F₂)
- Muestra petrográfica
- ↕ Anticlinical
- ✱ Sinclinal
- Falla de ángulo alto

Figura 4. Mapa geológico del área de Zenzontepec, distrito Sola de Vega, estado de Oaxaca (Elías Herrera y colaboradores, 2004).

importantes contribuciones al conocimiento geológico, los cuales han permitido conocer mejor la distribución, orígenes y características de las rocas Paleozoicas.

Con base en las investigaciones antes citadas, se sabe que el evento tectónico mas antiguo ocurrió durante el Proterozoico tardío denominado orogenia Oaxaqueña (Fries,1962), la cual tuvo como resultado la formación del complejo Oaxaqueño. Actualmente se considera que la orogenia Oaxaqueña es isócrona con la orogenia Grenviliana y que las rocas de este complejo, posiblemente formen parte de un cinturón metamórfico que se extiende desde el sureste de Canadá, hasta aflorar en la parte centromeridional del estado de Oaxaca. Este complejo no aflora en el área de estudio, sin embargo, es el basamento de toda la región. En la región afloran rocas de los terrenos Mixteco-Zapoteco (distantes), y el Xolapa y Juchatengo, dentro del área estudiada.

De acuerdo con las investigaciones de J. M. Grajales Nishimura, E. Centeno- García y otros, 1999, sobre la Geoquímica de los **basaltos del Paleozoico**, se estableció que se formaron cerca de la margen oriental de una cuenca ante-arco, indicando que son toleitas que se formaron en un rift continental ó en series ante-arco tectónico.

Este grupo estratigráfico está constituido por rocas que han sido consideradas por diversos autores como de edad Pérmica que consisten de rocas de afinidad oceánica, como diques, rocas gabroicas, lavas almohadilladas y como constituyente metamórfico, filitas.

Estas rocas se encuentran en contacto con el complejo Xolapa en las inmediaciones al poblado La Concha, sobre el Río Atoyac y pudiéndose reconocer con claridad las unidades volcánicas y metamórficas. Es posible también seguir a detalle los afloramientos de este grupo en las cercanías al poblado de Quinicuena, donde al parecer el gradiente geotérmico del Complejo Xolapa se sobreimpuso al del Grupo Juchatengo.

II.2 Descripción del Mesozoico

Las unidades estratigráficas correspondientes al Complejo Xolapa, representan una de las regiones de mayor complejidad desde el punto de vista tectónico-estructural; fue definido por De Cserna (1965) y deriva su nombre de rocas metamórficas que afloran en la Barranca del mismo nombre al norte de Acapulco, Gro. Este autor describió la existencia de secuencias paragneísicas de composición predominantemente pelítica que fueron intrusionadas por unidades pegmatíticas, aplíticas y máficas. Campa y colaboradores (op.cit.) y (Ortega Gutiérrez, op. Cit.) consideran al Complejo como un terreno tectonoestratigráfico correspondiente a las porciones profundas (mesocorticales) de un arco magmático.

Complejo Xolapa.

Litología.

En el Valle del río Atoyac (ver Fig. 4) se pueden reconocer afloramientos de este complejo en las localidades de La Concha y La Aurora (porción extrema oriente del área de estudio), donde la mayor parte de los afloramientos corresponden a esquistos verdes y ortogneis de composición granítica y áreas de migmatización; secuencias que reflejan claramente las características de arco magmático. De hecho, el contacto de los terrenos Mixteco y Chatino aflora dentro del área de estudio y en la zona de contacto se tiene un ortogneis, mismo que refleja una zona de cizalla, por lo que la naturaleza del contacto es tectónico.

Asimismo, en la porción extrema occidental del área de estudio hacia el cruce del río Atoyac con el río Verde se pudieron observar plenamente los esquistos de mica-granate, así como zonas de esquisto con cristales de andalucita, por lo que en el levantamiento geológico realizado por el valle del Río Verde, se pudieron apreciar diferencias en el grado de metamorfismo ya que se tienen desde zonas de bajo grado de metamorfismo a zonas de grado intermedio a alto, lo que permitió interpretar el origen de las mismas con arreglo a las marcadas diferencias de temperaturas según la

profundidad a la que están expuestas; así por ejemplo, cerca del poblado de Quinicuena y en descenso hacia el valle, se encuentran afloramientos de pizarras, filitas y gradualmente se van encontrando los esquistos micáceos con granate y andalucita a medida que profundizamos hacia el valle, por lo que lógicamente el gradiente de temperatura que influyó en el grado de metamorfismo va siendo mayor en este sentido.

En el poblado de Quinicuena se reconoció un intrusivo que corta las litologías expuestas descritas anteriormente, es de composición tonalítica-granodiorítica sin deformación dúctil que se interpreta es de edad Oligocénica- Miocénica.

Relaciones de contacto.

La mayor parte de los afloramientos sobre el río Atoyac reflejan claramente que el contacto entre Xolapa con la secuencia Juchatengo y con rocas de edades más jóvenes es discordante y debido a los indicadores cinemáticos encontrados se pudo establecer que en la mayoría de los casos el contacto entre Xolapa y Juchatengo es tectónico.

Edad.

Se ha descrito al complejo Xolapa como un arco magmático de edad Mesozoico-Cenozoico (Jurásico Medio hasta el Paleoceno) construido a través de un proceso evolucionario de emplazamiento de magma y migmatización de la corteza.

Características de las secuencias metamórficas y plutónicas del área

El área de estudio tiene similitudes con las rocas de otras zonas cercanas, tal es el caso de las secuencias que conforman el cinturón milonítico de Puebla y las rocas cristalinas del complejo Acatlán.

EL área que investigamos se compone de cinco unidades litológicas que se describirán informalmente a continuación, pero que corresponden al Complejo Xolapa;

también se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado con láminas delgadas de las muestras recolectadas en la salida de campo.

ROCAS PLUTÓNICAS

Bajo esta denominación se agrupan rocas de naturaleza ígnea intrusiva de composición cuarzodiorítica, dacítica y cuarzotonalítica que en el campo se observan penetrando a rocas metamórficas ya sea, en cuerpos regulares y paralelos con las mismas, o bien, en enclaves y diques que en ocasiones muestran cizallamiento en sentido lateral-izquierdo, que se formaron de manera penecontemporánea al Complejo Xolapa, por lo que se formaron en el Mesozoico (ver Figura 5).

Las relaciones de corte y las estructuras asociadas permiten interpretar que estos cuerpos son sintectónicos, pues numerosos diques de composición dacítica son paralelos, o muestran bandeamiento magmático (ver Figura 6) dispuesto en forma similar a la orientación estructural de las rocas metamórficas.



Figura 5. Fotografía que muestra diques paralelos de composición dacítica en la localidad de San Pedro.



Figura 6. Fotografía que muestra bandeamiento magmático en ortogneis en la localidad de San Pedro.

En algunos sitios se presentan diques tabulares cruzados, con texturas cumúlíticas más ricas en minerales ferromagnesianos en formas lenticulares (ver figura 7). Asimismo se observaron en campo parches de migmatitas y leucosoma (gneis tonalítico) afectado por diques deformados graníticos; siendo el melanosoma una roca anfibolítica (ver figura 8).



Figura 7. Fotografía que muestra la textura cumúlítica.



Figura 8. Fotografía que muestra parches de migmatitas y brechamiento magmático en la localidad de La Conchita.

En lámina delgada se pudo constatar su arreglo y textura granular, y la abundancia de plagioclasa (albita) y cuarzo (ver anexo de petrografía pags. 51,58 y 60).

ESQUISTOS DE CLORITA Y MUSCOVITA.

En este grupo se encuentran las rocas que afloran en las proximidades de los poblados de la Concha y la Conchita, sus signos más evidentes es su conformación y constitución ya que presentan delgadas capas de micas claras, siendo la facies dominante la de esquistos verdes.

En los afloramientos se encuentran xenolitos de roca diorítica de diverso tamaños dentro de rocas de composición anfibolítica.

En el análisis en microscopio petrográfico se observa su arreglo típico en textura lepidoblástica con sus constituyentes mineralógicos esenciales de mica (muscovita) en intercalación con lentes de cuarzo y plagioclasas; asimismo se observan indicios de cloritización (ver anexo de petrografía pags. 61, 62 y 64).

GNEISES TONALÍTICOS DE BIOTITA Y CUARZO

Bajo esta denominación se agrupan las rocas cartografiadas en el río Atoyac cerca del poblado de La Concha, cuya característica es su bandeamiento mineral en sentido general y preferente de NE-SW con presencia de lineación mineral de cuarzo en el mismo sentido.

Afectados por numerosos diques y enclaves, así como por evidencias de milonitización con porfidoblastos con estructuras sigma rotados y estructuras asimétricas (ver fig. 9).



Figura 9. Fotografía mostrando gneises con estructuras asimétricas en la localidad de San Pedro.

Al microscopio petrográfico se observa la textura lepidoblástica característica y algunos lentes de minerales opacos (menas de hierro) que permiten interpretar un protolito sedimentario de composición pelítica (ver anexo petrográfico pags. 54 a 56, 59 y 61 a 65).

En los afloramientos del Valle del río Atoyac, cercano al cruce con el río Verde, en las proximidades del poblado de Santa María, los gneises tienen mayor contenido de granate y andalucita.

GNEISES ANFIBOLÍTICOS.

Se identificaron en afloramientos cercanos al poblado Santa María, Oaxaca, secuencias metamórficas de composición anfibolítica de color oscuro, compuestos principalmente de anfíboles y plagioclasas.

En el estudio petrográfico se identificaron numerosos cristales de hornblenda embebidos en una matriz de plagioclasa más fina (ver anexo petrográfico pags. 50, 52, 53 y 57).

Estas rocas están afectadas, al igual que las secuencias anteriores, por numerosos episodios de intrusión sintectónica, condición que se interpreta por el paralelismo a la foliación que es una tendencia estructural característica.

Batolito Zanitza.

Litología.

Se trata de un cuerpo de grandes dimensiones cuya composición es tonalítica-granodiorítica que de acuerdo al fechamiento U-Pb arrojó una edad de 290.8 ± 3.3 m.a. correspondiendo al Pérmico Temprano (Elías Herrera, comunicación personal 2004).

Grupo Tecoconyunca (Ar-Lt-Lm)

Litología.

Este grupo comprende una serie alternante de formaciones continentales y marinas, fue nombrado por Cortés Obregón (1957) como Formación Carbonífera Superior; abarca todos los sedimentos depositados durante el Jurásico Medio y hasta el Calloviano.

Esto conlleva a interpretar que las condiciones de depósito fluctuaban de continentales a palustres y marinos debido a cambios del nivel del mar originados por la actividad tectónica, lo que dio lugar a una sucesión muy gruesa de depósitos de diferente naturaleza.

