

18



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**GENESIS DE LOS YACIMIENTOS DE
CUARZO DEL COMPLEJO ACATLAN
EN EL ESTADO DE PUEBLA.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL
TITULO DE

INGENIERO GEOLOGO

PRESENTA

JULIO ANIBAL MENDEZ GARCIA

MEXICO, D. F. 1982.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-32

Al Pasante señor MENDEZ GARCIA JULIO ANIBAL,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Alfredo Victoria Morales, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO GEOLOGO.

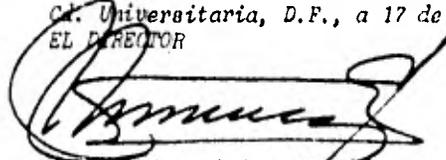
"GENESIS DE LOS YACIMIENTOS DE CUARZO DEL COMPLEJO ACATLAN
EN EL ESTADO DE PUEBLA"

Objetivo: Postular una hipótesis sobre el origen de los yacimientos de cuarzo que se encuentran localizados dentro de algunas rocas pelíticas y cuarzo-feldespáticas del Complejo Acatlán, para formular un modelo de exploración en este tipo de yacimientos.

- I.- Objetivo
- II.- Generalidades
- III.- Geología regional
- IV.- Génesis de los yacimientos de cuarzo
- V.- Conclusiones y recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ct. Universitaria, D.F., a 17 de mayo de 1982
EL DIRECTOR


Ing. Javier Jiménez Espil

F. l.
JJE'MRV'mdb.

I N D I C E

RESUMEN.	i
AGRADECIMIENTOS.	iii
1.- OBJETIVO.	1
2.- GENERALIDADES	2
2.1 Introducción	2
2.2 Método y duración de trabajo	3
2.3 Trabajos previos	7
2.4 Localización y acceso.	8
2.5 Socio-Economía del área.	10
2.6 Clima, flora y fauna	11
2.7 Fisiografía.	13
3.- GEOLOGIA REGIONAL	15
3.1 Complejo Acatlán	15
a) Formación Cosoltepec.	18
b) Formación Xayacatlán.	24
c) Formación Tecomate.	30
d) Granitoides Esperanza	33
3.2 Rocas Igneas y Sedimentarias	39
3.3 Geología Estructural	43
3.4 Evolución Tectónica.	58
3.5 Potencialidad económica.	61
4.- GENESIS DE LOS YACIMIENTOS DE CUARZO.	63
4.1 Forma y Leyes.	63
4.2 Estudio paragénetico de la roca encajonante.	65
4.3 Hipótesis genéticas de los yacimientos de cuarzo	72
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	84
5.1 Conclusiones	84
5.2 Recomendaciones.	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
BIBLIOGRAFIA	90

RESUMEN

El cuarzo es un elemento indispensable para la producción de algunas ferroaleaciones, tales como el ferrosilicio y el ferromanganeso, que son parte de la materia prima de la industria siderúrgica. Este trabajo tiene por objetivo el de deducir el origen de algunos yacimientos de cuarzo encajonados por rocas del Complejo Metamórfico de Acatlán.

El área de estudio está formada por un rectángulo localizado en la parte sur del Estado de Puebla. Su acceso se logra por la carretera federal 190 a la altura del poblado de Acatlán, Puebla.

Las rocas aflorantes en la región de trabajo varían en edad y litología; las más antiguas pertenecen al Paleozoico, y forman parte del Complejo Acatlán. De dicho Complejo Metamórfico solo se observan cuatro formaciones: la Formación Cosoltepec, constituida por dos miembros, uno formado por rocas verdes y cuarcitas y otro por filitas, filitas cuarzosas, esquistos y cuarcitas; la Formación Xayacatlán, la cual está formada por esquistos verdes, eclogitas, anfíbolitas, serpentinitas, milonitas, filonitas y cuarcitas; la Formación Tecomate, constituida por un miembro de metacaliza y otro de metaconglomerado; y los Granitoides Esperanza, los cuales están formados por un complejo de rocas foliadas de augenesquisto, esquistos micáceos, esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos calcáreos y cuarcitas de grano fino. Las otras rocas aflorantes probablemente forman parte de la Formación Huajuapán de edad Terciaria, la cual está constituida, dentro de la zona de estudio, por derrames andesíticos y basálticos, areniscas y conglomerados continentales, así como cenizas volcánicas alteradas.

Todas las rocas metamórficas se encuentran muy fracturadas, definiendo

dose un sistema de cizalle donde sus planos son perpendiculares entre sí, y cuyos planos bisectores, en consecuencia, son también perpendiculares.

El área de trabajo estuvo sujeta, después de la depositación de las rocas, a esfuerzos intensos durante el Paleozoico que produjeron metamorfismo de bajo grado (Facies Esquisto Verde). Durante el Mesozoico se mantuvo tectónicamente estable, y durante el Cenozoico el hundimiento de la paleoplaca Farallón produjo intenso fracturamiento para finalizar con acomodamientos corticales que se traducen como vulcanismo y depositación de un conglomerado continental.

Existe un gran potencial económico dentro de la zona estudiada ya que muchas rocas pueden servir, en un momento dado, como yacimientos de minerales no-metálicos, como por ejemplo, la serpentinita, el feldespatos, el cuarzo, etc..

Los cuerpos de cuarzo, objeto del presente trabajo, poseen forma lenticular de varios metros de espesor y sus leyes están por arriba del 98% de SiO_2 . Todos los diferentes tipos de roca encajonante de los cuerpos de cuarzo se encuentran en la Facies Esquisto Verde y Subfacies Biotita-Almandino.

Existen dos hipótesis acerca del origen del cuarzo de estos yacimientos: a) Producto de metamorfismo regional de una roca rica en cuarzo para producir una cuarcita, o b) Producto de segregación y depositación del cuarzo durante el metamorfismo.

AGRADECIMIENTOS

Se extiende el más sincero agradecimiento a la Compañía Minera Autlán, S.A. de C.V., y muy en especial para su Gerencia de Geología y Exploración, dirigida por el Ing. Eugenio Tavera y el Ing. Rafael Alexandri (qdep), por toda ayuda y facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo.

Otro agradecimiento es para el Ing. Alfredo Victoria catedrático de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., por su valiosa colaboración en la dirección a lo largo de la elaboración de la tesis.

También se dan las gracias al profesor Ing. Miguel Vera por todas las atenciones que tuvo al facilitar equipo y laboratorios del Departamento a su cargo dentro de la Facultad de Ingeniería.

Se agradece al Ing. Germán Arriaga la exposición de sus puntos de vista así como sus comentarios acerca de la Geología Regional del área de estudio.

A los Ings. Jorge Chelén y Manuel Flores por su colaboración en el desarrollo del capítulo de Geología Estructural.

Muy especial es el agradecimiento para la Srta. Rosa Ma. Romero por su valiosa colaboración en el mecanografiado de la tesis.

También se agradece a todas las personas no mencionadas, que directa o indirectamente participaron prestando su ayuda y exponiendo sus puntos de vista para la mejor presentación de esta tesis.

1.- OBJETIVO

En la fabricación de algunas ferroaleaciones es necesario el cuarzo como materia prima, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo fundamental el tratar de deducir el origen de los yacimientos de cuarzo que se encuentran encajonados en rocas pelíticas y cuarzo-feldespáticas del Complejo Metamórfico de Acatlán, para definir la facie metamórfica de la roca encajonante y preparar un modelo de exploración dirigido hacia los lugares donde se encuentren las rocas con esas características, ahorrando dinero y tiempo en la búsqueda de dicho mineral.

2.- GENERALIDADES

2.1 Introducción.

El impresionante incremento del uso del acero dentro de la civilización actual, hace que se produzcan aceros de mejor calidad con características especiales y sobre todo más baratos.

Compañía Minera Autlán en su afán de coadyuvar con el gobierno del país para lograr una autosuficiencia industrial y tecnológica, construyó algunas plantas de ferroaleaciones, para producir la materia prima de la industria siderúrgica.

Dos de los principales productos de las plantas de ferroaleaciones son el ferrosilicio y el silicomanganeso.

El ferrosilicio es un desoxidante muy fuerte y económico del acero, incrementa la resistencia al choque, su límite de elasticidad le da resistencia a la oxidación a altas temperaturas y favorece las propiedades magnéticas del acero.

Se utiliza para producir aceros que son empleados en la fabricación de válvulas, herramientas, flejes, resortes, muelles, etc..

Las características químicas del Ferrosilicio son:

Si	75.00	%
Fe	22.94	%
C	0.10	% máx.
P	0.035	% máx.
S	0.025	% máx.
Al	1.50	% máx.
Mn	0.40	% máx.

El silicomanganeso combina las propiedades del ferromanganeso y el ferrosilicio en una sola aleación, que es más económica por unidad de elemento. Este material protege la eficiencia del manganeso como elemento de aleación. Contiene poco carbón, por lo que su aplicación es recomendable en aceros de bajo carbón.

Es usado en la fabricación de aceros para la elaboración de engranes, tornillos, etc..

La composición del silicomanganeso es:

Mn	65/68	%
Si	16/18.5	%
C	2.0	% máx.
P	0.2	% máx.
S	0.04	% máx.
Fe	11/17	%

Un elemento importante dentro de la producción de estas ferroaleaciones es el silice, que se extrae de la tierra en forma de cuarzo.

El cuarzo es uno de los minerales más abundantes sobre la tierra y ocurre como principal constituyente de muchas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. También puede ser encontrado como mineral accesorio, y como secundario en vetas y depósitos metasomáticos. El nombre de "Cuarzo" aparece al final del siglo XVIII para reemplazar al de "cristal" o "cristal de roca". Quizá fue derivado de la palabra sajona "Querklufftertzt", o "yacimiento de vetas cruzadas", y que posiblemente se haya transformado a "Querertz" y después a "Quartz", actual significado de "cuarzo" en inglés (1).

Las características físicas y químicas del cuarzo son las siguientes: cristaliza en el sistema hexagonal, su peso específico es de 2.65, su dureza es de 7 (en la escala de Mohs), no posee crucero, su color es muy varia

ble (blanco, negro, incoloro, verde, violeta, etc.), es insoluble en ácidos, excepto en HF (ácido fluorhídrico) (2).

La composición química del cuarzo es normalmente cercana al 100 por ciento de SiO_2 , pero generalmente posee impurezas en forma de inclusiones, ya sea líquidas, sólidas o gaseosas.

El cuarzo que requieren las plantas para ser usado en la preparación de ferroaleaciones debe cumplir con las siguientes características:

Grado Ferrosilicio			Grado Silicomanganeso		
SiO_2	97.5	% mínimo	SiO_2	92	% mínimo
Al_2O_3	0.5	% máximo	Al_2O_3	0.5	% máximo
Fe	Resto		Fe	Resto	
CaO	0.15	%	CaO	0.15	%

Otra característica que debe cumplir el cuarzo necesario para la fabricación de ferroaleaciones es que no debe decrepitar o reventar, y esto se debe al contenido de agua, que al sufrir elevación de temperatura explota y puede dañar la cubierta refractaria del horno.

Las impurezas del cuarzo hacen más difícil la búsqueda de este mineral y una de ellas, la más importante, es el contenido de alúmina (Al_2O_3), que por tener punto de fusión muy elevado incrementa el gasto de energía, y además de que no puede ser eliminado en forma de escorias como las demás impurezas (S, Ca, P), sino que llega a formar parte del producto final de la planta bajando así la calidad del producto.

El cuarzo con características metalúrgicas se encuentra, en estado natural en varios tipos de yacimientos: vetas, areniscas y conglomerados silíceos, arenas y gravas silíceas, y en segregaciones producto de metamorfismo.

En una extensa área cercana al poblado de Acatlán, Estado de Puebla, se encuentran alojados en rocas metamórficas yacimientos muy puros de cuarzo, con las características necesarias para la producción de ferrosilicio y por supuesto de silicomanganeso. Estos yacimientos abastecen de materia prima a las plantas de ferroaleaciones de la Compañía Minera Acatlán, y además son el tema de la tesis.

2.2 Método y duración del trabajo,

La elaboración de este trabajo fue dividida en tres etapas, dos de gabinete y una de campo.

PRIMERA ETAPA:

Dentro de esta etapa se recopiló toda la información existente de trabajos geológicos elaborados en el área de estudio. Esta parte del trabajo se desarrolló consultando publicaciones de distintas organizaciones, tales como el Consejo de Recursos Minerales y el Instituto de Geología de la U.N.A.M., así como reportes e informes de Compañía Minera Autlán. Dentro de esta primera etapa se hizo una fotointerpretación preliminar del área de estudio, utilizando fotografías en blanco y negro a una escala aproximada de 1:50, 000. El tiempo empleado en esta etapa fue de un mes.

SEGUNDA ETAPA:

Consistió en el trabajo de campo. Con la información bibliográfica, la fotointerpretación preliminar y verificación en el campo, se procedió a elaborar un plano geológico escala de 1:50, 000. En cada localidad, marcada en las fotografías, se tomaron muestras y datos estructurales y litológicos. También en cada cuerpo de cuarzo se tomaron muestras para análisis químico y petrográfico, así como las medidas de su afloramiento. Esta etapa se llevó a cabo durante tres meses.

TERCERA ETAPA:

Esta etapa se llevó a cabo en el gabinete. Se procedió a integrar toda la información de campo para elaborar el plano geológico definitivo que comprende una superficie de 860 km². Los datos de las fotografías se transfirieron a planos topográficos de la Detenal (E14-B73 y E14-B83). Se hicieron análisis petrográficos de cada muestra, tanto de la roca encajonante como del mismo yacimiento, se obtuvieron conclusiones genéticas, y se elaboró el presente informe. La duración de esta etapa fue de tres meses.

2.3 Trabajos previos.

Pérez Ibarquengoitia, Hokuto Castillo (qdep) y Zoltan de Cserna elaboraron un estudio estratigráfico y paleontológico del Jurásico Superior, en 1965, localizado cerca del poblado de Petlalcingo estado de Puebla.

En 1966, Silvia Pineda y Zoltan de Cserna, estudiaron la geología su per fi cial en la región de Tecamatlán, estado de Puebla.

Fernando Ortega, del Instituto de Geología de la U.N.A.M., en 1974, desarrolló un trabajo sobre los primeros afloramientos de eclogitas descubiertos en México, los cuales se encuentran ubicados cercanos al poblado de Piaxtla, estado de Puebla.

En 1978, dentro de la misma área de trabajo de 1974, Fernando Ortega estableció la estratigrafía del Complejo Metamórfico de Acatlán. Hasta la fecha de elaboración de esta tesis, dicho informe era el más actualizado y el que sirvió como base para su realización.

2.4 Localización y acceso.

El área está representada por un rectángulo de 860 km², que se encuentra localizado en la parte sur del Estado de Puebla entre las coordenadas 98°20' y 98°00' longitud oeste y entre 18°07' y 18°20' latitud norte (ver figura 1).

Su acceso se logra por la carretera federal No.190, aproximadamente a 270 km de la ciudad de México, rumbo a la ciudad de Oaxaca.

Dentro de este rectángulo se encuentran ubicados numerosos cuerpos de cuarzo, de los cuales solo se estudiaron algunos, ya que se consideraron como representativos de todos los de la región y cuyos nombres, localización y acceso se mencionan a continuación (ver plano anexo).

LOS PELONES

Aproximadamente se encuentra al SE a 10 km de Acatlán. Saliendo de Acatlán, hacia México D.F., a 28 km, se encuentra la desviación hacia Tecomatlán, que conduce cerca del yacimiento de cuarzo.

TEHUANTEPEC

Ubicado a 15 km en línea recta al NE de Acatlán. Aproximadamente está localizado en el km 11 sobre la carretera Garzones-Santa Inés.

DON CEFERINO.

Localizado al NE, a 5 km de Acatlán. Se recorren 2 km sobre un arroyo al SW de Tianguistengo.

MORELOS Y TECOMATLAN

Estos dos cuerpos se encuentran muy cercanos el uno del otro. Su acceso es por la carretera Piaxtla-Tecomatlán. Se ubica cerca de este último pueblo sobre el Cerro de Tecomatlán.