En el área de estudio este grupo presenta excelentes afloramientos en las proximidades de los poblados de La Huichicata y en las vertientes del río San Pedro, donde se mapearon depósitos alternantes de limolita, pizarra y arenisca con pliegues menores pero con evidencias de plegamientos mayores. Asimismo se pudieron coleccionar fósiles de plantas, que es probable correspondan al Jurásico Medio.

Relaciones de contacto.

Este grupo reposa en discordancia erosional sobre rocas del basamento y su cima ha sido erosionada en gran parte, condición que es muy evidente en la zona donde el plegamiento es orientado al NW, que ya fue desgastado por los agentes de erosión, quedando solo unos cuantos relictos donde es posible medir datos de rumbos y echados, interpretar el macropliegue y afinar la cartografía.

Edad y Correlación.

Este grupo se correlaciona con el Grupo Teconcoyunca que describiera Erben (1956) en la región de la Mixteca Oaxaqueña. Todos estos depósitos son de edad Jurásico Medio al Calloviano.

Calizas Cretácicas.

Litología.

Estas rocas son las que tienen mayor distribución y buenos afloramientos en el área de estudio, donde se mapearon sobre todo en las partes altas de la Sierra; los mejores afloramientos se tienen en la cresta del cerro Pelón donde la parte de mayor relieve corresponde a estas calizas, asimismo el cerro La Niebla en la porción suroriental del área y en el cerro Yucuntachi hacia la porción norponiente; también están coronando a las rocas más antiguas localizadas en la parte más profunda de los valles de los ríos Atoyac y Verde.

Afloran principalmente en franjas orientadas de NW a SE y constituyen los flancos de grandes sinclinales y monoclinales.

La litología, distribución y edad correspondiente al Albiano-Cenomaniano, indica que ocurrió una etapa de quietud tectónica que se combinó con el enfriamiento cortical, lo que dio lugar a un aumento en el nivel del mar y una subsidencia continua; lo que propició el desarrollo de una extensa plataforma carbonatada que llegó a cubrir una gran parte de los terrenos metamórficos que estuvieron emergidos durante el Cretácico Temprano, los que constituyeron la principal fuente de clásticos-terrágenos.

En la zona de estudio se pudieron observar con detalle afloramientos de estas rocas en un recorrido de campo en las proximidades de los poblados La Concha y La Aurora, en donde se determinó que corresponden a calizas masivas de color gris claro a crema en estratos de algunas decenas de centímetros hasta estratos de metro y medio de espesor; incluyen algunas conchas de pelecípodos y en general muestran poco grado de intemperismo. En esta localidad fue posible interpretar que los ejes de plegamiento están orientados al NW-SE con los datos de buzamientos medidos en campo, tal como se observa en la sección geológica del mapa geológico (Fig. 4).

III. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Utilizando mapas topográficos, GPS y brújula Brunton, se hizo un profuso acopio de datos estructurales en campo, registrando las características más importantes de los afloramientos estudiados en la presente investigación, como: la litología, textura, foliación, lineación mineral y la medición de los flancos y planos axiales de los micropliegues observados. Asimismo, se hizo el levantamiento de estructuras mayores correspondientes con flancos, ejes de pliegues y fallas.

3.1 Estructuras mayores

3.1.1 Fallas y plegamientos

La geología estructural del área es compleja, pues incluye zonas de cizallamiento correlacionables con los sistemas de la Falla Chacalapa (Tolson,2005) y que ponen en contacto dos paquetes metamórficos que se caracterizan por haber tenido múltiples eventos de deformación, los cuales corresponden a la **zona milonítica**, que previamente fue descrita en su segmento oriental por Ortega-Gutierrez y Corona Esquivel (1986) y cartografiada por Ortega Gutierrez et al. (1990) en el sector de Puerto Escondido y Puerto Angel, Oax. Asimismo Ortega-Gutierrez (1984) propuso que al norte de Pochutla, Oaxaca, el límite entre el Terreno Oaxaca y el Terreno Xolapa se constituye de *una franja de milonitas, cuyo arreglo estructural sugiere una falla inversa y lateral combinadas*. Por otro lado, el límite del Terreno Xolapa y el Terreno Mixteco también se ha reportado como tectónico (Maldonado y Moreno, 1983); pero sin que exista acuerdo con respecto a la polaridad del fallamiento que lo constituye. Grajales Nishimura et al. (1984) proponen que en la región de Reforma y Villa Nueva, Oax., el Terreno Mixteco se deslizó sobre el Terreno Xolapa mediante una falla inversa; mientras que en la misma región Zaldivar y Morales (1985) opinan que es este último terreno el que cabalga al Terreno Mixteco.

La interpretación con rosetas de rumbos y con red estereográfica (Figuras10 a 13) muestran el comportamiento estructural del Complejo Xolapa, donde se puede

interpretar que las zonas de cizalla son tabulares y tienen una orientación preferencial sensiblemente con rumbo E-W (Figura 11).

Por otro lado, los pliegues tienen una orientación noroeste-sureste y se encuentran localizados hacia la porción Norte del mapa geológico del área de estudio, particularmente cerca de los poblados La Huichicata y Mano del Señor, Oax. que se pueden apreciar como pares de anticlinal y sinclinal muy erosionados. Formando una sierra alargada y que es correlacionable con la Sierra de Teposcolula. En el núcleo de estos anticlinales afloran rocas del Jurásico Medio. En cuanto a las fallas según levantamiento de campo son normales y de ángulo.alto.

3.2 Estructuras menores

3.2.1 Microestructuras

Existe una gran variedad de estructuras microscópicas que incluyen: esquistosidad, gneissoisidad, orientación preferencial de agregados granulares, porfidoclastos ð y sigma, peces de mica, y estructuras S-C.

La esquistosidad se caracteriza por presentar el paralelismo de las hojuelas de micas biotita y muscovita en las rocas metamórficas no migmatizadas del Complejo Xolapa.

En campo se obtuvieron datos de micropliegues en roca milonítica las cuales presentan tendencias preferentes hacia el NE., así como pequeñas crenulaciones de las micas, que se observan localmente, tanto en gneises como en esquistos (pag.54, 56 y 61).

Con los datos levantados en campo se pudieron realizar análisis estructurales, con apoyo en el programa STERONET para Windows versión 2.46 con el que se lograron gráficas bidimensionales de los datos, facilitando la comprensión de las tendencias preferenciales de las orientaciones mapeadas (ver Figs. 10 a la 13).

Después del acopio de datos de campo (rumbos y echados) se procedió a vaciar estos en bases de datos que a continuación se presentan (Tablas 1, 2, 3 y 4); con base en los análisis de más de 50 muestras se observa que la tendencia de las foliaciones

metamórficas es sensiblemente N-S y con buzamientos y líneas de máxima pendiente hacia el NE (Figura 13).

LOCALIDAD	COORDENADAS	DATOS ESTRUCTURALES	LITOLOGÍA
La Concha	16°26.86'N;97°26.26'W	N40°W, 34°NE (Bandeamiento)	Gneis tonalítico con diques de cuarzo-tonalita.
La Concha	16°26.90'N;97°26.35'W	SIN DATO	Pillow-lavas que descansan sobre Gneis.
La Concha MS04-2	16°26.94'N;97°26.39'W	N10°W (Eje de pliegue) 58°NW (Plunge)	Roca de composición silícea
La Concha	16°27.01'N;97°26.49'W	SIN DATO	Esquistos de clorita y mica blanca.
La Conchita MS04-3	16°27.21'N;97°27.33'W	SIN DATO	Cuarzo-Diorita cortada por diques tabulares cruzados
La Conchita	16°27.19'N;97°27.38'W	SIN DATO	Roca anfibolítica cortada por numerosos diques graníticos.
La Conchita MS04-4 MS04-5	16°27.08'N;97°27.41'W	N68°E, 70°SE (FOLIACIÓN MAGMÁTICA)	Diorita con xenolitos de anfibolita.
La Conchita	16°26.96'N;97°27.37'W	SIN DATO	Xenolitos de esquisto de biotita, cuarzo y plagioclasa que muestran pliegues migmatíticos
La Conchita MS04-6	16°26.87'N;97°27.47'W	S14°E, 54°SW (foliación)	Xenolito de roca esquistosa foliada anfibolítica?
La Conchita	16°27.02'N;97°27.77'W	SIN DATO	Xenolitos de esquistos de clorita y plagioclasa en roca anfibolítica?
La Palma MS04-7 MS04-8	16°27.85'N;97°28.77'W	Bandeamiento: N42°E, incl.20°SE Lineación: N32°E, PLUNGE HORIZONTAL. Pliegues isoclinales: N 68°E; 6°NE plunge N 50°E; 2°NE plunge (líneas de charnela)	Gneis de biotita, cuarzo y plagioclasa con porfidoclastos sigma (rotados). En Gneis milonítico, se observan cuerpos de gneis granítico deformado y diques de granito deformado.
La Palma MS04-9	16°27.72'N;97°28.60'W	Bandeamiento: a) S 67°E; 20° NE b) N 85°E; 18°NW c) E-W ; 30° N	Gneis protomilonítico
La Palma MS04-10	16°27.68'N;97°28.58'W	SIN DATO	Gneis tonalítico/enclaves.
La Palma	16°27.64'N;97°28.49'W	SIN DATO	Grandiorita/enclaves

Tabla 1. Datos Estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oaxaca.

LOCALIDAD	COORDENADAS	DATOS ESTRUCTURALES	LITOLOGÍA
La Palma	16°27.63´N;97°28.42´W	Bandeamiento: S57°W; 72° SE	Granodiorita bandeamiento magmático
La Palma	16°27.62´N;97°28.34´W	RBO. Y BUZAMIENTO: S48°W; VERTICAL	Dique Granítico
Cruce Sn. Pedro-Atoyac MS04-11	16°29.02´N;97°29.76´W	BANDEAMIENTO: NW30°;38°NE SE72°;34°NE LINEACIÓN: NE10°;Plunge: 30°NE NE23°;Plunge: 32°NE	Roca Dacítica con bandeamiento y lineación mineral.
Cruce Sn. Pedro-Atoyac MS04-12	16°29.02´N;97°29.78´W	BANDEAMIENTO: SW42°;82°NW LINEACIÓN: NE35°; Plunge: 18°NE	Gneis milonítico con lineación de cuarzo.
Cruce Sn. Pedro-Atoyac	16°28.93´N;97°29.76´W	FOLIACIÓN: N75°W;55°NE EJES DE PLIEGUE: N40°E;50°NE (plunge) N30°E;53°NE (plunge) PLANO AXIAL: N5°E;48° verge SE	Gneis milonítico con pliegues.
Cruce Sn. Pedro-Atoyac	16°28.87´N;97°29.73´W	Bandeamiento: NE44°; 52°NW	Roca Metavolcánica
Cruce Sn. Pedro-Atoyac	16°28.78´N;97°29.64´W	EJES DE PLIEGUE: NE23°; 30°NE NE18°; 20°NE PLANO AXIAL: N 5° E; 60° SE	Gneis Protomilonítico con ejes de pliegue. Foliación milonítica: NE 22°; 60° SE NE 80°; 40° NE (LIN.)
Cruce Sn. Pedro-Atoyac MS04-13 MS04-14	16°28.72´N;97°29.60´W	EJE DE PLIEGUE: N30°E;30°NE (plunge) PLANO AXIAL: N 20 °E; 70°SE	Gneis Anfibolítico que presenta pliegues. Lineación mineral: NE 55°; Plunge: 20°NE
Cruce Sn. Pedro-Atoyac	16°28.65´N;97°29.48´W	SIN DATO	ZONA DE DIQUES Y MIGMATITAS.
Sta. María	16°28.52´N;97°30.05´W	FOLIACIÓN: NW22°; 50°SW DIQUE CIZALLADO: L1: NW20°; Plunge 0°	Roca intrusiva textura fanerítica (Granodiorita) con dique cizallado (lateral- izquierdo).
Sta. María	16°28.59´N;97°30.05´W	Bandeamiento: N5°E; 44° SE	Roca Gneísica de Biotita y cuarzo.

Tabla 2. Datos Estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oaxaca.

LOCALIDAD	COORDENADAS	DATOS ESTRUCTURALES	LITOLOGÍA
Sta. María	16°28.64'N;30.05'W	PLIEGUES: NW68°;35°NE flanco i NE10°; 70°SE flanco s NE 39°;40° NE } Lin. (plunge)	Roca Gneisica Mas Ácida y Pliegues Coincidentes Con Lineación.
Sta. María	16°28.67'N;97°30.05'W	Planos de Crenulación: NE 88°; 16°NW Falla frágil: NE 68°; 58° SE	Gneis milonítico de biotita y cuarzo con planos de crenulación y falla frágil.
Sta. María MS04-15	16°28.73'N;97°30.04'W	Bandeamiento: NW 36°; 38°NEplunge NW 40°; 36°NEplunge	Gneis milonítico de biotita y cuarzo intercalado con gneis mas rico en mica blanca
Sta. María	16°28.77'N;97°30.05'W	Pliegue: NE 34°; 30° NE LINEACIÓN: NE 35°; 30° NE	Gneis milonítico de biotita y cuarzo intercalado con gneis cuarzo-diorítico.
Sta. María	16°28.81'N;97°30.06'W	SIN DATO	Gneis milonítico intercalado por lentes de metagranodiorita y diques.
Sta. María MS04-16	16°28.84'N;97°30.06'W	FOLIACIÓN: NE 70°; 38°NW LINEACIÓN: NE 29°; 20°NE plunge	Gneis milonítico con andalucita y cuerpos lenticulares de gneis anfíbolítico.
Sta. María	16°28.89'N;97°30.06'W	Bandeamiento: NE 39°; 84°SE Lineación: NE 39°; 32° PLUNGE	Gneis milonítico con andalucita y bandas de cuarzo.
Sta. María	16°28.95'N;97°30.05'W	Bandeamiento: NE 28°; 80° NW PLIEGUE: NE 20°; 40° NEplunge	Gneis milonítico con andalucita y pliegue.
Sta. María	16°28.95'N;97°30.05'W	Bandeamiento: NE 36°; 76° NW Falla: NW 10°; 72° SW	Gneis anfíbolítico con lineaciones oblicuas (lateral-izq.). Lineación:NE10°;22°NE
Sta. María	16°29.12'N;97°30.00'W	Pliegues: NE 25°; 22°NE plunge NE 30°; 25°NE plunge NE 20°; 30°NE plunge	Gneis anfíbolítico con numerosos micropliegues con vergencia al NW. Lineación:NE18°;20°NE
Sta. María	16°28.22'N;97°30.09'W	Bandeamiento: NW 12°; 45°NE LINEACIÓN: NE 5°; 12°NE plunge	Gneis de biotita y cuarzo

Tabla 3. Datos Estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oaxaca.

LOCALIDAD	COORDENADAS	DATOS ESTRUCTURALES	LITOLOGÍA
Sta. María	16°28.19´N;97°30.23´W	SIN DATO	Granodiorita deformada
Sta. María	16°28.21´N;97°30.26´W	Bandeamiento: NE 22°; BUZAM. 90°	Gneis milonítico intercalado:mica blanca y biotita-cuarzo segregaciones de 50x15cm.
Sta. María MS04-17	16°28.23´N;97°30.28´W	SIN DATO	Gneis milonítico de biotita-granate-fengita?
Sta. María MS04-18	16°28.33´N;97°30.35´W	Bandeamiento: NE 45°; 64° NW Lineación: NE 27°; 18°NE plunge	Gneis milonítico de andalucita-granate?
Sta. María	16°28.42´N;97°30.37´W	Bandeamiento: NE 39°; 42°NW Lineación: NE 22°; 20°NE plunge	Gneis Milonítico de Biotita-Granate y Boudines de Cuarzo
Sta. María	16°28.77´N;97°30.42´W	Bandeamiento: NE 52°; 40°NW Lineación: NE 30°; 15°NE SE 88°; 85°NE pliegue Kink Band	Roca milonitizada afectada por intemperismo y oxidación de sus componentes ferríferos
Sta. María MS04-19	16°28.90´N;97°30.43´W	Bandeamiento: NE 17°;70°NW Lineación: NE 20°; 28°NE plunge	Gneis de Biotita, cuarzo y plagioclasa.
Sta. María	16°29.12´N;97°30.44´W	Bandeamiento: SE 82°; 20°NE Lineación: NE 30°; 28°NE PLIEGUE:NE25°;30°NE	ROCA MILONITIZADA CON PLIEGUES ASIMÉTRICOS
Sta. María	16°29.23´N;97°30.40´W	Bandeamiento: SE 84°; 28°NE Lineación: NE 25°; 30°NE Eje pliegue: N 22° E; 18° NE plunge	Roca gneisica milonitizada e intemperizada por oxidación.
Sta. María puente colgante MS04-1	16°28.17´N;97°30.15´W	Bandeamiento: SE 72°; 25°NE Lineación: N-S ; 20°NE Plunge	Esquistos miloníticos de cuarzo-biotita-clorita

Tabla 4. Datos Estructurales medidos en afloramientos en Zenzontepec, Oaxaca.

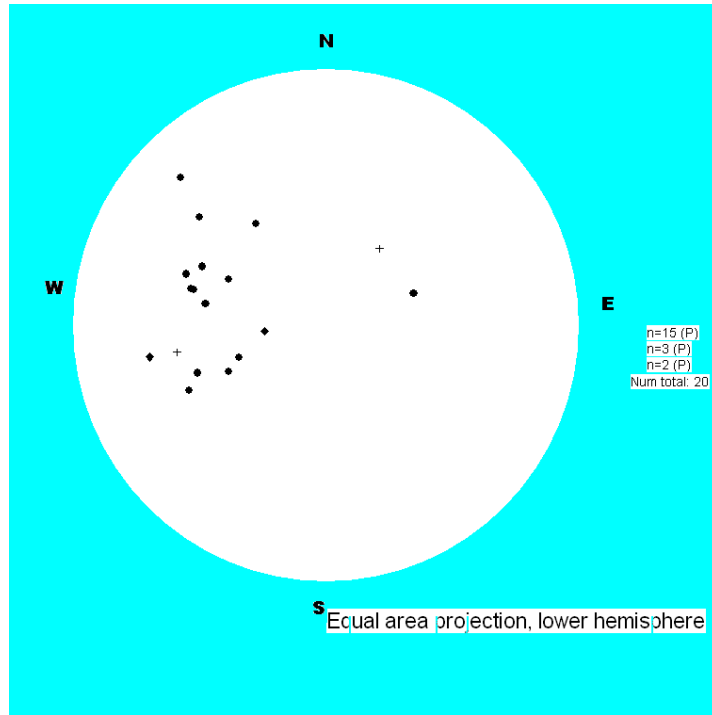


Figura 10.- Estereograma de Polos de foliaciones y lineaciones para Secuencia Juchatengo, la concentración de polos caen hacia el lado opuesto W-NW.