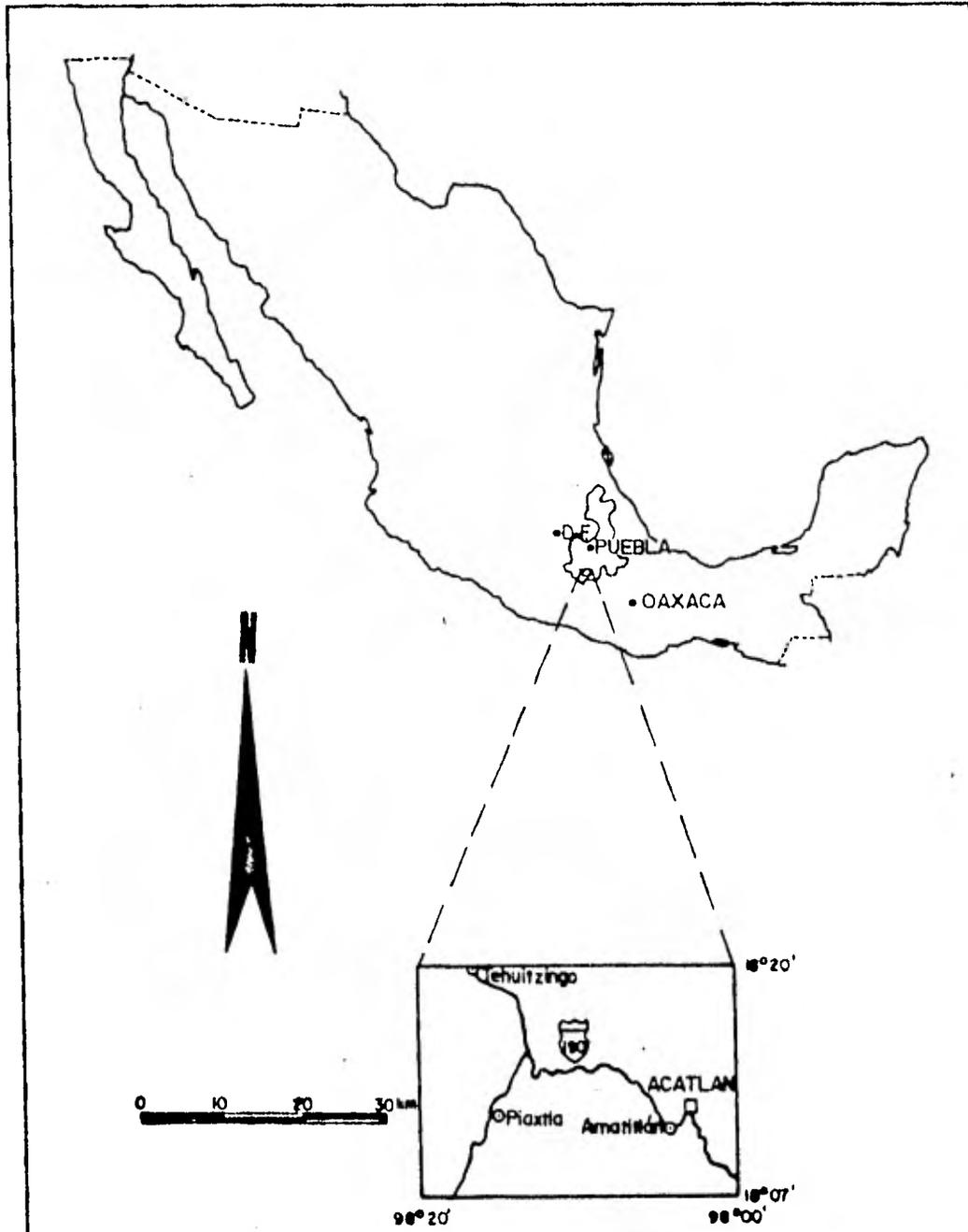


FIG. 2.1- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

2.5 Socio-Economía del área,

El poblado más grande que se encuentra dentro del área de trabajo es Acatlán de Osorio, el cual cuenta con 12, 000 habitantes; le siguen en orden de importancia, Tehuiztzingo, con 7,000 habitantes; luego San Vicente - Boqueron y Amatitlán con 2, 500 habitantes; San Bernardo, Chiantla, Piaxtla, Ahuehuetitla, la Noria de Hidalgo, Tianguistengo, San Pedro y San Pablo con una población entre 500 y 2, 000 habitantes; Nuevos Horizontes, Galeana y Garzones que tienen entre 100 y 500 habitantes; la Noria Chica, Bocanegra, Tulapa y Tecomate son pequeñas rancherías con menos de 100 habitantes.

Las actividades principales de los habitantes de la región son la agricultura y la ganadería, los cultivos principales son de temporal y el más importante de ellos es el cacahuate, aunque también cultivan maíz. En los escasos lugares donde se tienen terrenos de riego, se siembra caña de azúcar, tomate y chile. En cuanto a la ganadería la gente se dedica al pastoreo de las cabras.

Los servicios con los que se cuenta son: luz eléctrica, telégrafo, teléfono y agua potable en los poblados más importantes. En cuanto a la educación, muchas rancherías poseen escuelas rurales para enseñanza primaria, en los poblados de Tehuiztzingo, Nuevos Horizontes, Amatitlán y Acatlán se encuentran escuelas de Educación Secundaria. Además, en Acatlán se encuentran dos escuelas Normales y una de Educación Tecnológica Agropecuaria.

2.6 Clima, flora y fauna.

El clima predominante de la región es semi-seco, con lluvias abundantes en verano. A continuación se exponen los datos de precipitación mensual promedio, de los últimos 30 años.

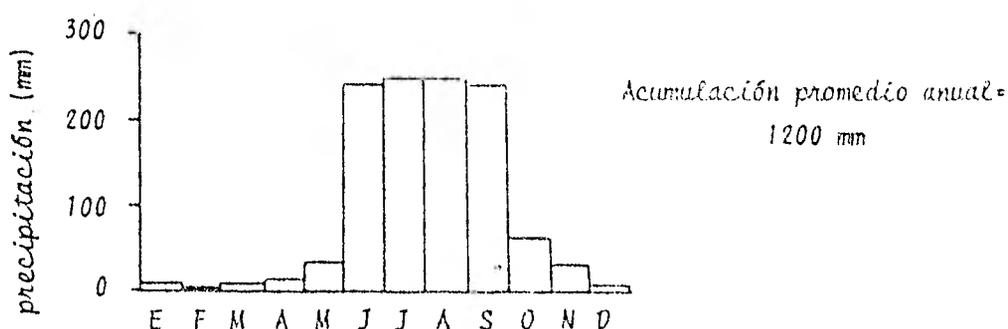


Figura 2.2. Histograma que muestra los datos de precipitación promedio mensual de los últimos 30 años (3).

La temperatura promedio, registrada en un año oscila entre los 20° y 25°C, distribuyéndose como se indica en la figura 2.3.

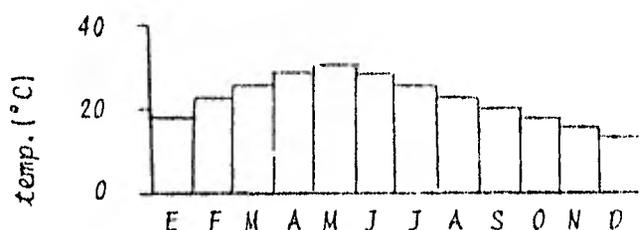


Figura 2.3. Histograma que muestra los datos de temperatura promedio mensual de los últimos 30 años (4).

Como consecuencia de este clima la vegetación dominante en la región es de dos tipos: la de las partes altas constituida por árboles frondosos

(zapote blanco, encino, cuajote rojo y amarillo) y pequeños arbustos (veneno, uña de gato, mezquite, tlahuitole), y por otra parte, la vegetación de las partes bajas, constituida principalmente por la de clima semi-seco (nopal, maguey, mala mujer, cactus, órgano, etc.).

La fauna de la región es variada, entre las aves se encuentran: tzenzontle, ticus o tiful, huilota, codobate, chachalaca, lechuza, gavilán, zopilote, águila parda y una gran variedad de reptiles, tales como: cascabel, serpiente cuijera, ilimacoa, iguana, escorpión y lagartijas. Entre los mamíferos, se encuentran, principalmente: ardilla, rata almizclera, liebre, conejo, coyote, venado, mapache, zorrillo, armadillo y tlacuache. Muy numerosa es la variedad de invertebrados, entre ellos se encuentran: araña capulina, tarántula, chicharras, libélulas, orugas y mosquitos.

2.7 Fisiografía.

El área de trabajo se encuentra fisiográficamente en los límites de la Provincia denominada Cuenca del Balsas y la Subprovincia llamada Tamazulapa, perteneciente a la zona montañosa de Guerrero-Oaxaca, de acuerdo con Alvarez Jr.. La primera está caracterizada por estar formada por rocas Mesozoicas, muy plegadas y falladas, también existen algunas cadenas alargadas formadas por rocas eruptivas. La segunda está constituida por esquistos Paleozoicos, intrusiones graníticas y rocas Jurásicas y Cretácicas (5).

La zona de estudio, está caracterizada por presentar una topografía muy variada. Las rocas metamórficas forman lomas redondeadas y de pendiente muy suave (foto 1); las rocas volcánicas constituyen las partes más elevadas del terreno (Cerro del Cantón a 1900 msnm) y las partes más bajas están formadas por los depósitos de aluvión (1100 msnm).



Foto 1. Expresión fisiográfica del Complejo Acatlán.

En cuanto al drenaje, la forma principal de este es la dendrítica. La corriente principal es el Río Acatlán, el cual atravieza a toda la zona de investigación de NE a SW, uniéndose al Río Mixteco en la esquina SW.

3.- GEOLOGIA REGIONAL

La columna geológica del área está formada por las siguientes rocas: metamórficas del Paleozoico y sedimentarias e ígneas del Terciario (?).

Las rocas metamórficas forman parte del llamado "Complejo Acatlán", Según Ortega, 1978.

3.1 Complejo Acatlán.

Ortega en 1978, propone cambiar el rango de Formación Acatlán por el de Complejo Acatlán, ya que se encuentra subdividida en varias unidades litoestratigráficas debido más que nada a la complejidad de su litología. Dicha definición se apega al Código de Nomenclatura Estratigráfica, que dice en su artículo 6.j "Si una masa de rocas está compuesta de diversos tipos de alguna o algunas clases o es caracterizado por tener una estructura altamente complicada, la palabra "Complejo" puede ser usada como parte de un nombre formal en lugar de un término litológico o de rango" (6).

El Complejo Acatlán abarca una superficie aproximada de 10, 000 km², cuyas rocas están expuestas en la Mixteca de Puebla y Norponiente de Oaxaca. Su sección tipo es a lo largo de la carretera federal No.190 (México Oaxaca), desde el entronque con Tecomatlán, hasta el poblado de Petlalcingo (7). El espesor del Complejo no pudo medirse ni calcularse debido a la intensa deformación que presenta.

La mayor parte del Complejo está formada por rocas producto de metamorfismo regional e incluye unidades metasedimentarias, tales como filitas, esquistos y gneisses y unidades metaígneas formadas por rocas verdes, metagrabros y milonitas.

Edad.-

La edad del Complejo Acatlán aun no ha sido determinada con exactitud. Fósiles encontrados dentro del Complejo determinaron una edad Post-precámbrica (8). Por correlación estratigráfica, en la región de Petlalcingo, rocas de la Formación Tecomaztlachil descansan en discordancia angular sobre el Complejo Acatlán, por lo que se establece una edad Prejurásica (9).

Las edades isotópicas y radiométricas del Complejo apoyan una edad Cambro-devoniana, como puede observarse en la tabla 3.1.

ROCA	MINERAL	METODO	EDAD (M.A.)
Augenesquisto	Microclina	Rb-Sr	448 ± 175
Augenesquisto	Zircón	Pb-alfa	510 ± 60
Gneis micáceo	Zircón	Pb-alfa	830 ± 90
Tronco de Totoltepec	Zircón	Pb-alfa	440 ± 50
Augenesquisto	Roca total	Rb-Sr	428 ± 24
Pegmatita	Muscovita-plagioclasa	Rb-Sr	283

Tabla 3.1. Datos Geocronométricos del Complejo Acatlán (10).

El Complejo Acatlán está dividido en dos Subgrupos: Subgrupo Acateco y Subgrupo Petlalcingo (11). Incluye también dos unidades metagraníticas y una granítica (Tabla 3.2).

Cabe mencionar que las únicas Formaciones del Complejo, aflorantes en el área de estudio de esta tesis son: Cosoltepec, Xayacatlán, Tecamate y Esperanza, por lo que serán las únicas que se describirán con detalle en las páginas siguientes.

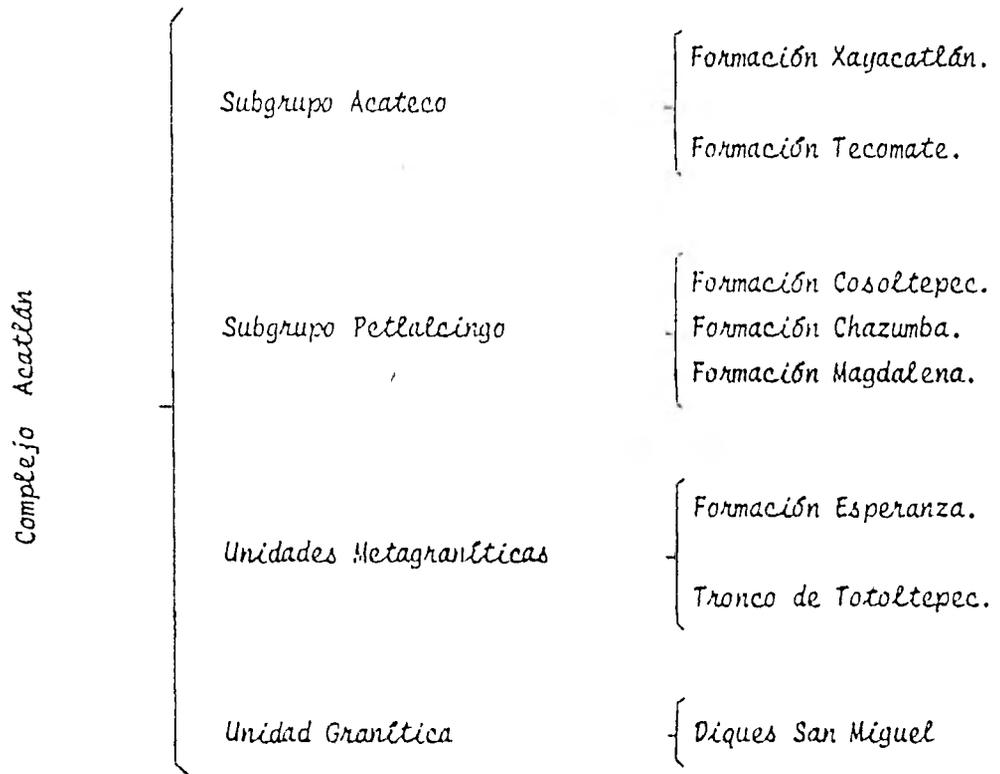


Tabla 3.2. Complejo Acatlán. (Era Paleozoica).

a) Formación Cosoltepec.

Definición.- Se define a la Formación Cosoltepec como una secuencia de rocas metamórficas, consistente de rocas verdes en su base, cuarcitas, rocas verdes y esquistos calcáreos en su parte media y cuarcitas y filitas, intercaladas, en su parte superior. La edad que se le asigna es Paleozoica Temprana[12].

Distribución y relaciones de campo.- El nombre se toma del poblado de Cosoltepec situado al este del área de trabajo, Ahí se encuentra expuesta la totalidad de la formación, por lo que constituye el área tipo, siendo su sección tipo a lo largo del camino Cosoltepec-Xoluxtla. En esta región se calculó un espesor estructural de 3, 500 m como máximo [13].

En la zona de estudio, la Formación Cosoltepec se encuentra distribuida en la parte oriental y en la parte occidental, presentando foliación con rumbo N-S (ver plano geológico).

Cabe mencionar que la Formación Cosoltepec no aflora en su totalidad dentro de la región de trabajo, ya que su base no se encuentra expuesta.