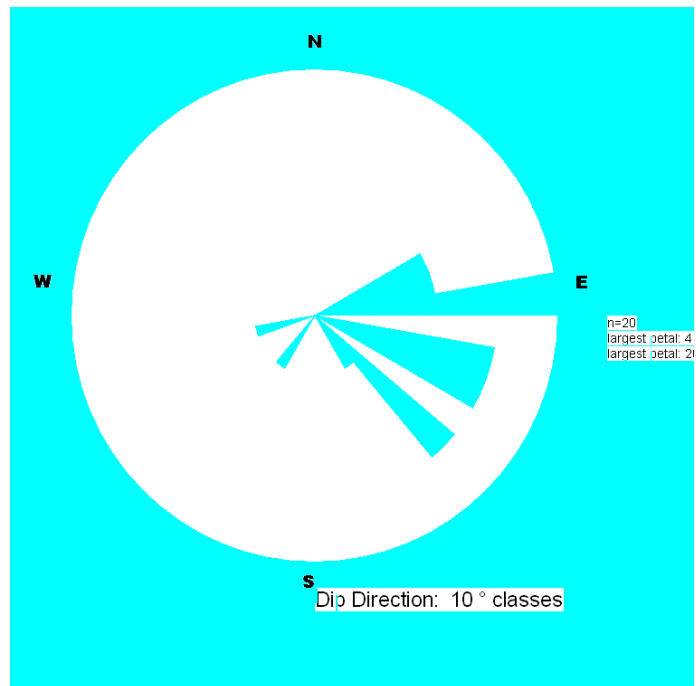
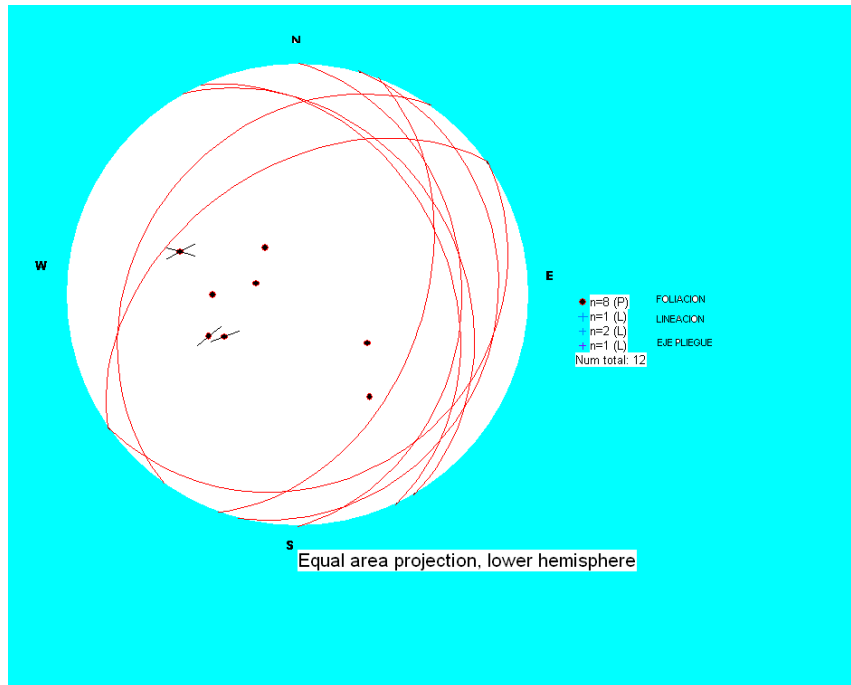
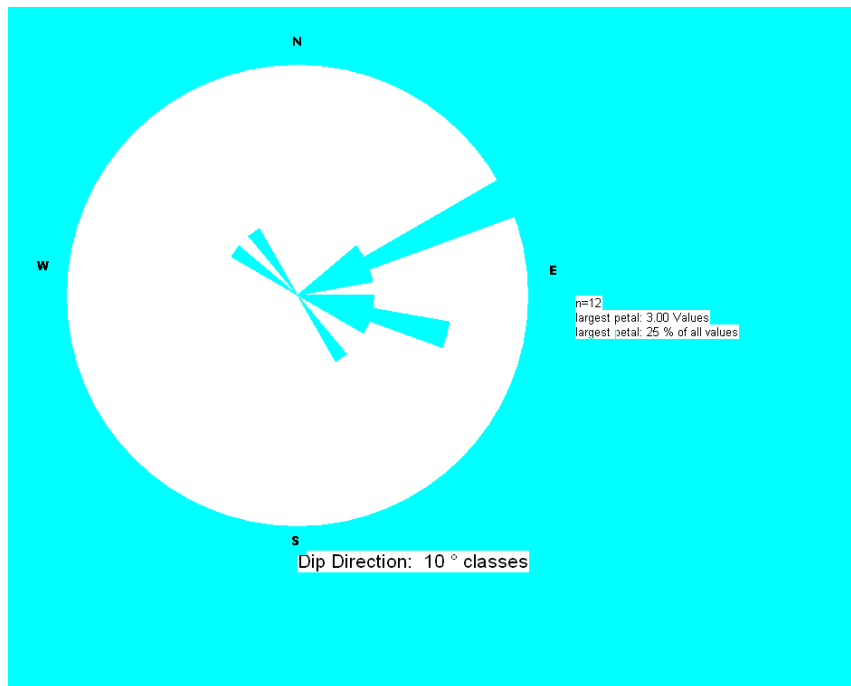


Figura 11.- Roseta de líneas de máxima inclinación para Complejo Juchatengo, nótese que las orientaciones van al E-NE y SE.



12. Estereograma con Polos de foliaciones, lineaciones y ejes de pliegue Xolapa.



13. Roseta de líneas de máxima pendiente para Complejo Xolapa, nótese orientación al NE y SE.

3.3 TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS.

Atendiendo a la edad y al tipo de basamento de la secuencia sedimentaria y volcánica que aflora en el área de estudio, esta se puede dividir en tres regiones que de acuerdo al mapa de terrenos estratotectónicos de la República Mexicana de Campa y Coney (1983) corresponden a los siguientes terrenos: Xolapa, Mixteco y Oaxaca.

El Terreno Xolapa fue definido por Campa y Coney 1983, como un complejo metamórfico-plutónico-migmatítico de probable edad Mesozoica. El Terreno Mixteco fue descrito originalmente por Coney, 1981, con el nombre de Acatlán. Este terreno fue definido como un terreno con rocas metamórficas paleozoicas cubiertas por depósitos continentales del Mesozoico Inferior, y por rocas sedimentarias marinas del Mesozoico Superior. El Terreno Oaxaca fue definido como un terreno con basamento precámbrico cubierto por rocas sedimentarias marinas del Cámbrico-Ordovícico, Mississípico, Pensilvánico y Pérmico, también tiene rocas sedimentarias continentales del Mesozoico Inferior, y por rocas sedimentarias marinas del Mesozoico Superior.

Aún no existe consenso respecto a la naturaleza y ubicación de los límites entre los terrenos mencionados. Ortega G. (1984) propuso que al Norte de Pochutla, Oaxaca, el límite entre el Terreno Oaxaca y el Terreno Xolapa lo constituye una franja de milonitas, cuyo arreglo estructural sugiere una falla inversa y lateral combinadas (Transtensión). Por otro lado, el límite entre el Terreno Xolapa y el Terreno Mixteco también se ha reportado como tectónico (Maldonado y Moreno, 1983); pero sin que exista un acuerdo con respecto a la polaridad del fallamiento inverso que lo constituye. Grajales *et al*, 1984 proponen que en la región de Reforma y Villa Nueva, Oaxaca, el Terreno Mixteco desliza sobre el Terreno Xolapa, en apoyo a esta propuesta se tiene el estudio realizado por Salinas (1984) quien reporta este tipo de límite al noreste de Ayutla, Gro. donde se encuentra una zona de milonitas, en la cual el Terreno Mixteco cabalga al Terreno Xolapa. El límite entre el Terreno Mixteco y Oaxaca, corresponde a una zona de cataclasitas de rumbo norte-sur alineándose burdamente con la traza de la falla Tamazulapan. El límite entre Terreno Oaxaca y Juárez corresponde según lo

reportado por Araujo (1981) y López Ticha (1985, 1988), con la traza de la falla Tomellín, la cual es una gran falla que se extiende a través de 270 km, con rumbo N-NW, separando una región occidental con basamento metamórfico precámbrico, de una región oriental con basamento constituido por rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico Superior- Cretácico Inferior, metamorfizadas a facies de esquistos verdes (Terreno Juárez).

IV. GEOLOGÍA HISTÓRICA

4.1 Evolución Proterozoica y Paleozoica.

Al interpretar la historia geológica de la región nos lleva necesariamente al análisis del trabajo desarrollado por López T., D., (1985), quien propone que sobre un terreno metamórfico básicamente de esquistos (Complejo Acatlán) y su cobertura paleozoica continental y/o marina-litoral, se desarrolló una cuenca jurásica (Cuenca de Tlaxiaco). Esta cuenca jurásica fue clausurada, levantada, erosionada parcialmente y yuxtapuesta al Complejo Oaxaqueño antes del advenimiento de la transgresión cretácica.

El límite de esta yuxtaposición está definida, a grosso modo, por una gran falla regional (Falla Tamazulapan) de carácter sinistral, orientada aproximadamente N-S, cuya traza está, en gran parte, cubierta por volcanoclásticos del Terciario.

Hacia el oriente de esta falla, el basamento está constituido por gneises e intrusivos graníticos (Complejo Oaxaqueño) y la cobertura jurásica está representada por lechos rojos de origen continental, de la Formación Tecomazuchitl.

Hacia el occidente de la citada falla, el basamento está formado por esquistos e intrusivos graníticos (Complejo Acatlán) y la cobertura jurásica está representada por formaciones de origen paludal en la base, paludal y marino en la parte media y marino en la porción superior; la cuenca jurásica fue extensa e irregular.

4.2 Evolución Mesozoica

A partir del Cretácico, una transgresión marina muy agresiva invade un territorio muy amplio, transgrediendo la antigua cuenca jurásica de Tlaxiaco, cubre parte del Complejo Oaxaqueño y toda la Provincia de Guerrero-Morelos.

Fue un mar somero con una topografía de fondo muy irregular, sobre la cual tuvo lugar un modelo sedimentario con mucha influencia terrestre. Resalta la presencia de

parches arrecifales y bancos calcáreos lenticulares, asociados a facies margosas, arenosas y arcillosas.

Las condiciones marinas se estabilizaron prácticamente en el Albiano y Cenomaniano con la aparición de una gran plataforma sobre la cual, en algunas áreas como en Teposcolula, Golfo de Huamuxtlán e incluso Chilpancingo, se desarrollaron condiciones reductoras. Las condiciones de depósito heterogéneas desde el Berrisiano al Aptiano Inferior, paulatinamente cambiaron a condiciones más estables a partir del Aptiano Superior al Cenomaniano, lapso en el cual una gran plataforma marina se formó más allá de los límites de esta provincia. Sobre esta plataforma se generaron las formaciones Teposcolula, Morelos y Cipiapa, pero cabe aclarar que en la misma plataforma prosperaron condiciones lagunares que permitieron el depósito de evaporitas.

Con el advenimiento de la Orogenia Laramide, el mar se retira de esta región y la cubierta sedimentaria es plegada, fracturada y posteriormente erosionada; por lo tanto, al principio del Terciario, la región se encontraba emergida y sujeta a un rápido proceso de erosión y fracturamiento.

El retiro del mar de esta región, de acuerdo a las investigaciones de López Ticha Op. Cit., 1985, ocurrió a finales del Cretácico Superior y principios del Cenozoico, debiéndose a un levantamiento generalizado de los fondos marinos acompañado de la deformación de la cobertura mesozoica y su rompimiento en bloques, esto como consecuencia de la interacción de las placas de Farallón y Norteamericana (Orogenia Laramide).

El levantamiento de la cuenca mesozoica de Tlaxiaco durante la Orogenia Laramide, alcanzó una altura considerable sobre el nivel del mar y desde entonces hasta la fecha, ha estado sujeta a los procesos de erosión y fracturamiento, los cuales han devastado parcial y a veces totalmente, la secuencia sedimentaria mesozoica. Por esta razón, casi todos los anticlinales ubicados sobre los terrenos de la antigua cuenca jurásica de Tlaxiaco, están abiertos y ocasionalmente exponen hasta el basamento

metamórfico (Complejo Xolapa) tal como se observa en sección geológica contenida en mapa geológico (Fig. 4).

Del trabajo publicado por Hermann, W.R., Nelson, B.K., y Ratschbacher, L., 1994, se desprende que el magmatismo en el complejo Xolapa terminó con crecimiento cortical por plutonismo, que se caracterizó por una sistemática cristalización juvenil configurado en dirección este desde 35 M.a en el oeste (al Occidente de Acapulco) a 27 M.a. en el oriente (al Este de Puerto Angel). En el presente trabajo también se menciona que la reorganización de placas originó la transtensión izquierda distribuida a través de la Margen Continental del sur de México y la traslación en dirección oriente del Bloque de Chortis. El rejuvenecimiento en dirección este de los plutones del complejo Xolapa son también consistentes con el movimiento del Bloque de Chortis durante el desplazamiento en dirección este de la placa del Caribe.