El contacto de esta formación con las otras formaciones del Subgrupo Petlalcingo no existe dentro del área, ya que como se explicó anteriormente no aflora la base, pero Ortega Gutiérrez menciona en su trabajo que "su base es estructuralmente concordante con la Formación Chazumba" (14). Los contactos con las formaciones del Subgrupo Acateco son bruscos y graduales, con la Formación Xayacatlán en la parte occidental, el contacto es estructural, formado por una gran falla inversa, con rumbo NE-SW. Con la Formación Tecomate el contacto se aprecia perfectamente al oriente de Acatlán, dicho contacto está marcado por un cambio de pendiente siendo muy suave en la Formación Tecomate y un poco más abrupta en la Cosoltepec.

Secuencia litológica.- Sobre la superficie de estudio solo se encuentran expuestas dos unidades: la media y la superior. Las rocas que integran la parte media son rocas verdes y cuarcitas (foto 2); la parte superior - incluye filitas, filitas cuarzosas, esquistos y cuarcitas.

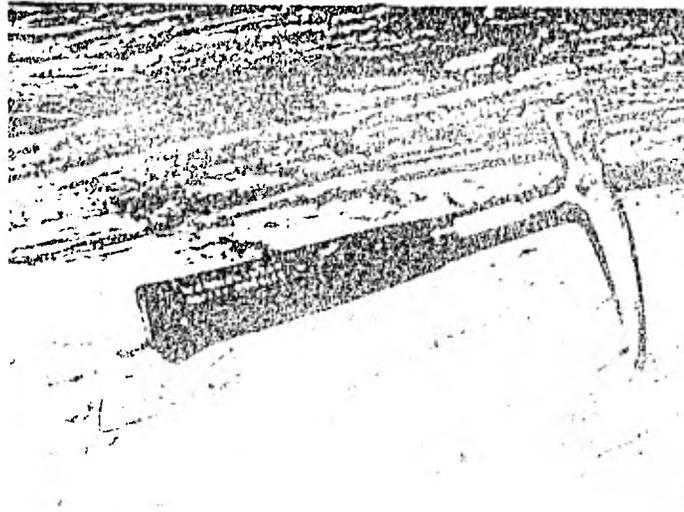


Foto 2. Contacto entre una cuarcita y una roca verde de la unidad media de La Formación Cosoltepec.

Las rocas verdes de la parte media afloran únicamente en la parte sur oriental del área (ver plano geológico), y se presentan en capas de pocos metros de espesor (5m). Consiste principalmente de rocas verde claro, intercaladas con rocas más oscuras, ambas de grano fino ligeramente bandeadas. Al microscopio los minerales esenciales de esta roca son: actinolita (0-40%), hornblenda (0-45%) y ortoclasa (10%), teniendo como accesorios calcita (5%) y epidota (17%), algunas presentan cuarzo (5%) y zoisita (5%). En los afloramientos algunas de estas rocas poseen pequeñas segregaciones de cuarzo. Las cuarcitas asociadas a estas rocas son de color verde, ligeramente bandeadas y masivas; su mineralogía es muy simple y están consti-

tuídas por cuarzo (90%), ortoclasa (4%), sericita (trazas) y clorita (2%), teniendo pequeñas vetas rellenas de calcita.

La parte superior, la cual se encuentra mas ampliamente distribuida, consiste esencialmente de esquistos, filitas, filitas cuarzosas y cuarcitas. Los esquistos son de muscovita y cuarzo feldespáticos, ambos de color verde pálido, foliados y con segregaciones de cuarzo, algunas de las cuales son de dimensiones económicamente explotables. Los minerales esenciales son: cuarzo (10%), feldespato (80%) y muscovita (10%).

Las filitas (foto 3) son en su mayor parte ricas en sericita (70-80%) tienen como accesorios epidota (trazas) y clorita (5%). Ocasionalmente presenta un alto contenido de cuarzo (20%) denominándosele a estas como filitas cuarzosas. La mayoría de las filitas presentan un color verde obscuro, muy compactas, cerosas al tacto, fuertemente bandeadas y muy fracturadas.

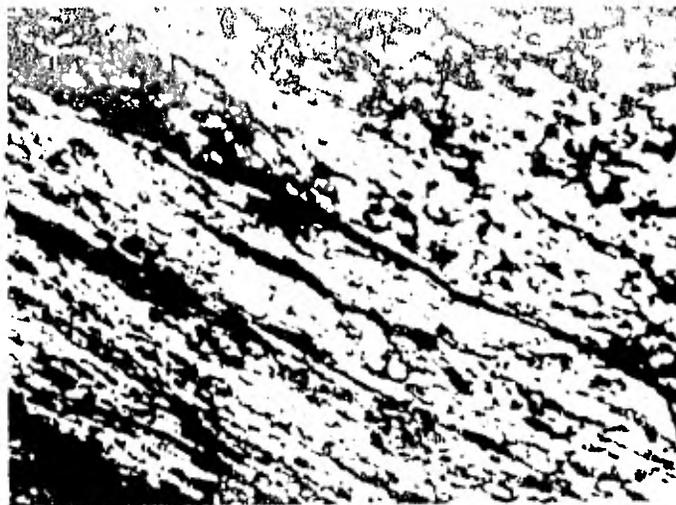


Foto 3. Fotomicrografía del contacto entre una cuarcita y una filita de la parte superior de la Formación Cosoltepec.

A lo largo del camino Garzones-Santa Inés Aguatempan (ver plano geológico), se aprecian a las filitas con intervalos de rocas verdes ricas en hornblenda. Las cuarcitas asociadas a las filitas consisten principalmente de cuarzo (93%), con impurezas de muscovita (1-5%) y feldespatos potásicos (0-5%).

Dentro de esta unidad abundan los lentes y cuerpos irregulares de -- cuarzo lechoso los cuales son el objeto de investigación del presente trabajo.

Origen.- Para la secuencia de rocas verdes y cuarcitas de la parte media de la formación, Ortega propone un depósito de pedernal muy puro, de ambiente de baja energía, con manifestaciones de volcanismo básico. El suscrito propone otro origen para las cuarcitas, que probablemente hayan provenido de una arenisca de cuarzo puro o arenita (15).

La composición química (Tabla 3.3) de una muestra representativa de la cuarcita, se aproxima bastante al promedio de las arenitas.

	1	2
SiO ₂	96.5	96.4
TiO ₂	-	-
Al ₂ O ₃	1.61	2.1
Fe ₂ O ₃	-	0.7
FeO	-	0.3
MnO	-	-
MgO	0.8	0.2
CaO	-	0.1
Na ₂ O	-	-
K ₂ O	0.8	-
P ₂ O ₅	-	-
CO ₂	-	-
H ₂ O	0.3	0.7
TOTAL	100.0	100.5

Nota: (1) Muestra recolectada por el autor dentro del área de trabajo.

(2) Promedio de areniscas cuarzosas (16).

Tabla 3.3. Análisis de una cuarcita de la Formación Cosoltepec y del promedio de las arenitas.

La tabla 3.4 muestra el análisis químico promedio de dos rocas verdes de la parte media de la Formación Cosoltepec, comparada con un basalto olivínico (17).

	1	2	3
SiO ₂	42.0	40.1	43.7
TiO ₂	-	-	1.6
Al ₂ O ₃	8.1	13.1	13.5
Fe ₂ O ₃	4.2	10.9	4.1
FeO	12.2	3.2	8.4
MnO	-	-	0.4
MgO	8.3	11.0	10.8
CaO	19.3	15.6	9.1
Na ₂ O	-	-	2.4
K ₂ O	-	1.8	2.5
CO ₂	4.9	3.0	0.1
H ₂ O	2.2	1.2	3.1
TOTAL	101.2	99.9	100.2

NOTA: (1) y (2) Rocas verdes colectadas y analizadas por el autor de este trabajo.

(3) Basalto olivínico de Turner y Verhoogen.

Tabla 3.4. Comparación entre dos rocas verdes del Complejo Acatlán y un basalto olivínico.

b) Formación Xayacatlán.

Definición.- Se define como Formación Xayacatlán al conjunto de rocas verdes de grano fino, metagabros bandeados de hornblenda y augita milonitizados, serpentinita, anfíbolita, eclogitas y metasedimentos cuarcíticos y pelíticos con afinidad ofiolítica (18).

Distribución y relaciones de campo.- El nombre se toma del poblado de San Jerónimo Xayacatlán, situado al oriente del área de trabajo, ahí mismo se encuentra la sección tipo que consiste en una secuencia casi vertical de unos 2, 000m de rocas básicas metamorfoseadas y milonitizadas, que se encuentran en contacto paralelo con la Formación Cosoltepec.

De todas las formaciones esta es la que tiene una distribución más restringida. El afloramiento más grande se encuentra en la parte occidental de la región y posee un rumbo general N-S. Otro afloramiento de menores proporciones se encuentra localizado en la parte Suroriental de la zona (ver plano geológico).

Como se mencionó anteriormente en el extremo occidental de la región estudiada, la Formación Xayacatlán cubre por medio de una falla inversa a la Formación Cosoltepec (ver plano geológico). Y con respecto al contacto con la Formación Esperanza, Ortega (19) afirma que la relación geológica que guarda esta con la Formación Xayacatlán es aparentemente intrusiva.

Litología.- Dentro de la región de estudio, la Formación Xayacatlán consiste de esquistos verdes, eclogitas, anfíbolitas, serpentinitas, milonitas, filonitas y cuarcitas.

Los esquistos verdes se encuentran en el camino Plaxtla-Tecomatlán (km8.5), y se presentan como una roca esquistosa de grano fino, verde oscuro, con pequeñas segregaciones de cuarzo y cerosa al tacto. Al microscopio se reconoció que los minerales esenciales son el granate tipo pirope

(24%) y la clorita (22%), teniendo como accesorios cuarzo (10%), feldespatos alcalinos (10%), albita (5%), calcita (15%) y epidota (6%).

En esta región se descubrieron por primera vez en México afloramientos de rocas eclogíticas (20). Cabe mencionar que el suscrito no encontró ningún lente o cuerpo de eclogita, pero hay evidencias de su existencia, - como se explicará más adelante. Según Ortega, dos tipos de eclogitas se encuentran dentro de la región de Piaxtla-Tecomatlán, uno contiene fengita (solución sólida de muscovita y calcedonia), y el otro abundante hornblenda, omfacita (piroxeno de calcio y sodio, hierro y aluminio) (21), y granate tipo piropo. Otros minerales, menos abundantes son: epidota, cuarzo y rutilo.

Las anfibolitas, también expuestas en la región Piaxtla-Tecomatlán, - son rocas verde oscuro, intemperizan a pardo, muy compactas y de textura granoblástica. Los minerales esenciales, reconocidos al microscopio, son: hornblenda (30-35%), actinolita (15-20%) y piropo (15%), teniendo como accesorios: albita (5%), cuarzo (7%), oligoclasa (5%), esfena (trazas) y clorita (trazas) (fotos 4 y 5).

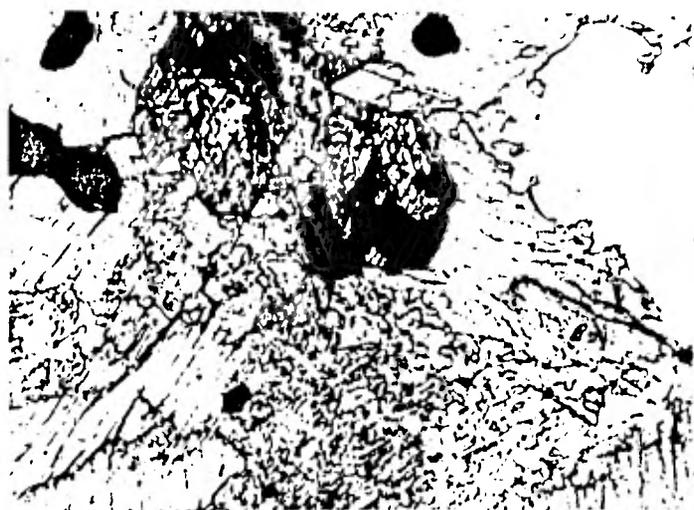


Foto 4. Fotomicrografía de una anfibolita de la Formación Xayacatlán, sin nicoles.



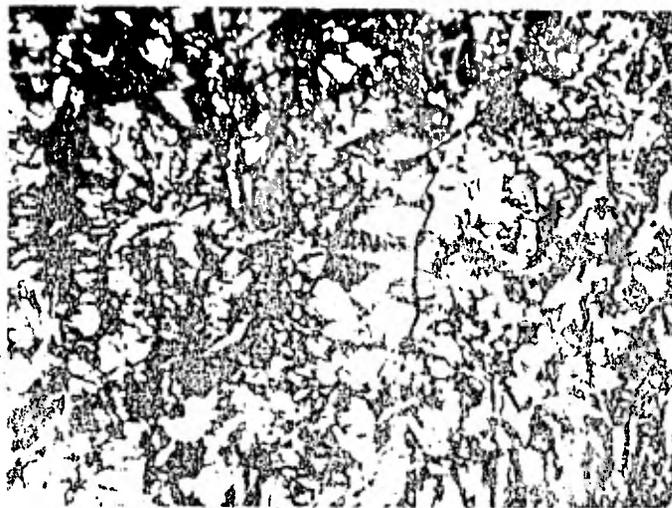
Foto 5. Fotomicrografía de una anfíbolita de la Formación Kayacatlán, (NX).

Este afloramiento es una evidencia de la posible existencia de eclogitas, ya que parecen haberse formado por metamorfismo retrogrado de ellas. Prueba de ello es el intercrecimiento de actinolita y oligoclasa, y la albitización del granate (22).

En la región Suroriental se encuentra expuesto un afloramiento de serpentina, del cual se extrae gran cantidad de serpentinita. El cuerpo tiene forma lenticular y es concordante con la foliación, presenta vetas de crisotilo y en su perímetro tiene alteración a talco originado por el proceso de "esteatización" (23). Al microscopio, la roca, presenta una textura en forma de hojuelas. Consiste principalmente de antigorita, magnetita, talco y clorita (foto 6).

Un miembro de la Formación Kayacatlán, consiste en hornblenda milonitizada. Dicho afloramiento se encuentra en el camino Piaxtla-Tecomatlán, sobre el entronque con el camino a Tlaxcoapan. La roca se presenta esquistosa y de color verde oscuro. Los minerales principales son hornblenda -

verde (40-50%) y clorita (10-15%), los accesorios son cuarzo (10%), albíta, ortoclasa (5%), biotita (2%) y epidota (5%).



0.1 mm
↔

Foto 6. Fotomicrografía de una serpentinita (antigorita) de la Formación Xayacatlán, (NX).

Muy cerca del poblado de Piaxtla, se encuentra una intercalación de cuarcita y filita, ambas de grano fino, solo que la primera es color rosa mientras que la segunda es gris oscuro. La composición mineralógica de la filita es muy simple, estando formada por sericita (60-70%), ortoclasa (5-10%) y cuarzo (5%).

Origen.- Probablemente, debido a su composición química básica, la Formación Xayacatlán haya provenído de un Complejo ofiolítico originalmente formado por peridotitas, gabro, dolerita, basalto y sedimentos pelágicos (24). La tabla 2.5 muestra la relación que existe, en cuanto a la composición, entre la serpentinita y el promedio de las peridotitas.

	1	2
SiO ₂	41.9	43.5
TiO ₂	0.1	0.8
Al ₂ O ₃	1.9	4.0
Fe ₂ O ₃	1.2	2.5
FeO	6.8	9.8
MnO	0.1	0.2
MgO	35.2	34.0
CaO	-	3.5
Na ₂ O	0.1	0.6
K ₂ O	-	0.3
CO ₂	1.6	-
P ₂ O ₅	-	0.1
H ₂ O	10.5	0.7
TOTAL	99.4	100.0

Nota: (1) Análisis hecho por el Instituto de Geología de la U.N.A.M., de una muestra de serpentinita colectada por Ortega.
 (2) Promedio de las peridotitas (25).

Tabla 3.5. Composición química de una serpentinita de la Formación Xayacatlán y del promedio de las peridotitas.