4.3 Evolución Cenozoica

Por otro lado, en cuanto a la porción sur de Oaxaca, el escenario tectónico, involucra la actividad terminal del arco volcánico de Xolapa y un conjunto de fallas activas del Eoceno hasta el presente, de las cuales la falla Chacalapa (Tolson G., 2005) de rumbo general E-W, limita rocas granulíticas del Complejo Oaxaqueño y su cobertura sedimentaria y las rocas mesocorticales del Complejo Xolapa. Por este motivo, la propuesta que hacemos en este trabajo, es coincidente en grado máximo, al modelo tectónico que invoca la presencia del Bloque de Chortis frente a las costas de Guerrero y su posterior migración y desplazamiento hacia su posición actual (Meschede, 1994; Morán E. Centeno et al., 1996), tal como se muestra en el Modelo Tectónico del Sur de México (Fig. No.14); este modelo es apoyado por los datos geocronológicos de las rocas cristalinas a lo largo de la costa pacífica mexicana, desde Puerto Vallarta, Jalisco, hasta Salina Cruz, Oaxaca (Morán-Zenteno et al., 2000); los datos muestran una tendencia general de disminución de las edades hacia el sureste. El resultado de estas ideas es que en el área de estudio hemos registrado y

documentado dicho contacto tectónico, entre los terrenos descritos, a lo largo de zonas de cizalla que están constituidas por protomilonitas y milonitas cuya cinemática es predominantemente lateral-izquierda, luego del análisis petrográfico y los indicadores cinemáticos como los porfidoclastos sigma y los peces de micas (muestras petrográficas MS04-9 y MS04-14) (véase Apéndice Petrográfico, pags. 56 y 61).

Las últimas etapas de tectonismo, causaron fracturamiento y rotación de grandes bloques, lo que fue seguido por actividad volcánica andesítica durante el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano. Durante el Mioceno Superior prosperaron en la región los ambientes lacustres, que permitieron el desarrollo de las calizas silicificadas. En la actualidad, los agentes erosivos continúan modelando la morfología, ejemplos de esta actividad, son los depósitos fluviales y de aluvión presentes en esta provincia, en las zonas topográficamente bajas.

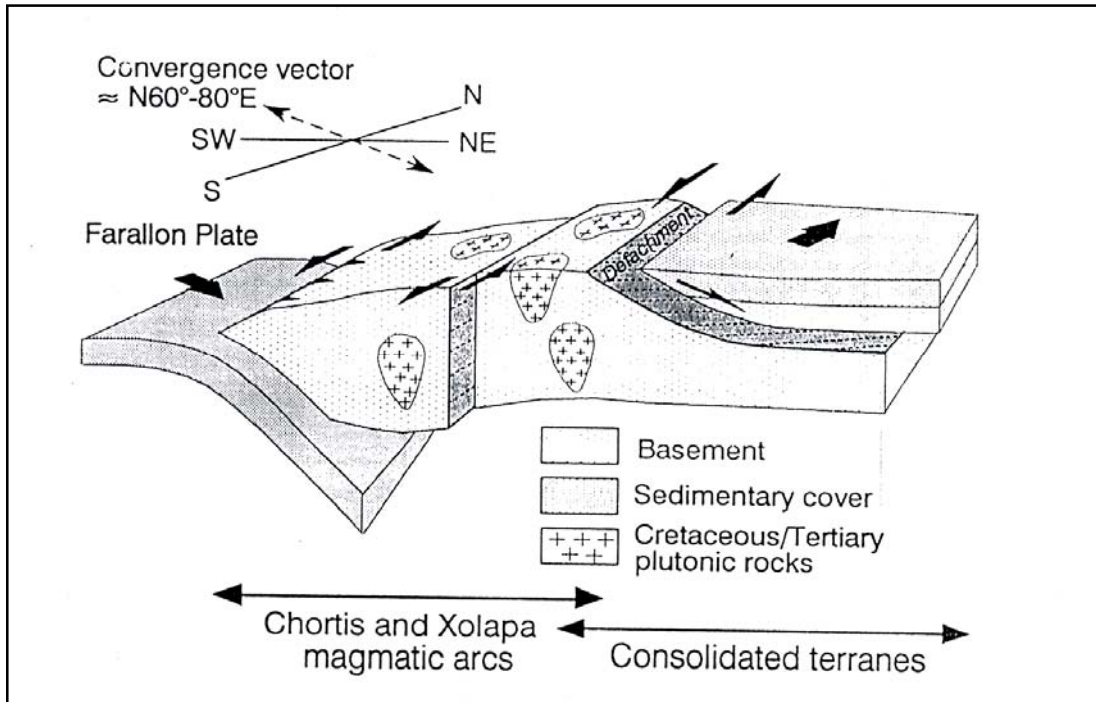


Fig. a). Esquema que muestra el ángulo de convergencia de la Placa Farallón en el Sur de México.

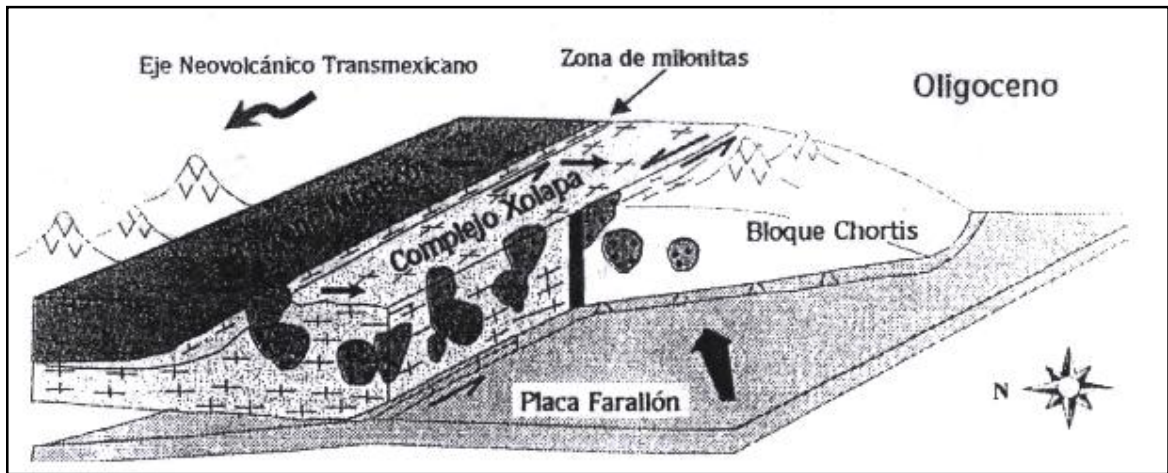


Figura b) Esquema que muestra otra perspectiva del modelo Tectónico durante el Oligoceno, en el Sur de México.

Fig. 14 Modelo Tectónico del Sur de México, mostrando el corrimiento del Bloque de Chortis por transtensión lateral-izquierdo. a) ángulo de convergencia, b) Otra perspectiva del modelo Tectónico (Tomado de Herrmann et al, 1994).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1).- El Grupo Juchatengo se encuentra en contacto con el Complejo Xolapa en una localidad próxima al poblado La Concha, sobre el Río Atoyac, donde se tiene una zona de cizalla.
- 2).- Por la presencia de xenolitos del Grupo Juchatengo, se interpreta que el complejo Xolapa retrabajó la corteza existente, asimilando por tanto las rocas de Juchatengo.
- 3).- Se reconoció un régimen de deformación dúctil-frágil que permite interpretar la ocurrencia de metamorfismo dinámico (zona de milonitización), sin soslayar que el gradiente geotérmico elevado del arco existente en ese periodo produjo retrabajo de rocas de la corteza a niveles mas profundos.
- 4).- El Complejo Juchatengo se encuentra en contacto con El Terreno Xolapa en las inmediaciones al poblado de Quinicuena, donde se aprecia que existe una segunda fase de metamorfismo correspondiente a Xolapa que afectó a Juchatengo. Las rocas presentan indicios de metasomatismo y plutonismo extenso en forma de diques, de ello se desprende que el gradiente geotérmico alto fue el mecanismo que originó dicho metamorfismo sobrepuesto.
- 5).- El estilo de contacto de las secuencias del Jurásico Medio con el Complejo Juchatengo, se encuentran en contacto discordante, aunque en otros sectores el contacto es mediante una falla tipo normal; pues siguiendo la secuencia de rocas sedimentarias clásticas (areniscas y lutitas) a lo largo de la sección que va del poblado Mano del Señor a la altura de Huichicata hacia Zenzontepec, Oax. sobre un camino de terracería, se pudo constatar que de forma abrupta se encuentran rocas del grupo Juchatengo (filitas), lo que permitió interpretar que un simple mecanismo de falla pudo haber puesto en contacto al Jurásico Medio con Paleozoico.

6).- Las calizas del Cretácico descansan directamente sobre filitas del grupo Juchatengo mediante contacto discordante.

7).- Existen elementos que indican que ocurrió acreción de un terreno tectonoestratigráfico al sur de México Xolapa-Guerrero integrantes del Bloque Chortis y su posterior migración hacia el oriente a su actual posición centroamericana. Los datos estructurales indican cizalla y zonas de falla que demuestran una deformación progresiva.

8).- El metamorfismo regional produjo una zoneografía evidenciada por la presencia de rocas de diferente grado de metamorfismo que no están dispuestas al azar sino que se encuentran alojadas en zonas isográficas que siguen una secuencia normal.

9).- Los datos de geología estructural aportan evidencia que la milonitización produjo direcciones de lineación mineral del Complejo Xolapa con orientación preferencial hacia el NE-SE.

10).- Los datos de geología estructural de la Secuencia Paleozoica de Juchatengo presentan direcciones de máxima pendiente, lineación mineral con orientaciones muy similares hacia el NE-SE.

RECOMENDACIONES

1).- Se propone realizar trabajo de detalle de geología estructural en las zonas de contacto de los terrenos estratotectónicos existentes

2).- Realizar estimaciones de laboratorio en cuanto a los grados de temperaturas y presiones barométricas de las secuencias metamórficas involucradas, con el fin de tener mayor certeza en cuanto a las fases de deformación y metamorfismo.

3).- Se recomienda hacer mas trabajo de geocronología para conocer mejor en el tiempo los diversos episodios de volcanismo y metamorfismo que afectaron a la porción del sur de México.