La tabla 3.6 muestra la composición de la hornblenda milonitizada en comparación con la composición de un gabro promedio.

	1	2
SiO ₂	45.3	48.4
TiO ₂	-	1.3
Al ₂ O ₃	12.2	16.8
Fe ₂ O ₃	15.0	2.6
FeO	0.8	7.9
MnO	-	0.2
MgO	14.7	8.1
CaO	8.3	11.1
Na ₂ O	0.4	2.3
K ₂ O	0.8	0.6
P ₂ O ₅	-	0.2
CO ₂	-	-
H ₂ O	2.4	0.5
TOTAL	99.9	100.1

Nota: (1) Hornblenda milonitizada, colectada y analizada por el autor de esta tesis.

(2) Gabro promedio (26).

Tabla 3.6. Comparación de una hornblenda milonitizada de la Formación Xayacatlán y la composición del gabro promedio.

Las estructuras relictas (bandeamiento Igneo), así como los minerales también relictos, de las anfibolitas, nos sugieren un origen basáltico y dolerítico. Las filitas y cuarcitas probablemente provengan de los sedimentos pelágicos.

En resumen, se puede completar la secuencia ofiolítica, en orden estructural ascendente, de la siguiente manera: serpentinitas (metaperidotitas), hornblenditas milonitizadas (metagabros), anfibolitas (metabasaltos y metadoleritas) y filitas, cuarcitas y esquistos (metasedimentarios).

c) Formación Tecomate.

Definición.- Es nombrada por vez primera, con el rango de Formación en 1970 [27] para una secuencia de metagrauvascas, meta-arcosas y pelitas, con un miembro de metaconglomerado y otro distintivo que está compuesto por metacaliza impura.

Distribución y relaciones de campo.- La Formación Tecomate aflora en su totalidad desde Acatlán hasta el poblado de Tecomate, de donde toma su nombre. Tanto el área tipo, como su sección tipo, se encuentran en las inmediaciones de este poblado. Se distribuye en cordones con rumbo N-S, en el extremo oriente de la región (ver plano geológico). La Formación Tecomate sobreyace a la Formación Xayacatlán a lo largo de un contacto paralelo en la zona de Huajuapán fuera de la región de estudio [28]. En la parte central del área de estudio, las Formaciones Xayacatlán y Tecomate, debido a la interestratificación ocasionada por fuerte plegamiento, se cartografiaron como Subgrupo Acateco No Diferenciado (ver plano geológico).

La Formación Tecomate descansa estratigráficamente sobre la Formación Cosoltepec. Al norte del poblado de Acatlán, el cambio es transicional.

Litología.- La Formación Tecomate está formada, básicamente, por dos litologías muy diferenciadas que son: metacaliza y metaconglomerado.

La metacaliza constituye un horizonte índice para la identificación de la Formación Tecomate. La unidad de metacaliza consiste en un paquete tabular de 1 a 10m de espesor, de color gris oscuro (foto 7). Esta unidad presenta abundante laminación de material arcilloso. Al microscopio - la calcita se presenta en forma de micrita y también en cristales más grandes, estando estos últimos deformados y presentando, frecuentemente, figura biáxica (foto 8). También consiste, en proporciones variables, de cuarzo, micas blancas y feldespatos. El cuarzo de la metacaliza se haya acompa

ñado de lutitas calcáreas metamorfoseadas, formando así una roca metamórfica de grano fino y bandeada que consiste principalmente de calcita, cuarzo, sericita y ortoclasa.

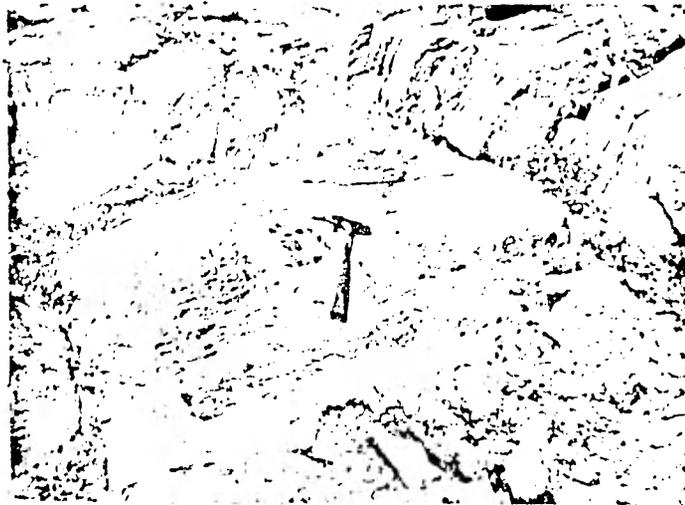


Foto 7. Afloramiento del horizonte de metacaliza de la Formación Tecomate, cerca del poblado del mismo nombre.

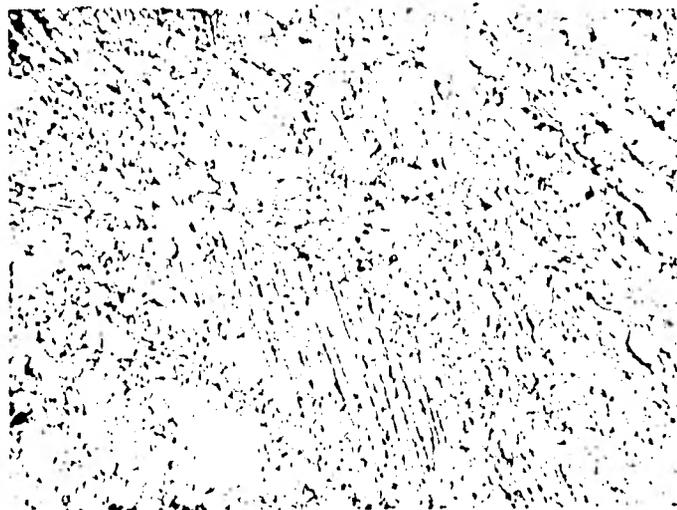


Foto 8. Fotomicrografía de la metacaliza de la Formación Tecomate.

Ortega, en su trabajo de 1978 encontró fragmentos de briozoarios y moluscos, no indicativos de una edad precisa, pero... "algunas muestras de la metacaliza estudiadas en la Universidad de Liverpool mostraron la existencia aparente de cistoides, que definitivamente darían a la Formación Tecamate una edad Premisisípica y Poscámbrica" (29).

La unidad de metaconglomerado está formada por cantos de rocas graníticas, pero también predominan las volcanitas félsicas e intraclastos de caliza y pizarra (30). Dentro de esta unidad se encuentra una formada por meta-arcosas la cual presenta color naranja, foliada y muy fracturada.

En el microscopio se aprecia la siguiente mineralogía: microclina -- pertítica (40-45%) y oligoclasa (5%), y en cantidades menores biotita (2%) y clorita (2%).

Las metapelitas están representadas por filitas y filitas cuarzosas. Son rocas de grano muy pequeño, finamente bandeadas y fracturadas. Consisten de cuarzo (10-20%), sericita (20-60%), plagioclasa sódica (0-5%) y ortoclasa (5-10%), teniendo como accesorios epidota (10%) y biotita (0-5%) y calcita (0-5%).

Origen.- Un origen marino es evidente debido a la presencia de la unidad de metacaliza ya que dentro de ella se han encontrado fósiles de ambientes de alta energía (31). Por otra parte la presencia de metaconglomerado, meta-arcosas y calizas arcillosas, nos indican un ambiente marino muy somero.

"En sección delgada se pudo observar la presencia común de zircones - redondeados de color rosa pálido, así como feldespatos pertíticos y escasos cristales también detríticos de grante, sillimanita, biotita y corindón (?). Indudablemente estos minerales provinieron de un Complejo Metamórfico de alto grado, probablemente idéntico al Complejo Oaxaqueño del centro de Oaxaca" (32).

d) Granitoides Esperanza.

Definición.- Ortega (33) propone formalmente el nombre de "Granitoides Esperanza" para las rocas que corresponden aproximadamente a las de la "Formación Esperanza" de Rodríguez Torres (34), ya que con este nombre se enfatiza su composición litológica granítica (35).

Distribución y relaciones de campo.- El área tipo aflora dentro de la zona de trabajo, mientras que la sección tipo se propone a lo largo de la carretera federal No. 190 desde Nuevos Horizontes hasta el km 197, al poniente de dicho poblado.

Es la formación más ampliamente distribuida. En el centro de la región estudiada está representada por una faja de 10 a 15 km de ancho y con rumbo aproximado de NNE-SSW.

Dentro de la superficie cartografiada, los Granitoides Esperanza, siempre se encuentran en contacto con rocas del Subgrupo Acateco y parte superior de la Formación Cosoltepec (filitas y cuarcitas). Los contactos son muy variados. En la región de Piaxtla-Tecomatlán, se presentan los Granitoides Esperanza intrusionando a la Formación Xayacatlán con un contacto muy tectonizado (36). El contacto con la Formación Tecomate es muy ambiguo, aunque cerca del poblado de Acatlán, se presenta dentro de la Formación Tecomate un dique concordante con la foliación de granito pegmatítico metamorfoseado y rico en muscovita, de más de 100m de ancho. Esto sugiere una relación intrusiva de los Granitoides Esperanza con la Formación Tecomate.

Litología.- En conjunto los Granitoides Esperanza están formados por un complejo de rocas foliadas y bandeadas de diferentes tipos: augenesquistos, esquistos micáceos, esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos calcáreos y cuerpos estratiformes de rocas de grano fino.

Los augenesquistos son rocas que contienen "ojos" de la roca original [con textura cataclástica] o minerales originales contenidos en una matriz esquistosa de cuarzo y mica (37). El origen de estas rocas es por metamorfismo cataclástico, que por su relación textural se clasifican como milonitas (38). A nivel de afloramiento en el km 198.5 de la carretera federal No. 190, se presentan como rocas esquistosas y bandeadas de color verde con "ojos" de feldespatos de color rosa. Dichos "ojos" llegan a medir hasta 10 cm, pero su tamaño promedio es de 2 a 5 cm (foto 9).

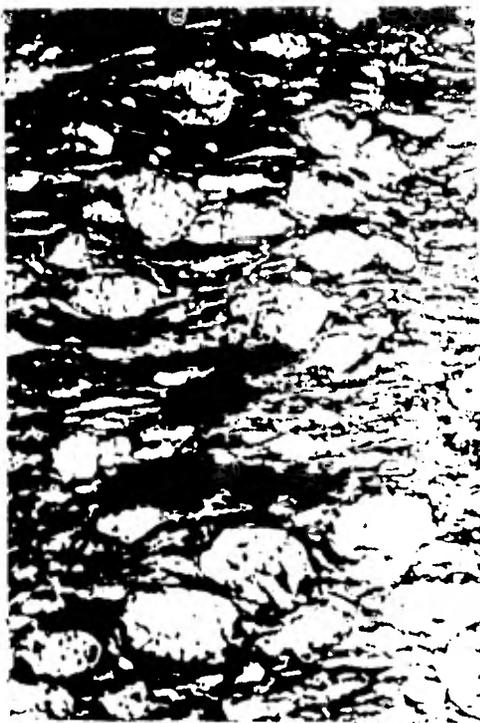


Foto 9. Afloramiento de augenesquisto de los Granitoides Esperanza en el km 198.5 de la carretera federal No.190. El tamaño aproximado de los "ojos" es de 1 a 5cm.

Al microscopio, los minerales esenciales son: ortoclasa, cuarzo y muscovita, teniendo como accesorios: biotita (30-35%), epidota (15-20%),

grosularia (5%) y clorita (5%). Los "ojos" llegan a ocupar el 30% dentro del volumen total de la roca.

Los esquistos varían en cuanto a su composición. Los más distribuidos son los esquistos micáceos. Estos son de grano grueso, la mayoría de color pardo o verde, muy foliados y con segregaciones de cuarzo. La mineralogía es muy regular dentro de ellos, estando formados por muscovita - (15-20%), biotita (5-10%), ortoclasa (0-10%), oligoclasa (0-10%), teniendo como accesorios almandino (12%), sericita (5%), epidota (5%), clorita (5-7%) y turmalina (trazas) (foto 10 y 11).

Los esquistos curzo-feldespáticos se presentan en horizontes de 3 a 4m de espesor dentro de rocas de grano fino, son de color verde claro y de textura muy foliada. Al microscopio presentan microclina peritética - (30%) y cuarzo (40%) como minerales principales y clorita (5-10%), epidota (10-12%), sericita (10%) y calcita (trazas) como accesorios.

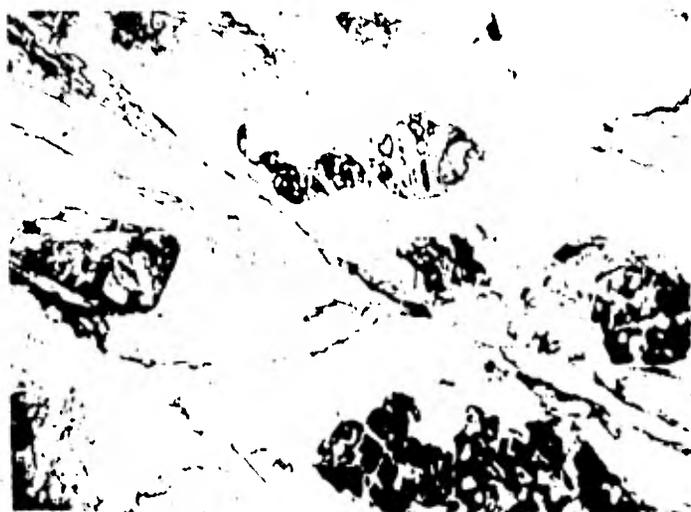


Foto 10. Fotomicrografía de un esquivo de biotita y muscovita de los Granitoides Esperanza. Notese que el granate (almandino) se encuentra cloritizado.

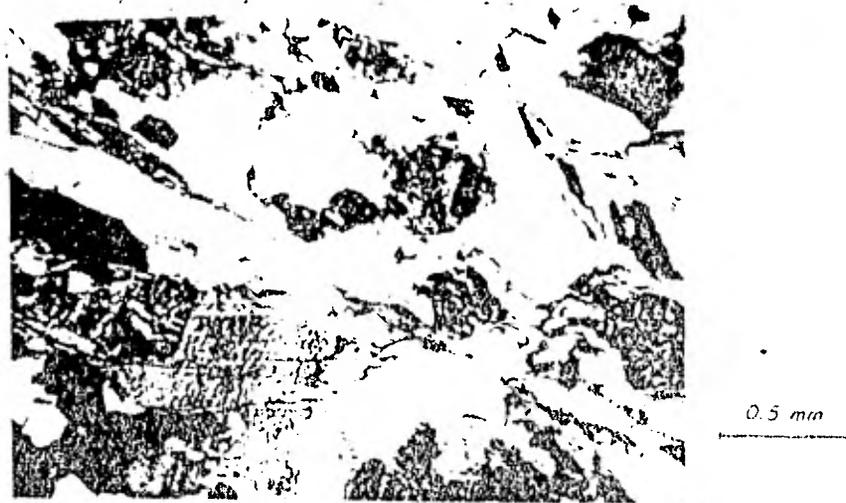


Foto 11. Fotomicrografía de un esquisto de biotita y muscovita de Los Granitoides Esperanza. Notese que el granate (almandino) se encuentra cloritizado (NX).

Cerca del poblado de la Noria Chica se encontró un afloramiento de una roca color verde claro, muy foliada y con segregaciones de cuarzo. Al microscopio, presenta calcita (35%), cuarzo y sericita, teniendo como accesorios la clorita y epidota. Debido a la mineralogía y a la textura de esta roca, puede llamarse esquisto cuarzo-sericítico calcáreo.

Los cuerpos estratiformes de rocas afáníticas (foto 12) están finamente bandeados e indudablemente son ultramiloníticas, según la clasificación de rocas metamorfoseadas dinámicamente (39). Están compuestas por cuarzo muy fino (80%), microclina peritítica (5%) y plagioclasa sódica (5%). Dentro de esta muestra se encontraron trazas de clorita, limonita, sericita y epidota.



Foto 12. Contacto entre una ultramilonita y el augenquistito, ambas rocas de los Granitoides Esperanza.

Origen.- El origen magmático que sugiere Ortega es evidente ya que los rasgos texturales, mineralógicos y estructurales así lo demuestran. El hecho de que se haya encontrado turmalina apoya el origen pegmatítico. Los esquistos micáceos, a los cuales no los afectó tanto la cataclasis, conservan su textura de grano grueso, propia de las pegmatitas. Por otro lado, las rocas estratiformes de grano fino son producto del cataclasismo y deformación posterior de los Granitoides Esperanza, y no, como sugiere Rodríguez Torres (40), de origen volcánico.

La tabla 3.7 muestra los análisis químicos, inferidos de la mineralogía, de los Granitoides Esperanza, comparados con el promedio de las granodioritas de Nockolds.

	1	2	3	4
SiO ₂	66.9	67.5	65.2	62.3
TiO ₂	0.6	-	0.6	-
Al ₂ O ₃	15.7	16.0	17.0	16.3
Fe ₂ O ₃	1.3	3.8	0.5	-
FeO	2.6	-	3.5	2.4
MnO	0.1	-	-	-
MgO	1.6	-	1.0	1.3
CaO	3.6	2.7	2.2	6.0
Na ₂ O	3.8	2.1	3.2	2.9
K ₂ O	3.1	6.6	5.2	2.5
P ₂ O ₅	0.2	-	0.2	-
CO ₂	0.0	-	1.0	-
TOTAL	100.2	99.8	100.2	95.1

- Nota: (1) Granodiorita promedio de Nockolds (41).
 (2) Ultramilonita colectada y analizada por el autor.
 (3) Augenesquisto (42).
 (4) Esquisto de muscovita colectada y analizada por el autor.

Tabla 3.7. Comparación química de rocas de los Granitoides Esperanza con el promedio de las granodioritas.

Se puede concluir que, los Granitoides Esperanza fueron cuerpos granodioríticos que intrusieron a las Formaciones Xayacatlán y Tecomate y que posteriormente sufrieron metamorfismo dinámico y cataclástico.

3.2 Rocas Igneas y Sedimentarias.

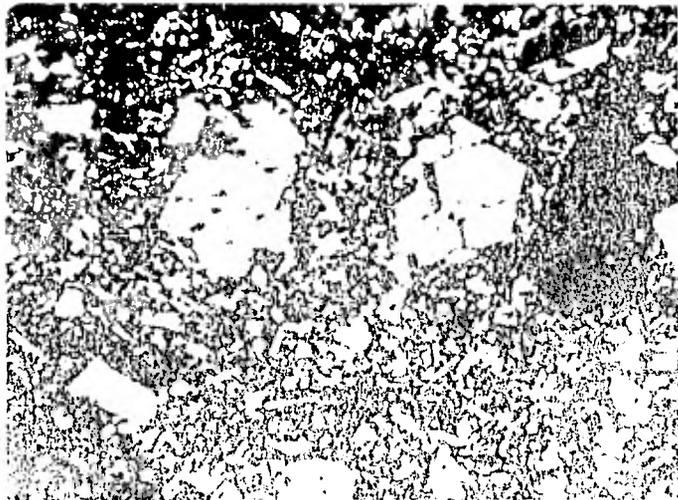
Cubriendo al Complejo Acatlán en forma discordante y angular, se encuentra una serie de rocas ígneas, andesíticas y basálticas, areniscas rojas, conglomerado rojo y cenizas volcánicas.

Las rocas ígneas se encuentran distribuidas en la parte central del área cartografiada. A nivel de afloramiento, se presentan como promontorios sobresalientes del terreno, tal es el ejemplo del Cerro "El Cantón" (ver plano geológico); la roca presenta un color rojo a gris oscuro, está muy fracturada, algunos afloramientos muestran vesículas. Al microscopio todas presentaron textura holocristalina, inequigranular e hipidiomórfica y algunas pseudotraquíticas, que indican cierto flujo de material -- volcánico (foto 13). La mineralogía es muy simple, la mayoría de las -- muestras presentan como mineral esencial andesina y como accesorios: ferromagnesianos muy oxidados y cuarzo, la matriz es de composición intermedia. Dentro de estas rocas se encuentran intercalados derrames de 2 a 3m de espesor de rocas oscuras. La textura es holocristalina, hipidiomórfica e inequigranular, presentando una textura traquítica bien definida. El mineral esencial es la labradorita, teniendo como accesorio a la oxihornblenda, la matriz es de composición intermedia a básica.

Resumiendo se encuentra una secuencia alternante de andesitas porfídicas y basaltos también porfídicos.

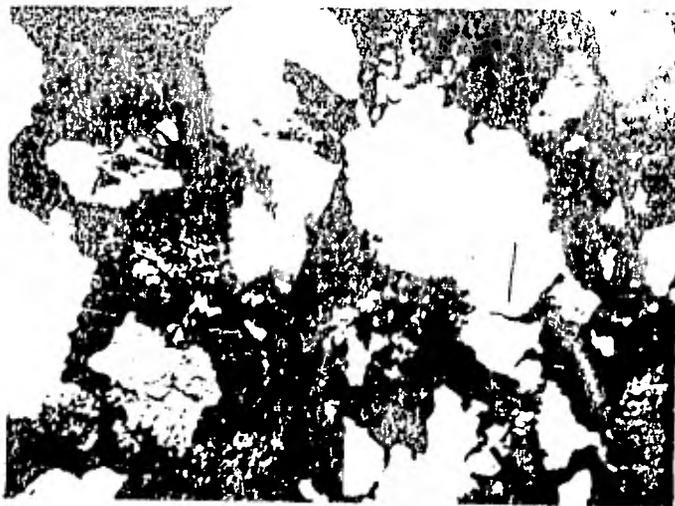
Sobre estos derrames volcánicos se depositaron, concordantemente una secuencia de areniscas y conglomerados. Las areniscas forman estratos -- pseudohorizontales de 0.7 a 1.5m de espesor, color rojizo y muy compactas. Los componentes principales son: fragmentos de rocas metamórficas, feldspatos y cuarzo con extinción ondulante. Presenta zircón como accesorio. Todos los componentes poseen un grado de madurez pobre, ya que son subangulosos (foto 14). Dicha arenisca se hace de grano más grueso hasta

formar una arenisca conglomerática, conforme sube estratigráficamente.



1 mm

Foto 13. Andesita porfídica. (NX), de la Formación Huajuapán.



0.5 mm

Foto 14. Arenisca conglomerática de la Formación Huajuapán (NX).

Sobre esta capa de arenisca se encuentra un conglomerado polimictico, con espesor variable entre 0 y 40m (43). Los guijarros son de muchos tamaños y se componen de todo tipo de rocas del Complejo Acatlán, así mismo, - como de cantos de rocas volcánicas que en composición son idénticas a las descritas anteriormente. Estos clastos están cementados por un material arenoso; el grado de consolidación es muy variable, de tal manera que a veces se trata de un conglomerado muy duro o de grava poco consolidada. También el color cambia mucho, siendo gris, rojo, rosa o pardo (foto 15).



Foto 15. Canto de composición andesítica que forma parte del conglomerado que cubre a una parte del Complejo Acatlán.

Estas rocas sedimentarias son de origen continental y prueba de ello es su variable espesor debido a que aparentemente son rellenos de relieve del Cenozoico.

Sobre estas rocas en el área de Tehuitzingo se localiza una serie de cenizas volcánicas (44). Dichas cenizas llegan a formar estratos bien definidos. Se presentan muy alterados, de color verde claro; en ocasiones

se observan horizontes de vidrio volcánico.

Esta secuencia de rocas ígneas y sedimentarias, a consideración del autor, pueden correlacionarse con la Formación Huajuapán del Terciario, - descrita por Zoltan de Cserna (45) en el área de Petlalcingo, Estado de Puebla.

Por último, se encuentran los depósitos de aluvión del Cuaternario, en las planicies y en los cauces de los arroyos y ríos.

3.3 Geología Estructural.

Descripción.- La estructura principal que se presenta en la región, es una lineación tectónica en las rocas metamórficas. Dicha lineación es muy constante hacia el Norte, pero su buzamiento es muy variable, pudiendo ser de horizontal hasta vertical.

Un gran fallamiento y fracturamiento (el cual se tratará en páginas siguientes) afectó a la región. Las fallas que se presentan en la región son inversas, normales y de rumbo o de movimiento horizontal. La falla inversa más notable es la que se encuentra en el área Piaxtla-Tecomatlán y pone en contacto a la Formación Cosoltepec con la Xayacatlán. Dicha falla posee un rumbo NE-SW y su buzamiento definitivamente al SE (ver plano geológico). Una falla normal que se encuentra al oriente de Piaxtla y que tiene rumbo N-S y buzamiento al W, ocasionó un bloque hundido, que sirvió para que se depositaran los sedimentos Terciarios. En la parte Sur-Central se encuentra una falla de rumbo NW-SE que produce un desplazamiento horizontal de casi un kilómetro en las rocas de los Granitoides Esperanza.

Los datos de campo de la foliación se integraron en una red estereográfica equiareal o de Schmidt en forma de polos, (figura 3.1), dentro del cual se puede localizar, estadísticamente, un punto de concentración de los polos de los planos de la foliación regional (46). El punto localizado en la figura 3.1 puede representarse como un plano (figura 3.2); dicho plano tiene un rumbo N 10° E y 75° al SE de buzamiento, y nos representa el plano promedio de la foliación regional.

Otras estructuras menores son los pliegues chevrón de la Formación Cosoltepec y los "Kink bands" de la misma formación que no son más que escalones monoclinales angulosos (foto 16). Estos pliegues se desarrollan con mucha frecuencia en materiales que poseen laminación bien desarrollada (47).

• AREA DE MAXIMA CONCENTRACION (DENSIDAD=19%)

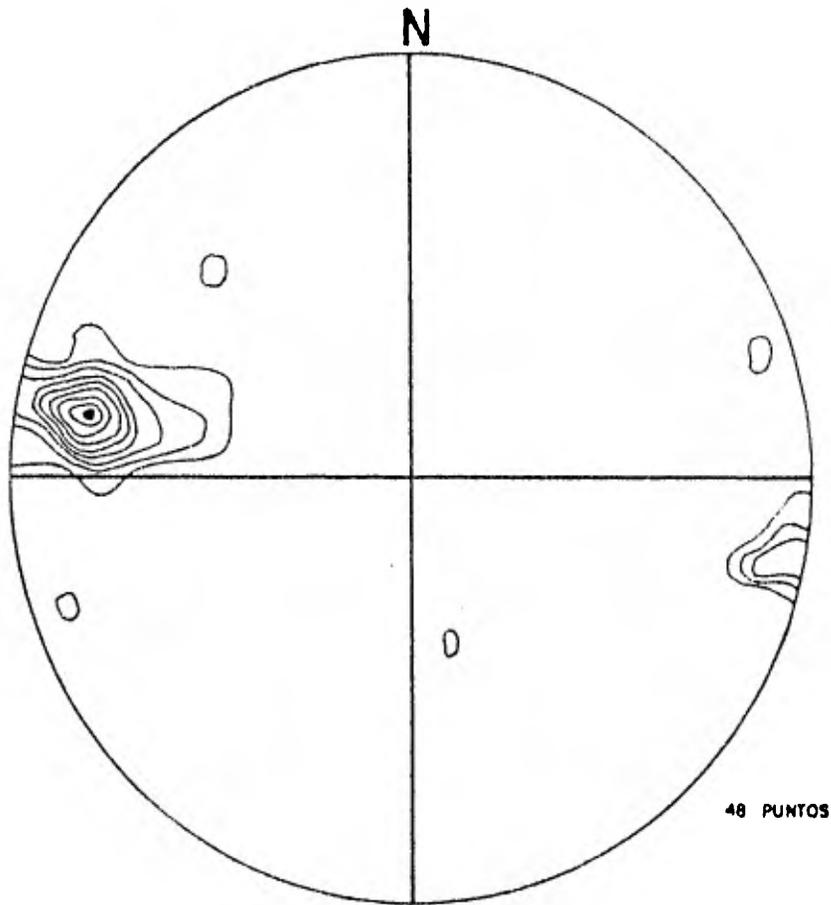


FIG. 3.1 - DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE POLOS DE DATOS DE LA FOLIACION DE LAS ROCAS METAMORFICAS AFLORANTES EN EL AREA DE ESTUDIO.

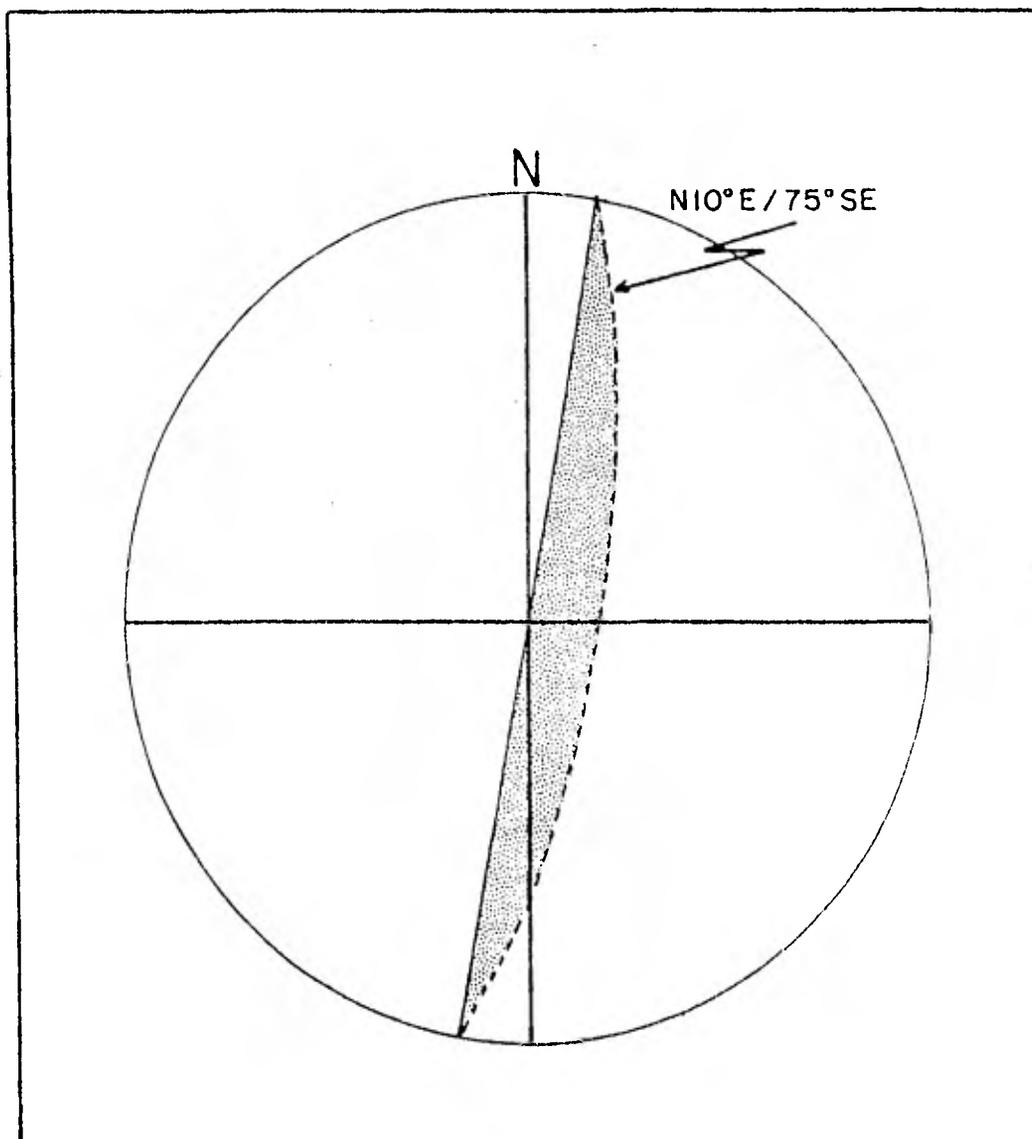


FIG. 3.2 - PLANO QUE REPRESENTA EL PROMEDIO ESTADISTICO DE LA FOLIACION DE LAS ROCAS METAMORFICAS DEL AREA DE ESTUDIO.