Referencias bibliográficas

- Araujo, M.O., 1981: Informe Geológico del Prospecto Nochixtlán, Oax., Pemex, Z.S.825 (inédito).
- Campa, M. F., and P.J. Coney, Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in México, *Canadian Journal of Earth Sci.*, v. 20, 1040-1051, 1983.
- Cardenas-Vargas, J., 1966. Contribución al conocimiento geológico de la Mixteca Oaxaqueña: Minería y Metalurgia, *Asoc. Ing. Min. Met. Geol. México*, No. 38, p. 15-107.
- Carfentan, J.CH., 1981, Evolución estructural del sureste de México- Paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas Mesozoicas. *Revista del Instituto de Geología UNAM*, v.5, num.2 p. 207-216.
- Corona-Chavez., 1997, Deformazione, metamorfismo e meccanismo di segregazione migmatitica nel Complesso Plutonico-Metamorfico del Terreno Xolapa, México: Milán, Italia, Università Degli Studi di Milano, Tesis doctoral 78 p.
- de Cserna, Zoltan, 1965, Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, estado de Guerrero: Univ. Nal. Autón. México, *Inst. Geología, Boletín* 62, 76 p.
- Keppie, J. D., Morán-Zenteno, D. J., 2005, Tectonic implications of alternative Cenozoic reconstructions for southern Mexico and Chortis Block. *International Geology Review*, v. 47, p. 473-491.
- Damon P.E., M. Shafiqullah and K.F. Clark, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis, *Rev. Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geol.*, 2, 223-238, 1981.
- Ducea, M. N., Gehrels, G. E., Shoemaker, S., Ruiz, J., Valencia, V. A., 2004a. Geologic Evolution of the Xolapa Complex, Southern Mexico. Evidence from U-Pb Zircon geochronology: *Geological Society of America Bulletin*, v. 116, p. 1016-1025.
- Ducea, M., Valencia, V. A., Shoemaker, S., Reiners, P.W. DeCelles, P.G. Campa, M.F., Morán-Zenteno, D.J. y Ruiz, J., 2004b. Rates of sediment recycling beneath the Acapulco trench: constraints from (U-Th)/He Thermochronology: *Journal of Geophysical Research*, v. 109, No. B9, p. B0940410.1029/2004JB003112.
- Erben, H. K., 1956, El Jurásico Medio y el Calloviano de México, *Congreso Geol. Internacional*, 20, México D.F. 140 p.
- Fries C., Jr., 1962 Rocas Precámbricas de edad grenviliana de la parte Central de Oaxaca en el Sur de México. *Instituto de Geología. Bol.* 64
- Fries., C., and Rincorn-Orta, C., 1965, Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronología: *Boletín Universidad Nacional Autónoma de México Instituto Geológico*, v.73, p. 57-134.
- Grajales-Nishimura, J. M., 1988, Geology, geochronology, geochemistry, and tectonic implications of the Juchatengo green rocks sequence, state of Oaxaca, southern Mexico: Tucson, University of Arizona, Tesis de maestría, 145 p.
- Grajales-Nishimura, J. M., Torres-Vargas, R., Murillo-Muñetón, G., 1986, Datos isotópicos K-Ar para rocas ígneas y metamórficas en el estado de Oaxaca, *en VIII Convención Geológica Nacional, Libro de Resúmenes: México, Sociedad Geológica Mexicana*, 150-151.
- Grajales-Nishimura, J. M., Centeno-García, E., Keppie, J. D., Dostal, J., 1999, Geochemistry of Paleozoic basalt from the Juchatengo complex of southern Mexico: tectonic implications: *Journal of South America Earth Sciences*, 12, 537-544.
- Hernández-Bernal. M. S., Morán-Zenteno, D. J., 1996, Origin of the Rio Verde batholith, southern Mexico, as inferred from its geochemical characteristics: *International Geology Review*, v. 38, p. 361-373.
- Herrmann, U. R., Nelson, B. K., and Ratschbacher, L., 1994, The origin of a terrane: U/Pb zircon geochronology and tectonic evolution of the Xolapa complex (southern Mexico): *Tectonics*, v. 13, p. 455-474.

- López Ticha D., 1985 Revisión de la Estratigrafía y Potencial Petrolero de la Cuenca de Tlaxiaco v. XXXVII. Num.1, 1985.
- Meschede, M., and Frisch W., 1998, A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate: *Tectonophysics*, v. 296, p. 269-291.
- Moran-Zenteno, D. J., J. Urrutia-Fucugauchi, C. Caballero-Miranda, E. Cabral Cano, and Z. Jurado Chichay, Magnetic fabrics and paleogeography of Oaxaca State, southern México during the Middle Jurassic, *Abstr. Eos Trans. AGU*, 67, 925, 1986.
- Morán-Zenteno, J. M., 1992, Investigaciones isotópicas de Rb-Sr y Sm-Nd en rocas cristalinas de la región de Tierra Colorada-Acapulco-Cruz Grande, estado de Guerrero: Univ. Nal. Autón. México, tesis de Doctorado en Geofísica, 186 p.
- Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P., and Tolson, G., 1996, Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 141, p. 51-65.
- Navarro-Santillán, D., et al., 2002. Lower Mississippian (Osagean) brachiopods from the Santiago Formation, Oaxaca, Mexico: stratigraphic and tectonic implications: *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 327-336.
- Ordóñez, Ezequiel, 1904, Las rocas arcaicas de México: *Memorias y Revista de la Sociedad Científica "Antonio Alzate"*, v.22, p. 315-331.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981, Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance: *Geofísica Internacional*, v. 20-3, p. 177-202.
- Ortega-Gutiérrez, F., and Elías-Herrera, M., 2003, Wholesale melting of the southern Mixteco terrane and the origin of the Xolapa Complex: *Geological Society of America, Cordilleran Section, Abstract with Programs*, v. 35, p. 4, p. 66 (abstract).
- Ratschbacher, L., Riller, U., Meschede, M., Herrmann, U., and Frisch, W., 1991, Second look at suspect terranes in southern Mexico: *Geology*, v. 19, p. 1233-1236.
- Riller, U., Ratschbacher, L., and Frisch, W., 1992, Left-lateral transtension along the Tierra Colorada deformation zone, northern margin of the Xolapa magmatic arc of southern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 5, p. 237-249.
- Ruiz Castellanos, 1979, Rubidium-strontium geochronology of the Oaxaca and Acatlán metamorphic areas of Southern México. University of Texas, disertación doctoral, 178 p.
- Salas, G.P., 1949, Bosquejo geológico de la Cuenca sedimentaria de Oaxaca: *Boletín de la Asoc. Mex. De Geólogos Petroleros*, v.1, p. 79-156.
- Schaaf, P. Morán-Zenteno, D., Hernández-Bernal, M. del S., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., and Köhler, H., 1995, Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochronological evidence: *Tectonics*, v. 14, p. 1339-1350.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., and Speed, R. C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: *Geological Society of America Special Paper 278*, 153 p.
- Tolson, G., 1998. Deformación, exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: Datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, UACPyP, México, D.F., 98 p.
- Tolson, G., 2005, La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca: *Boletín conmemorativo del centenario de la Sociedad Geológica Mexicana No. 1*, p. 107-118.
- Waitz, P., 1912, Notas preliminares relativas a un reconocimiento geológico por el curso del Atoyac (Río Verde) de Oaxaca: *Parergones, Inst. Geol. México*, v. 4, no. 1, p. 5-32.

APÉNDICE A. PETROGRAFÍA

Lámina MS04-1.- Roca obtenida en río Atoyac cerca del puente colgante en Sta. María, cuyas coordenadas son 16°28.17'N y 97°30.15'W. Se trata de una roca compuesta esencialmente de cuarzo, albita y biotita en granos xenoblásticos inequigranulares en una textura lepidoblástica. Como minerales accesorios se tienen bandas de opacos (magnetita), apatito y circones. El protolito muy probablemente es una sedimentaria semipelítica.

Lámina MS04-2.- Roca obtenida en las inmediaciones al poblado La Concha cuyas coordenadas son 16°26.94'N y 97°26.39'W. Se trata de una roca compuesta esencialmente por granos equigranulares de cuarzo en una textura granular cristalina con algunas vetillas de calcita y presentando indicios de cloritización. su clasificación se tiene en controversia pero se ha optado por denominar como sedimentaria cuarcítica ó silícea.

Lámina MS04-3.- Roca obtenida en la localidad La Conchita y coordenadas geográficas 16° 27.21'N y 97°27.33W. Se trata de una roca compuesta esencialmente de granos de anfíbol (hornblenda) plagioclasa y biotita. Como minerales accesorios se tienen al cuarzo y titanita, en una textura granoblástica inequigranular. A esta roca se le ha clasificado como anfibolita.

Lámina MS04-4.- Roca obtenida en la misma localidad, cuyas coordenadas son 16° 27.08'N y 97°27.41'W Se compone esencialmente de plagioclasa (albita), biotita, hornblenda clorita secundaria junto a biotita en textura granular. En cuanto a los porcentajes de abundancia de cuarzo este solo alcanza menos de un 20%. Siendo que su clasificación por este hecho corresponda con una roca granodiorítica.

Lámina MS04-5.- Roca obtenida en la misma localidad. Compuesta esencialmente de hornblenda y plagioclasa poikilítica? en textura lepidoblástica clasificándose por ello como anfibolita.

Lámina MS04-6.- Roca obtenida en la misma localidad de coordenadas 16°26.87'N y 97°27.47'W, compuesta de abundante plagioclasa en textura micropertítica, hornblenda en tono verdoso, biotita color castaño. Minerales opacos ilmenita-magnetita con indicios de cloritización. La textura muestra escaso bandeamiento y en cuanto a su clasificación se trata de un xenolito de esquisto anfibolítico.

Lámina MS04-7.- Roca obtenida en las inmediaciones al poblado La Palma coordenadas: 16°27.85'N y 97°28.67'W, compuesta esencialmente de biotita, cuarzo y maclas de plagioclasa con porfiroblastos sigma rotados de cuarzo y cantidades menores de micas blancas (muscovita) en una textura granular foliada ó bandeada. Su clasificación es gneis milonítico de biotita, cuarzo y plagioclasa.

Lámina MS04-8.- Roca obtenida en la misma localidad, mismas coordenadas compuesta esencialmente de cuarzo, plagioclasa y biotita en textura granular con algunos porfiroblastos de plagioclasa. Su clasificación es considerada como gneis tonalítico.

Lámina MS04-9.- Roca recolectada en la misma localidad, coordenadas 16°27.72'N y 97°28.60'W, compuesta esencialmente de cuarzo, plagioclasa y biotita en textura granular bandeada con pliegues de crenulación y porfiroblastos de plagioclasa. Su clasificación, un gneis protomilonítico.