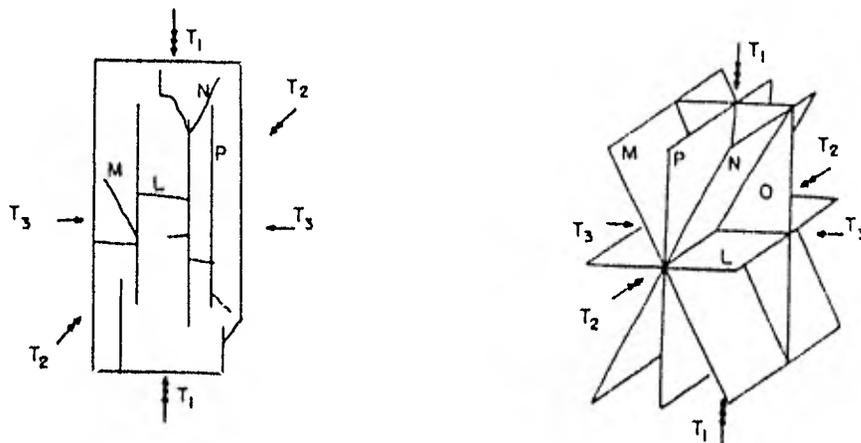
Foto 16. Estructura "Kink Band" en la Formación Cosoltepec.

Análisis Estructural.- Como se mencionó anteriormente, las fracturas merecen un estudio más profundo ya que sirven para determinar la dirección de los esfuerzos que actúan en la región (foto 17).



Foto 17. Fracturamiento típico de las rocas metamórficas del área.

De acuerdo con los experimentos de Badgley (48) en las calizas Solenhofen se puede definir un modelo para las relaciones "fracturas-fallas-esfuerzos" durante la compresión (figura 3.3). Al aplicar un esfuerzo en un bloque rectangular se forma un sistema de cizalla (M,N), en el cual el eje de esfuerzo mínimo (T_3) será en dirección del ángulo obtuso. El eje de esfuerzo intermedio (T_2) coincidirá con la línea de intersección de los planos de cizalla. Al dejar de aplicar los esfuerzos se formarán dos tipos de fracturas; unas perpendiculares a T_1 que se denominan "fracturas de relajación" (L) y otras perpendiculares a T_3 que se conocen como "fracturas de extensión" (P). Estos dos tipos de fracturas son los planos bisectores del cizallamiento (ver figura 3.3).



- T_1, T_2, T_3 Ejes de esfuerzo máximo, intermedios y mínimo.
M y N Planos de cizalla.
P y L Planos bisectores.
O Plano perpendicular a todo el sistema.

Figura 3.3. Modelo para relaciones de Fracturas-Fallas-Esfuerzos.

En los siguientes párrafos se estudia la relación que hay entre las fracturas de las rocas metamórficas y los ejes de los esfuerzos principales.

Un total de 154 datos estructurales de las fracturas fueron tomados en el campo. Estos datos están representados, en su forma polar en una red estereográfica de Schmidt, como lo muestra la figura 3.4. La figura 3.5 representa el diagrama de frecuencias del fracturamiento regional de las rocas metamórficas. En esta figura se aprecian tres áreas de máxima concentración de fracturas, señaladas con los números 1', 2' y 3'. La figura 3.6 muestra los planos de dichos polos de concentración. Los planos 2 y 3 forman el sistema de cizalla, el plano 1 es un plano bisector y el otro bisector es un plano teórico denominado plano 4. Todos los polos (1', 2', 3' y 4') están contenidos en la traza de un plano que es perpendicular al sistema, dicho plano denominado plano "0".

Como se explicó anteriormente el eje máximo de esfuerzo es el que atraviesa al ángulo agudo del sistema de cizalla, pero en este caso, los planos 2 y 3 son perpendiculares, por lo que teóricamente es imposible hacer la diferencia entre T_1 y T_3 .

Por otra parte hay una estrecha relación entre los planos 1, 2 y 3 del sistema con la concentración de las fracturas. El plano 4 y el "0" son teóricos, por lo que a continuación se buscará su relación con planos reales.

En un área local llamada "Don Ceferino" situada al W del poblado de Acatlán, se tomaron 75 datos de fracturas sobre un cuerpo de cuarzo. En la figura 3.7 están representados los polos de las fracturas. La figura 3.8 muestra el diagrama de frecuencia de fracturas, donde se aprecian los polos de concentración máxima de las fracturas (5', 6' y 7'). Los planos de dichos polos se muestran en la figura 3.9: los planos 5 y 6 son de cizalla, cuyos bisectores son el 7 y el 8. Los polos 5', 6', 7' y 8' están contenidos en las trazas de un plano perpendicular, que es el plano "0" del sistema.

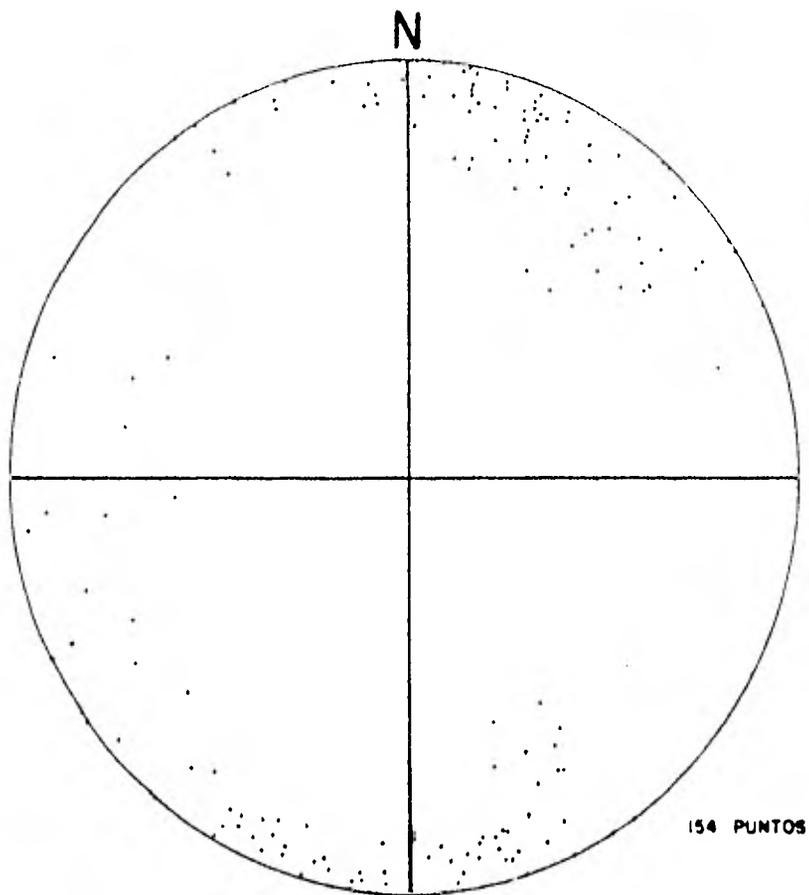
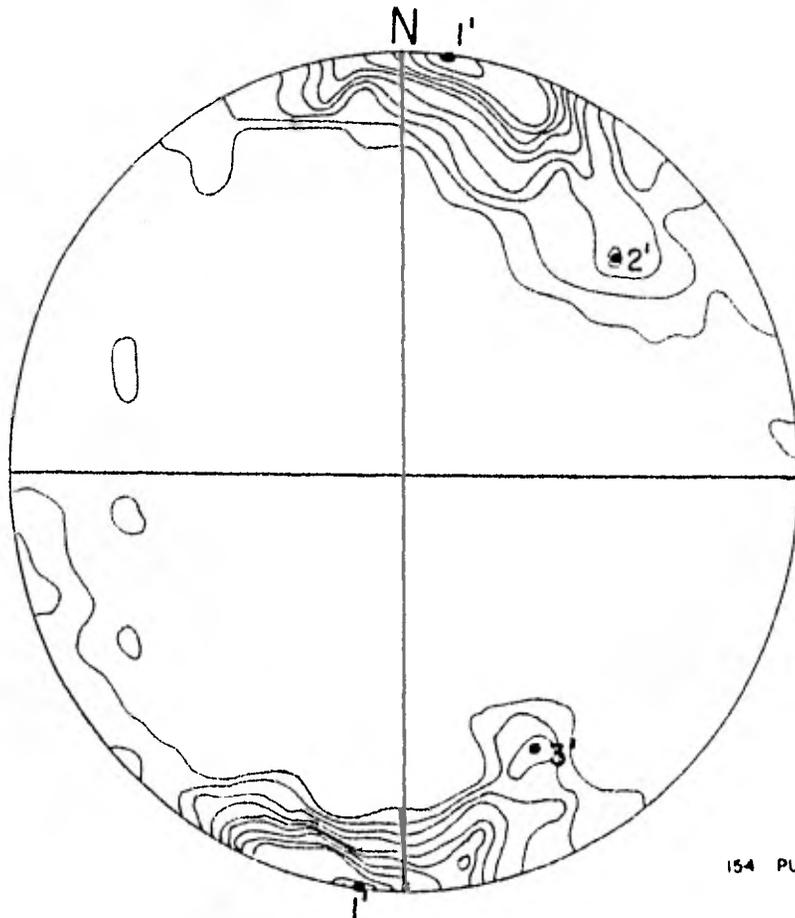


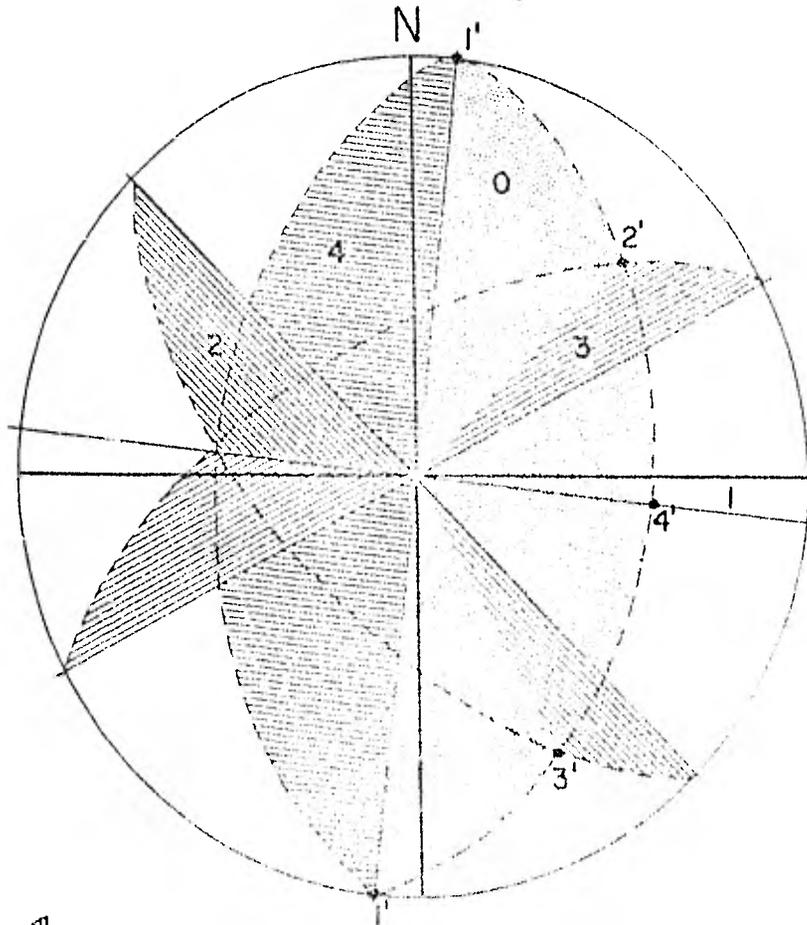
FIG.3.4.- REPRESENTACION POLAR DE LAS FRACTURAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS AFLORANTES DENTRO DEL AREA DE ESTUDIO.



154 PUNTOS

☉ AREAS DE CONTRACION

FIG. 3.5 - DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE FRACTURAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS AFLORANTES DENTRO DEL AREA DE ESTUDIO.



-  PLANOS DEL SISTEMA DE CIZALLE (2 Y 3)
-  PLANOS BISECTORES (1 Y 4)
-  PLANO PERPENDICULAR AL SISTEMA (0)

FIG.3.6- SISTEMA DE FRACTURAMIENTO DE LAS RO-
CAS METAMORFICAS AFLORANTES DENTRO DEL A-
REA DE ESTUDIO. 51

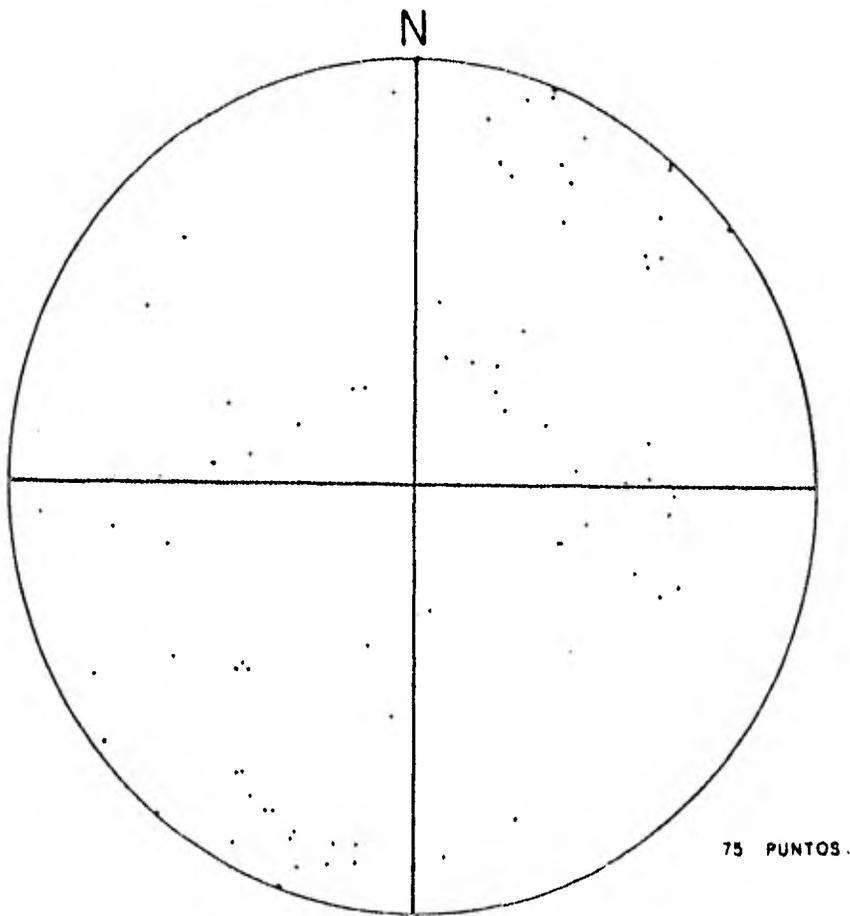


FIG. 3.7 - POLOS DE LAS FRACTURAS DEL CUERPO
DE CUARZO "DON CEFERINO".