Lámina MS04-10.- Roca recolectada en la misma localidad compuesta esencialmente de cuarzo, biotita y abundantes cristales de plagioclasa, así como hornblenda y cantidades menores de menas de fierro (ilmenita-magnetita) y clorita. En textura lepidoblástica. Su clasificación corresponde con una roca gneísica con enclaves anfibolíticos. Cristales de actinolita verde sin nícoles cruzados?

Lámina MS04-11.- Roca obtenida en las inmediaciones al cruce del Río San Pedro con el Atoyac, coordendas 16°29.02'N y 97°29.76'W, compuesta esencialmente de cuarzo, vetillas de micas en cristales xenoblásticos con minerales secundarios representados por Ilmenita-Magnetita. La textura es lepidoblástica y su clasificación es controversial pero se ha optado por denominarla roca dacítica con bandeamiento magmático.

Lámina MS04-12.- Roca recuperada en la misma localidad, coordenadas 16°29.02'N y 97°29.65'W, correspondiente a una roca esencialmente compuesta de cuarzo xenoblástico con micas de biotita color castaño y algunas claras, siendo sus minerales accesorios los opacos ilmenita-magnetita. La textura es lepidoblástica y la clasificación de la roca es gneis milonítico de cuarzo y biotita con bandas de cuarzo perfectamente bien definidas.

Lámina MS04-13.- Roca recuperada en la misma localidad, ($16^{\circ}28.72'N$ y $97^{\circ}29.60'W$) compuesta por abundantes cristales xenoblásticos de cuarzo y plagioclasa, con micas color castaño y cristales aciculares pleocroicos color verde claro (clorita?) siendo sus minerales secundarios abundantes cristales de ilmenita-magnetita. La textura es lepidoblástica y la clasificación corresponde con una roca gneísica granodiorítica.

Lámina MS04-14.- Roca recuperada en la misma localidad ($16^{\circ}28.72'N$ y $97^{\circ}29.60'W$) compuesta por abundantes cristales de cuarzo, plagioclasa xenoblásticos con micas de biotita elongadas y deformadas alrededor de ellos (porfiroblastos) como minerales secundarios están la muscovita y como accesorios las menas de hierro. La textura es lepidoblástica con porfiroblastos de plagioclasa.

Lámina MS04-15.- Roca recuperada en las inmediaciones al poblado de Sta. María ($16^{\circ}28.73'N$ y $97^{\circ}30.04'W$) compuesta esencialmente de abundantes cristales xenoblásticos de cuarzo en bandas bien definidas y micas castaño claro de biotita, siendo sus minerales accesorios los opacos (ilmenita-magnetita) en una textura lepidoblástica, clasificándose la roca como Gneis de biotita y cuarzo en intercalación de gneis mas rico en micas blancas.

Lámina MS04-16.- Roca recolectada en la misma localidad ($16^{\circ}28.85'N$ y $97^{\circ}30.06'W$) compuesta esencialmente por cuarzo, biotita y porfiroblastos de andalucita que es común en rocas metamórficas de alto grado. Como minerales accesorios se tiene la ilmenita-magnetita. La textura es lepidoblástica milonitizada. Siendo que la clasificación corresponde con un Gneis milonítico de cuarzo, biotita y andalucita.

Lámina MS04-17.- Roca recolectada en la misma localidad ($16^{\circ}28.23'N$ y $97^{\circ}30.28'W$) que se compone esencialmente de micas biotita y muscovita con cuarzo, siendo sus minerales accesorios los opacos (ilmenita-magnetita) en textura lepidoblástica con porfiroblastos miloníticos de granate. Su clasificación es Gneis milonítico de biotita granate y cuarzo.

Lámina MS04-18.- Roca recolectada en la misma localidad ($16^{\circ}28.33'N$ y $97^{\circ}30.35'W$) compuesta esencialmente de biotita, muscovita, plagioclasa, siendo sus minerales secundarios la epidota y los accesorios los óxidos de hierro. En textura lepidoblástica, siendo su clasificación un Gneis milonítico de micas y cuarzo.

Lámina MS04-19.- Roca recolectada en la misma localidad ($16^{\circ}28.90'N$ y $97^{\circ}30.43'W$) que se compone de cristales equigranulares de cuarzo, plagioclasa y micas oscuras, sus minerales secundarios son los granates y los accesorios los óxidos de hierro. La textura es lepidoblástica y se observan bandas bien definidas de cuarzo y abundancia de granates. La clasificación es un Gneis de cuarzo, micas y granate.

APÉNDICE B. LABORATORIO DE PETROGRAFÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-1**

Localidad: Río Atoyac

Descripción del afloramiento: Se trata de rocas gnéissicas con bandas bien desarrolladas.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Pardo

Estructura y textura: Bandeada

Minerales observables: Cuarzo y Biotita

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granoblástica, Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

cuarzo abundante en cristales xenoblásticos, Albita y micas-color castaño(biotita).

b) Minerales accesorios:

Opacos (magnetita) bandas-ricas en minerales opacos

c) Minerales secundarios

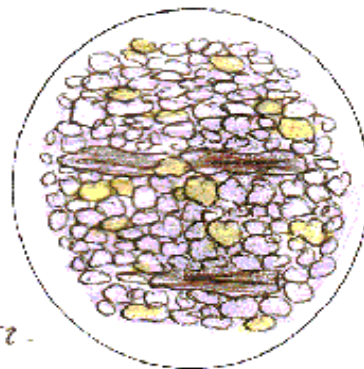
Apatito, zircones

d) Matriz o cementante

Caracteres especiales Protolito sedimentos-Semi-pelíticos.

ORIGEN DE LA ROCA Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis de Biotita y Qz.



Fecha: Junio, 2004

Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No. **MS04-2**

Localidad: La Concha, Oax.

Descripción del afloramiento: Roca sedimentaria en contacto con rocas de afinidad oceánica - (pillows) se observan estratos muy delgados (sedimentos silíceos).

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris

Estructura y textura: Estratificada

Minerales observables: Cuarzo abundante, pedernal claro.

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular, cristalina

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo abundante

c) Minerales secundarios

clorita

b) Minerales accesorios:

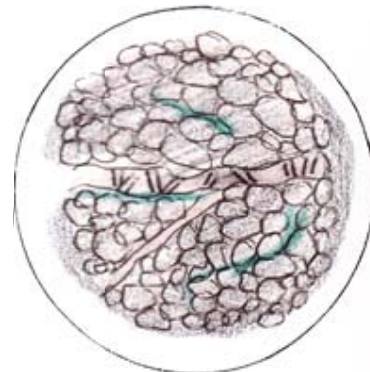
vetillas de calcita

d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamórfica de Contacto.

CLASIFICACIÓN: Cuarcita.



Fecha: Junio, 2004

Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-3**

Localidad: La Conchita, Oax.

Descripción del afloramiento: Roca metamórfica gris oscuro, en contacto con roca cuarzo-diorítica. Está cortada por numerosos diques.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris oscuro a negro

Estructura y textura: Roca con foliación

Minerales observables: Anfíboles y Plagioclasa

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granoblástica inequigranular.

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Anfíboles (hornblenda, actinolita)

Plagioclasa (Albita).

c) Minerales secundarios

Biotita

b) Minerales accesorios:

Cuarzo, titanita

d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional

CLASIFICACIÓN: Anfibolita

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-4**

Localidad: La Conchita, Oax.

Descripción del afloramiento: Roca intrusiva que presenta bandeamiento magmático.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro

Estructura y textura: Bandeada

Minerales observables: alto contenido de plagioclasa y cuarzo.

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasa (albita)

Biotita y hornblenda.

c) Minerales secundarios

clorita junto a biotita, cuarzo en

Porcentaje < 20%

b) Minerales accesorios:

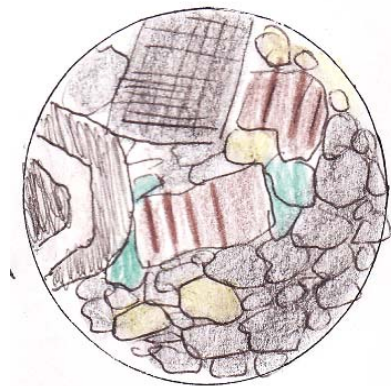
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Ígneo intrusiva

CLASIFICACIÓN: Diorita

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No. **MS04-5**

Localidad: La Conchita, Oax.

Descripción del afloramiento: Roca gris oscuro a negro en contacto con xenolitos de roca diorítica.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris oscuro a negro.

Estructura y textura: Foliada

Minerales observables: Plagioclasa y Anfíboles.

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Hornblenda, plagioclasa poikilítica

c) Minerales secundarios

abundante mica con -
cloritización

b) Minerales accesorios:

Ilmenita

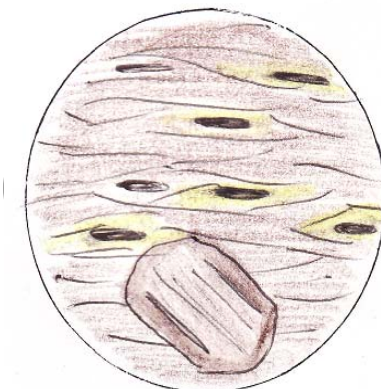
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Anfibolita

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-6**

Localidad: La Conchita, Oax.

Descripción del afloramiento: Se trata de un xenolito de esquistos de biotita+cuarczo+plag. Que muestra pliegues migmatíticos en contacto con roca anfibolítica

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris oscuro

Estructura y textura: Foliación

Minerales observables: Plagioclasa y anfíboles.

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular con bandeamiento.

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Abundante albita y hornblenda

b) Minerales accesorios:

Ilmenita y magnetita en bandas.

c) Minerales secundarios

Biotita en contacto con Clorita.

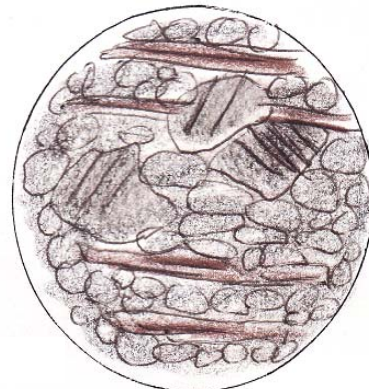
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Esquisto anfibolítico

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-7**

Localidad: La Palma

Descripción del afloramiento: Roca metamórfica milonítica con porfidoblastos sigma evidentes a simple vista, matriz de biotita. Pliegues recumbentes isoclinales.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Parda

Estructura y textura: Foliada y bandeada

Minerales observables: biotita, plagioclasa y cuarzo.

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular foliada (lepidoblástica)

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Mica biotita abundante, cuarzo
y maclas de albita.

b) Minerales accesorios:

hematita (rojiza)

Caracteres especiales

Porfidoblastos sigma

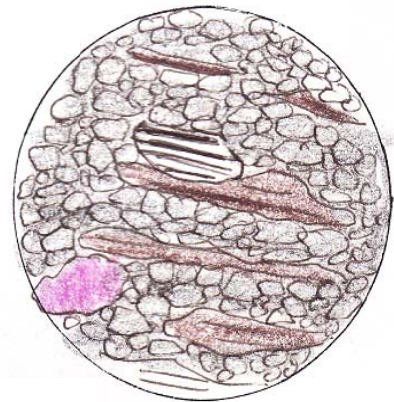
ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis milonítico de Bt+Qtz+Pl.

Fecha: Junio, 2004

c) Minerales secundarios

d) Matriz o cementante



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-8**
Localidad: La Palma

Descripción del afloramiento: Ortogneis tonalítico gris claro, aparentemente corta a gneis de biotita y cuarzo.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro
Estructura y textura: Foliada, bandeada
Minerales observables:

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular con algunos porfidoblastos
Mineralogía:

a) Minerales esenciales:
abundante cuarzo y plagioclasa
(albita) y biotita.

b) Minerales accesorios:

c) Minerales secundarios

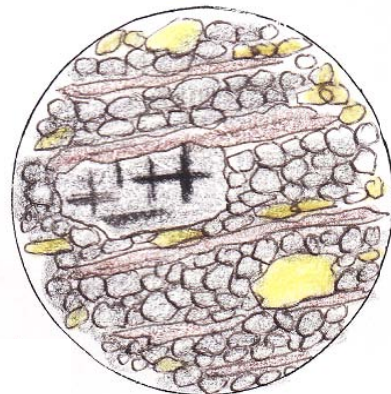
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis de Qtz+plag.+biotita

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.
PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-9**

Localidad: La Palma

Descripción del afloramiento: Gneis protomilonítico color pardo con bandeamiento.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Pardo

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Granular bandeada, pliegues de crenulación y porfidoblastos.

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

abundante cuarzo, plagioclasa y
biotita

c) Minerales secundarios

b) Minerales accesorios:

d) Matriz o cementante

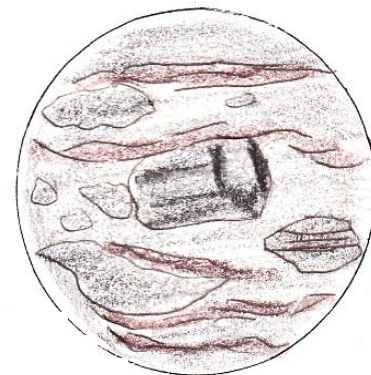
Caracteres especiales: porfidoblastos sigma de albita

Rodeados de biotita.

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis protomilonítico de Qtz+
Plag+biotita

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MSO4-10**

Localidad: La Palma

Descripción del afloramiento: Roca de gneis tonalítico con enclaves de anfibolita.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris oscuro a negro.

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Biotita, cuarzo, albita y hornblenda

c) Minerales secundarios

clorita menas de Fe
(Ilmenita-magnetita)

b) Minerales accesorios:

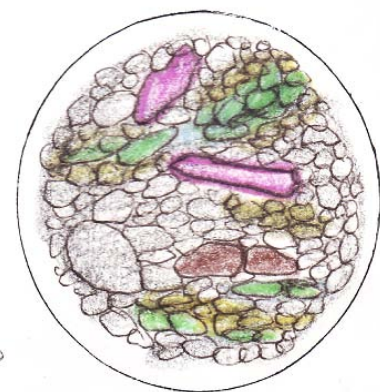
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis Anfibolítico

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-11**

Localidad: Río San Pedro

Descripción del afloramiento: Roca metadacítica con bandeamiento y lineación mineral.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro

Estructura y textura: Foliación y lineación

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Abundante cuarzo y vetillas de biotita

c) Minerales secundarios

Ilmenita-magnetita

b) Minerales accesorios:

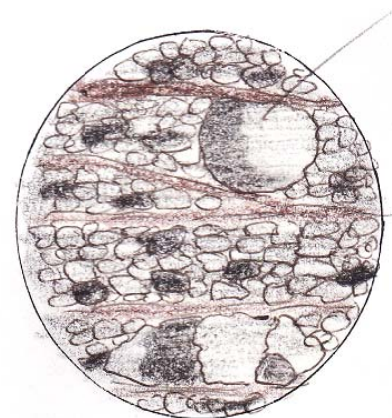
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis de cuarzo y micas
(ortogneis)

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No **MS04-12**

Localidad: Río San Pedro

Descripción del afloramiento: Roca metamórfica milonítica con foliación y lineación mineral de cuarzo.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro

Estructura y textura: Foliada y con lineación (cuarzo)

Minerales observables cuarzo

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo xenoblástico y biotita

c) Minerales secundarios

clorita

b) Minerales accesorios:

minerales de Fe (Ilmenita-magn)

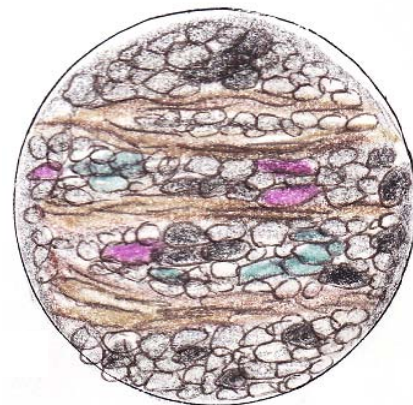
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis de biotita y cuarzo

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-13**

Localidad: Río San Pedro

Descripción del afloramiento: Gneis granodiorítico color gris claro cortado por zonas de cizalla dúctil, tienen enclaves dacíticos.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: gris claro

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables: Qtz y plagioclasa

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Abundante cuarzo xenoblástico y plagioclasa

b) Minerales accesorios:

c) Minerales secundarios

clorita

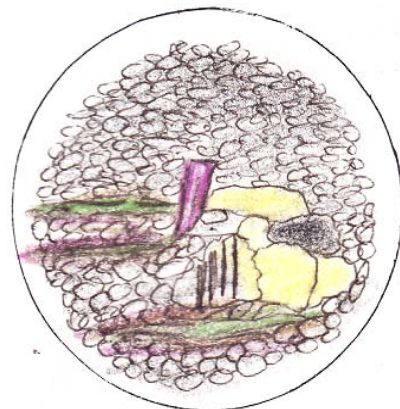
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis (Ortogneis)

Fecha: Junio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-14**

Localidad: Río San Pedro

Descripción del afloramiento: Gneis Milonítico con estructuras asimétricas.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Parda

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

cristales xenoblásticos de cuarzo y plagioclasa. Biotita-muscovita

b) Minerales accesorios:

Ilmenita-magnetita

Caracteres especiales

Pórfidos sigma

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis milonítico

Fecha: Junio, 2004

c) Minerales secundarios

d) Matriz o cementante



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-15**

Localidad: Santa María

Descripción del afloramiento: Gneis milonítico de biotita y cuarzo intercalado con gneis mas rico en mica blanca.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro y pardo

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Abundantes cristales xenoblásticos de -
Cuarzo en bandas bien definidas y biotita

b) Minerales accesorios:

Magnetita-Ilmenita

c) Minerales secundarios

d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis de biotita y cuarzo



Fecha: Julio, 2004

Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-16**

Localidad: Santa María

Descripción del afloramiento: Roca milonítica color pardo (esquistos de bt+qtz+andalucita)

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: pardo

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica milonitizada

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

cuarzo, biotita y porfidoblastos de andalucita.

c) Minerales secundarios

b) Minerales accesorios:

Ilmenita-magnetita

d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

Porfidoblastos de andalucita

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis milonítico de Bt+Qtz+ And



Fecha: Julio, 2004

Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-17**

Localidad: Sta. María (aguas abajo)

Descripción del afloramiento: Gneis milonítico de biotita, granate, cuarzo y mica blanca.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Pardo

Estructura y textura: Foliada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica con porfidoblastos miloníticos.

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:
micas: biotita-muscovita,
cuarzo y granate

b) Minerales accesorios:
Óxidos de Fe

Caracteres especiales
Porfidoblastos con sombras de presión.

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo Regional.

CLASIFICACIÓN: Micaesquistos miloníticos de Granate.

Fecha: Julio, 2004

c) Minerales secundarios

d) Matriz o cementante



Miguel Segura J.
PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-18**

Localidad: Santa María (aguas abajo)

Descripción del afloramiento: Gneis milonítico, se observan granates y andalucita.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: gris oscuro

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Biotita- muscovita y cuarzo

c) Minerales secundarios

cloritización

b) Minerales accesorios:

óxidos de Fe

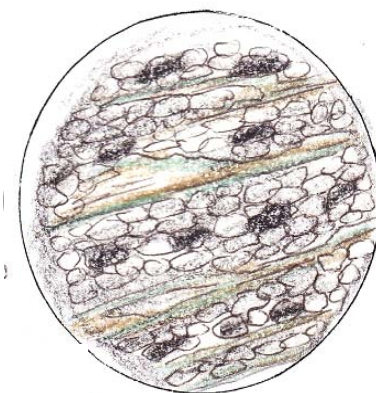
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: Gneis milonítico de Qtz+Bt+
Granate.

Fecha: Julio, 2004



Miguel Segura J.

PETROGRAFO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA
LABORATORIO DE PETROGRAFÍA

ESTUDIO PETROGRÁFICO

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: **MS04-19**

Localidad: Sta. María (aguas abajo)

Descripción del afloramiento: Gneis de biotita-cuarzo y plagioclasa.

II. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Pardo

Estructura y textura: Foliada, bandeada

Minerales observables

III. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo, plagioclasa mica biotita

Y granates.

b) Minerales accesorios:

óxidos de Fe

c) Minerales secundarios

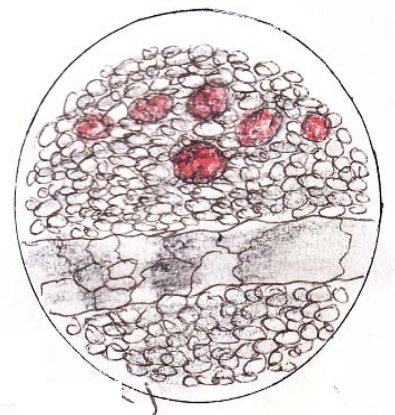
d) Matriz o cementante

Caracteres especiales

ORIGEN DE LA ROCA: Metamorfismo
Regional.

CLASIFICACIÓN: gneis de cuarzo, micas y granate

Fecha: Julio, 2004



Miguel Segura j.

PETROGRAFO