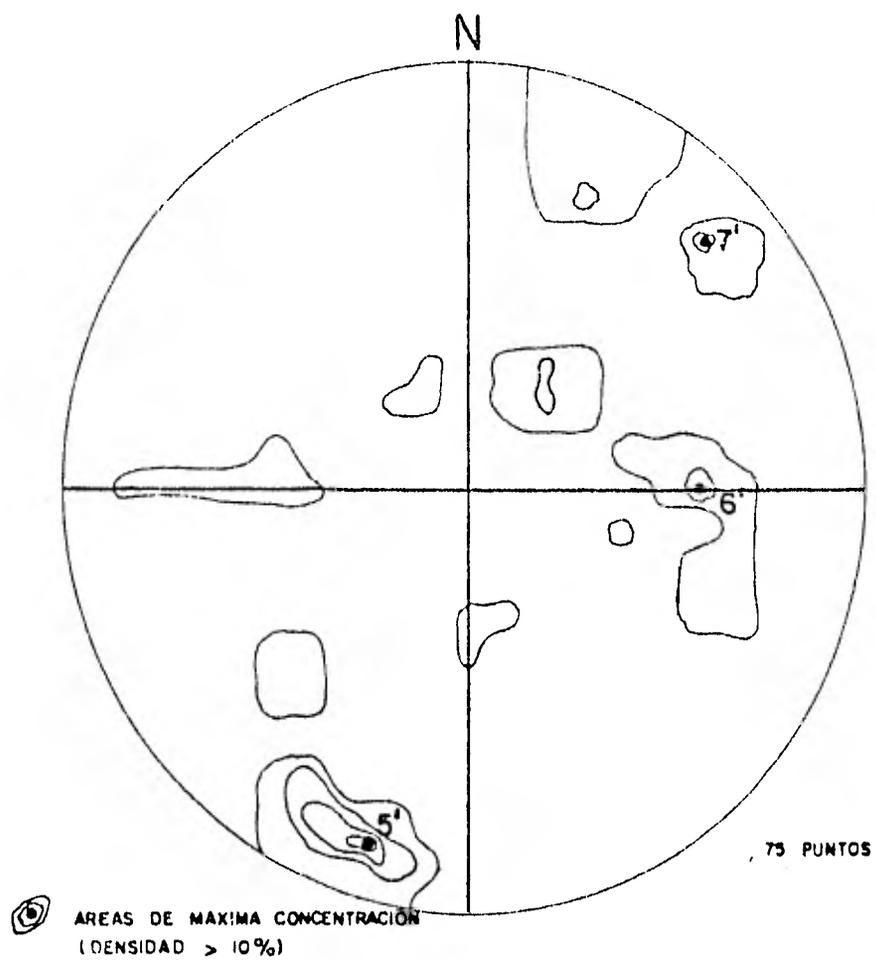


FIG. 3. 8- DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DE FRACTURAS
DEL CUERPO DE CUARZO "DON CEFERINO"

-  PLANOS DEL SISTEMA DE CIZALLE (5 Y 6)
-  PLANOS BISECTORES (7 Y 8)
-  PLANO PERPENDICULAR AL SISTEMA (0)

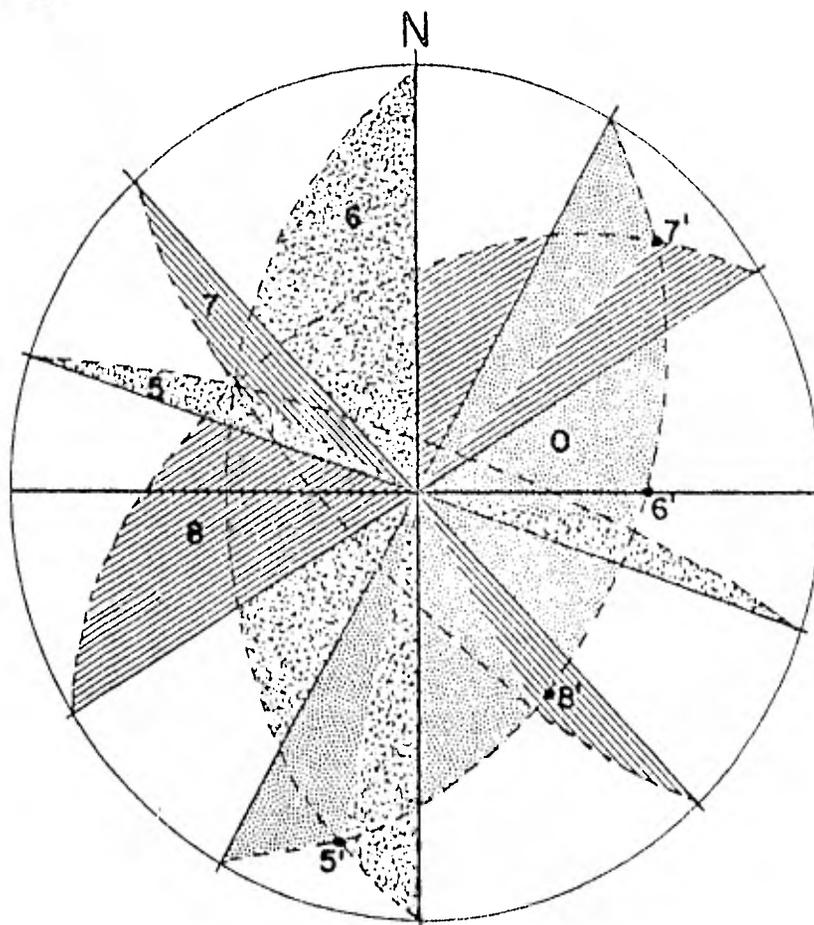


FIG. 3.9- SISTEMA DE FRACTURAMIENTO EN EL CUERPO DE CUARZO "DON CEFERINO".

Como se muestra en la figura 3.9, los planos de cizalla (5 y 6) son perpendiculares entre sí, por lo que los ejes principales de los esfuerzos T_1 y T_3 no podrán, determinarse.

Haciendo una rotación (figura 3.10) de todo el sistema, para hacer coincidir el polo del plano "0" de las fracturas del cuerpo de cuarzo "Don Ceferino" con el polo del plano "0" del fracturamiento regional, se aprecia claramente que ambos sistemas son muy semejantes, completando así las relaciones de planos teóricos con planos reales (figura 3.11).

Conclusiones Estructurales.- En el sistema de fracturamiento regional - del área estudiada, el plano 2 coincide con las fracturas $N55^{\circ}W-61^{\circ}NW$; - el plano 3 con las fracturas $N45^{\circ}W-62^{\circ}SW$; estos dos planos forman el sistema de cizalla. El plano 1 coincide con las fracturas regionales $N85^{\circ}W$ Verticales; el plano 4 que en un principio era teórico, ahora coincide con las fracturas en el cuerpo de cuarzo "Don Ceferino" $N6^{\circ}E-47^{\circ}NW$, siendo estos dos últimos planos los bisectores del cizalle.

Como dato adicional los planos "0" de ambos sistemas se asemejan mucho al plano que representa la foliación regional (figura 3.2).

Para la determinación de los ejes de los esfuerzos principales se utiliza el sistema girado de las fracturas en el cuerpo de cuarzo (figura 3.11). El eje de esfuerzo intermedio (T_2) es el más simple de determinar; actúa en la intersección de los planos de cizalla y su orientación es $N82^{\circ}W$ con 48° de inclinación. Los esfuerzos T_1 y T_3 teóricamente, ya que el sistema de cizalla es perpendicular, no podemos diferenciarlos. Uno de ellos está orientado de la siguiente manera $N63^{\circ}W-50^{\circ}$ - y el otro $N13^{\circ}E-4^{\circ}$; este último a consideración del autor es el eje de esfuerzo máximo, ya que concuerda con la dirección del empuje de la Placa Farallón con la Placa Norteamericana (figura 3.12) durante la Orogenia Larámide.

ROTACION - 19°

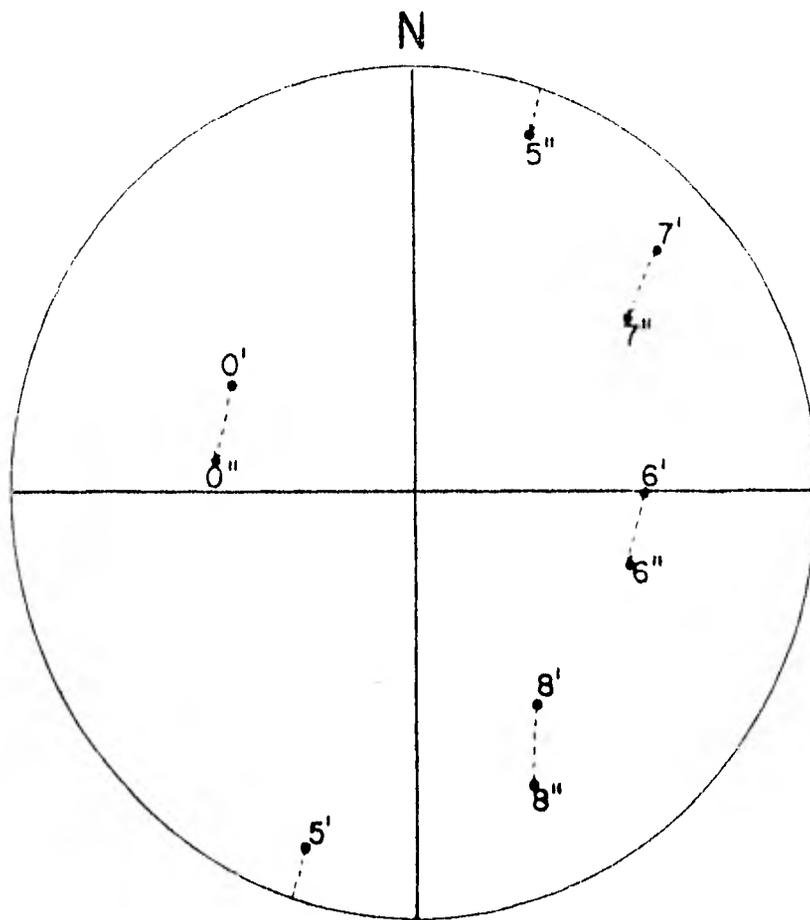
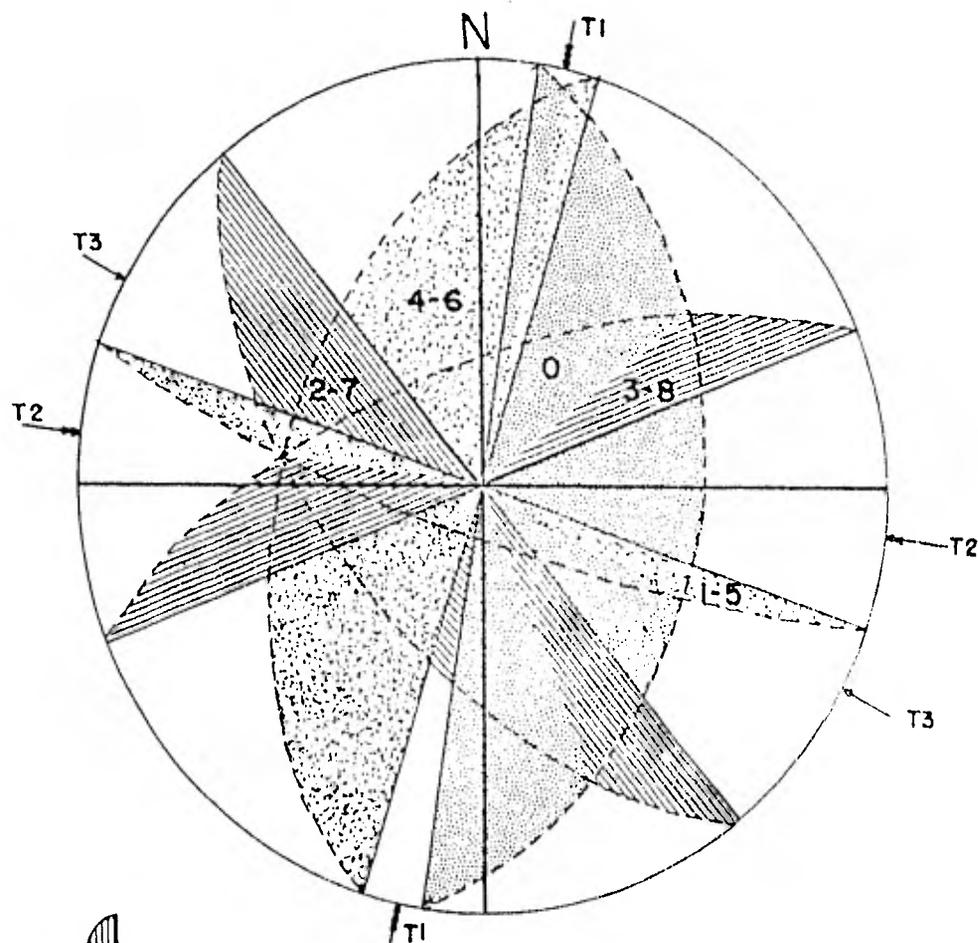


FIG.3.10 - ROTACION DEL SISTEMA DE FRACTURAS DEL CUERPO DE CUARZO "DON CEFERINO"



PLANOS DEL SISTEMA DE CIZALLE (2-7 Y 3-8)

PLANOS BISECTORES (1-5 Y 4-6)

PLANO PERPENDICULAR AL SISTEMA (0)

EJES DE ESFUERZO

T1 : MÁXIMO →
T2 : INTERMEDIO →
T3 : MÍNIMO →

FIG. 3.11- SISTEMA DE FRACTURAMIENTO DEL CUERPO DE CUARZO DON CEFERINO GIRADO 19°. (NOTESE LA GRAN SIMILITUD CON LA FIG. 3.6.)

3.4 Evolución Tectónica.

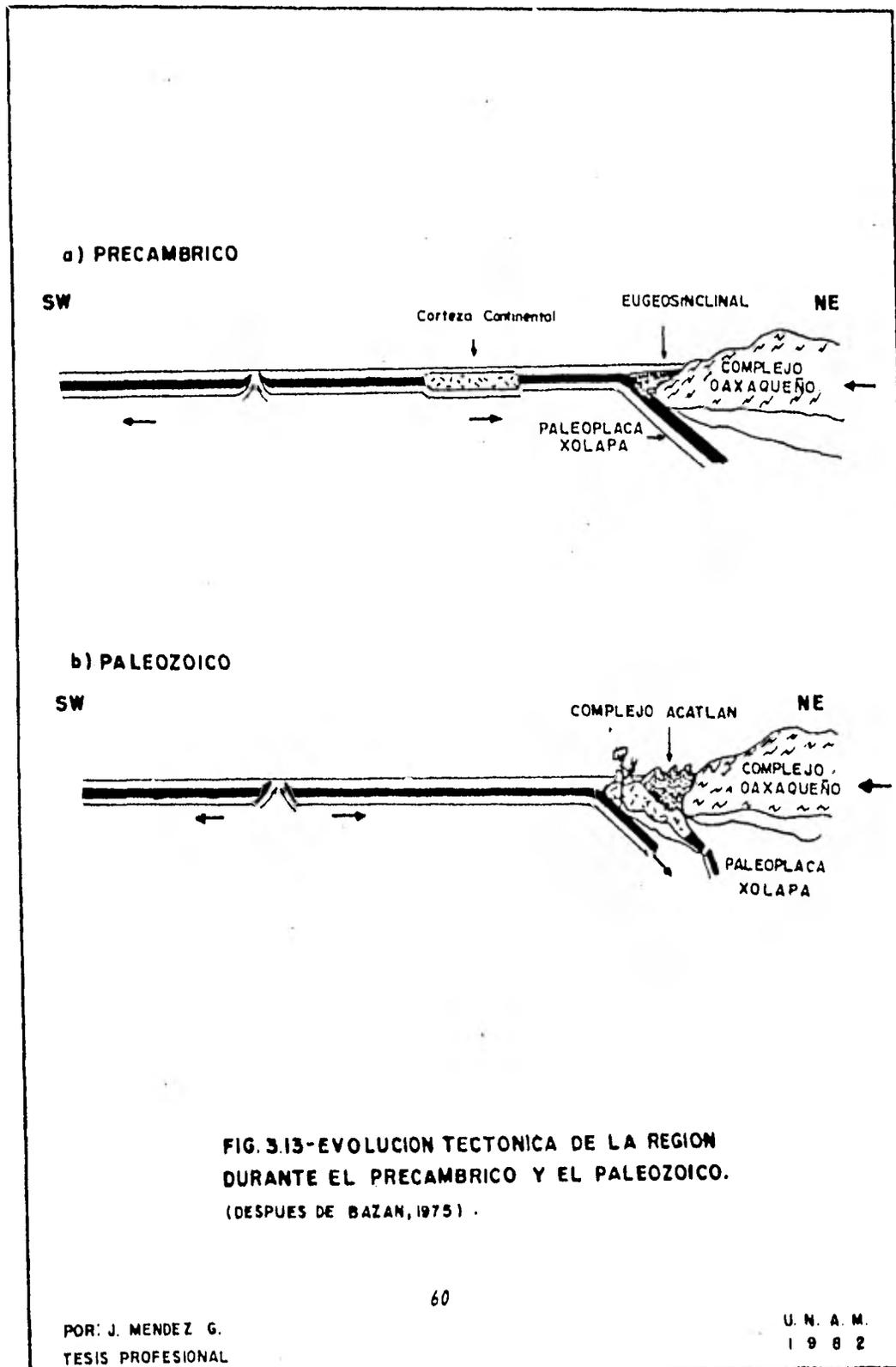
Las características geológicas de las formaciones metasedimentarias del Complejo Acatlán sugieren que se trata, en su mayor parte, de depósitos marinos eugeosinclinales, incluyendo elementos reconocibles de un Complejo metaofiolítico (49). Dichos depósitos fueron originados durante el Precámbrico. Estos depósitos fueron plegados y metamorfoseados en el Paleozoico Temprano, debido al choque de Corteza Continental que venía "flotando" sobre la Paleoplaca tectónica Xolapa (50). Esta orogénea puede correlacionarse, en edad con la Revolución Apalachiana de Norteamérica. Durante todo el resto del Paleozoico y el Mesozoico, el área estuvo tectónicamente muy estable y fue hasta el Eoceno-Oligoceno cuando se termina de hundir la Placa Farallón y comienza a actuar la Placa de Cocos. Se producen principalmente esfuerzos horizontales con rumbos NNE, que como se demostró anteriormente fueron los causantes del fracturamiento intenso de las rocas metamórficas, produciendo después vulcanismo andesítico y por último acomodamientos corticales que se reflejan en el depósito del conglomero continental.

La figura 3.13 muestra tentativamente la evolución tectónica de la región.



Figura 3.12. Empuje de la Placa Farallón durante el Eoceno-Oligoceno (51).

Una evidencia de la existencia de esta zona de subducción es la formación, en cinturones orogénicos, de una série de rocas conocidas como ofiolitos. La composición y estructuras sugieren que son fragmentos de Corteza Oceánica y del Manto, y si esto sucede las zonas de ofiolitos marcan la línea a lo largo de la cual dos placas, una continental y una oceánica, se encuentran en colisión. Estas formaciones están caracterizadas por una se cuencia de rocas constituídas (de abajo hacia arriba) de rocas ultrabási- cas (rocas ricas en magnesio compuestas principalmente de olivino), gabros rocas volcánicas y rocas sedimentarias. Se cree que los cinturones ofiolí- ticos representan fragmentos de suelo oceánico desaparecido (52).



3.5 Potencialidad Económica.

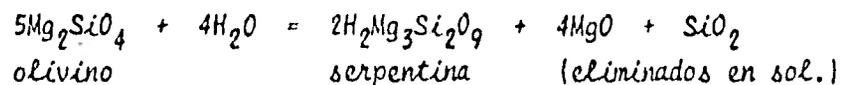
El área estudiada presenta un gran potencial económico, principalmente de minerales no-metálicos. A continuación se describen los más importantes.

Cuarzo.- Muchos yacimientos de este mineral se localizan dentro del área, su estudio es el motivo por el cuál se realizó este trabajo, por lo que en secciones posteriores se trata más profundamente.

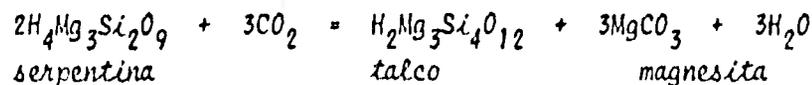
Serpentina, talco, magnesita y asbestos.- Dentro de la Formación Xayacatlán en la parte Suroriental de la superficie cartografiada, se encuentran lentes de serpentina con vetillas de crisotilo dentro de una roca ultrabásica metamorfoseada.

En la periferia de este yacimiento de serpentina, se forma una alteración metasomática que ocasionó la formación de talco.

La reacción para formar la serpentina a partir de una peridotita es - la siguiente (53) :



Por una simple adición de CO_2 , la serpentina puede ser convertida en una roca con talco y magnesita, sin cambio apreciable de volumen.



Esta localidad fué estudiada y explota, por asbesto, por la Compañía Eureka en años anteriores. Actualmente se explota con maquinaria pesada y

teniendo ahí mismo una planta quebradora. El producto principal es la serpentina, pero aparte se extrae, talco muy puro, y en cantidades menores, -magnesita (54).

Sal.- Dentro de la Formación Cosoltepec, al norte de Tlaxcoapan, se encuentra emplazado un acuífero que en solución lleva sal. Los habitantes de la región perforan pozos para sacar dicho líquido el cual es puesto en salinas artificiales para su evaporación. Cada persona durante toda la temporada de calor extrae un total aproximado de 5 toneladas y en todo el yacimiento trabajan aproximadamente 20 personas.

Feldespatos.- Los augenesquistos de las facies migmatíticas de los Granitoides Esperanza representan un gran potencial para la explotación del feldespato, ya que llegan a ocupar un volumen hasta del 30% de la roca. Hasta la fecha no se ha podido lograr dicha explotación por motivos técnicos ya que separar el feldespato de la demás roca resulta muy difícil y costoso.

Cromo.- Ninguna manifestación de este elemento fue encontrada por el suscrito dentro del área de estudio sin embargo Gonzalez Reyna (55) reporta yacimientos localizados en Tehuiztzingo y Chinantla, Estado de Puebla; estos criaderos están asociados con rocas ultrabásicas de la Formación Xayacatlán.

En la región de Piaxtla-Tecomatlán, Ortega recolectó cantos rodados de rocas con un 20% de fuchsita (muscovita de cromo y otros minerales cromíferos).

4.- GENESIS DE LOS YACIMIENTOS DE CUARZO

Como se ha estado mencionando a lo largo del desarrollo de la tesis, el objetivo es el de tratar de deducir el origen de los cuerpos de cuarzo aflorantes en una parte del Complejo Acahúlán, y para poder llegar a él se tienen que analizar los cuerpos en base a los siguientes parámetros: forma y leyes, estudio petrológico de la roca encajonante y estudio textural y estructural de los cuerpos.

4.1 Forma y Leyes.

La estructura que con más frecuencia presentan los cuerpos de cuarzo es la de lentes alargados concordantes con la foliación de la roca encajonante. En algunos yacimientos dichos lentes, adquieren la forma de "Boudinage", como es el caso de "Los Pelones" donde el yacimiento está formado por 15 pequeños lentes adquiriendo la forma de "salchicha".

La localización de los yacimientos que se estudiaron se menciona en el subcapítulo 2.2. La tabla 4.1 muestra las dimensiones de dichos cuerpos.

NOMBRE	RUMBO Y ECHADO	LARGO (m)	ANCHO (m)
Los Pelones (15 cuerpos)	N 10°E - 60°SE	10.0 c/u	3.0 c/u
Morelos	N 8°E - 70°SE	98.50	5.0
Tehuantepec	N 50°E - 27°NE	118.0	4.0
Don Ceferino	N 25°E - 50°SE	345.0	3.2
Tecomatlán	N 15°W - 45°SE	111.0	7.1

Tabla 4.1. Dimensiones y orientación de los cuerpos de cuarzo estudiados.

La profundidad de los cuerpos no se conoce pero en algunos, como el "Tecomatlán" (foto 18), esta llega a pasar de los 10m.



Foto 18. Cuerpo de cuarzo "Tecomatlán", alojado en los Granitoídes Esperanza.

Las leyes de SiO_2 de los yacimientos son extremadamente altas (mayores del 97.5% SiO_2), por lo que todo el material extraído de estos yacimientos sirve para producir ferrosilicio. La tabla 4.2 muestra tanto las leyes de SiO_2 como las de las impurezas de los cuerpos de cuarzo estudiadas.

	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	Grado Metalúrgico
Los Pelones	98.66	0.13	0.18	0.71	Ferrosilicio
Morelos	97.67	0.02	0.10	1.26	Silicomanganeso
Tehuantepec	98.77	-	0.05	0.76	Ferrosilicio
Don Ceferino	99.01	-	0.18	0.71	Ferrosilicio
Tecomatlán	98.57	0.09	0.05	0.81	Ferrosilicio

Tabla 4.2 Leyes y Grado Metalúrgico de los cuerpos estudiados.

Las paragénesis determinadas son:

Al + Mus + F.K.

Al + Bt + Cl

Al + F.K. + Bt

Dicha muestra pudo situarse en la Facie Esquisto Verde, Subfacie Almandino de terrenos mesobáricos. Hirschberg y Winkler (57), produjeron experimentalmente granate rico en almandino mediante la siguiente reacción:

Clorita rica en Fe + Muscovita + Cuarzo =
Almandino + Biotita + SiO_2Al_2 + H_2O

De estos experimentos se pudo inferir que la formación de granates ricos en almandino exige que se superen las siguientes presiones: 4 Kb a 500° C y 5 Kb a 600° C. Por tanto, el granate rico en almandino comienza a observarse en la parte de temperaturas más altas de la Facie Esquisto Verde.

La otra roca tomada en un lugar más cercano al cuerpo, posee menos almandino, y la biotita llega a desaparecer. Los pocos cristales de almandino no se presentan ehedrales y más grandes que en la roca anterior. El diagrama A'KF de esta roca está representado en la figura 4.4.

Como se puede observar, la mineralogía está constituida por cuarzo, muscovita, cloritoide, almandino, clorita y feldespato potásico. Las paragénesis determinadas son las siguientes:

Cl + Mus + Al

Cl + Mus + Al

Cl + Mus + F.K.

Mus = Muscovita
 Al = Almandino
 F.K. = Feld. Potásico
 Cl = Clorita
 Cld = Cloritoide

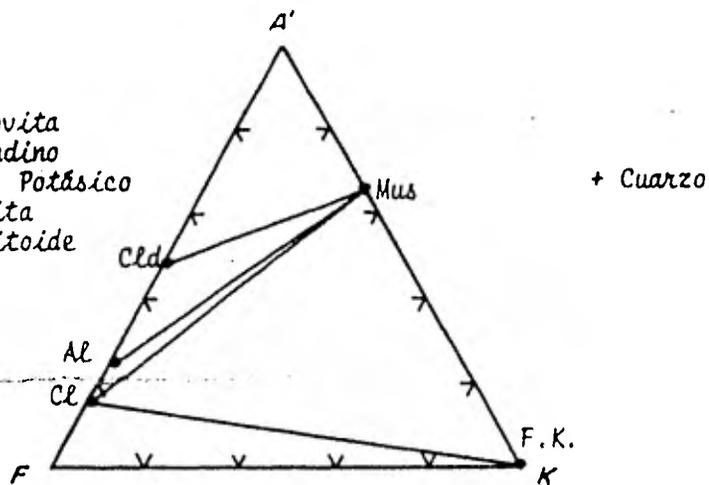


Figura 4.4. Diagrama A'KF de un micaesquisto de los Granitoides Esperanza en el cuerpo "Tecomatlán".

Dicha mineralogía sugiere situarla en la Facie Esquisto Verde y Subfacie, lógicamente, almandino. Las presiones y temperaturas de formación del almandino fueron explicadas en párrafos anteriores.

Morelos.- Las dos muestras estudiadas de la roca encajonante de este cuerpo pertenecen al miembro de micaesquisto de los Granitoides Esperanza. La figura 4.5 representa el diagrama A'KF de una de las muestras, localizadas en un punto muy cercano al cuerpo.

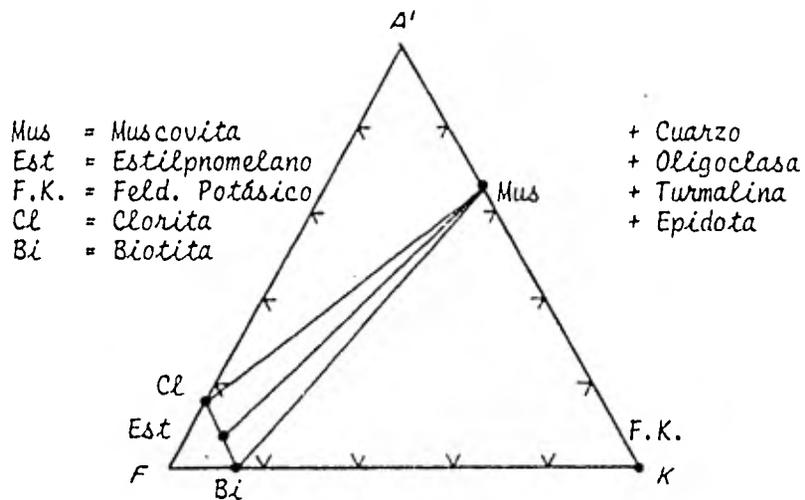


Figura 4.5. Diagrama A'KF de micaesquistos del cuerpo Morelos, encajonado en los Granitoides Esperanza.

Dicha muestra está compuesta por cuarzo, oligoclasa, turmalina, epidota, clorita, estilpnomelano, biotita, muscovita y feldespato potásico. Las paragénesis determinadas son las siguientes:

Cl + Est + Mus

Bi + Est + Mus

Bi + F.K. + Mus

El hecho de que coexistan la biotita con estilpnomelano, nos sitúa en la Subfacie Biotita de la Facie Esquisto Verde a presiones mesobáricas. Las paragénesis biotita-estilpnomelano-muscovita coexisten durante un intervalo de temperatura hasta que desaparece el estilpnomelano en presencia

de la muscovita a temperaturas mayores [58], esto es en la Subfacie Almandino.

La otra roca analizada, la cual se colectó en un punto más alejado - del cuerpo, tiene su representación gráfica en el diagrama A'KF de la figura 4.6. La mineralogía es la siguiente: clorita, biotita, cuarzo, oligoclasa, muscovita, cloritoide y feldespato potásico.

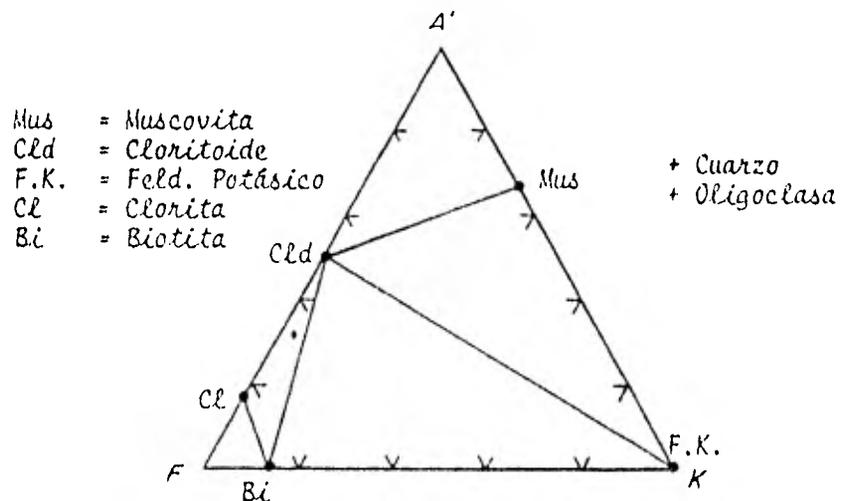


Figura 4.6. Diagrama A'KF del micaesquistito de la roca encajonante del cuerpo Moré los.

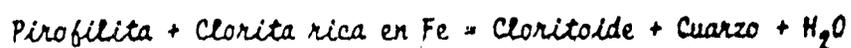
Las paragénesis definidas son las siguientes:

Cld + Mus + F.K.

Cld + Bi + F.K.

Cld + Bi + Cl

Frey, en 1922 (59) sugiere la siguiente reacción para la formación del cloritoide:



Esto sucede a temperaturas de 500° C en presiones mesobáricas. El cloritoide permanece estable durante toda la Facie Esquisto Verde. La presencia de muscovita en las paragénesis sitúa a la roca en la Subfacie Almandino.

4.3 Hipótesis genéticas de los yacimientos de cuarzo.

Dos hipótesis acerca del origen de los cuerpos de cuarzo pueden establecerse en base a las observaciones de campo. Los yacimientos pudieron haber sido originados a partir de:

- El metamorfismo de una roca sedimentaria rica en cuarzo.
- Segregación y depositación de cuarzo durante el metamorfismo.

a) Metamorfismo de una roca sedimentaria rica en cuarzo.- El proceso principal que prevalece durante el metamorfismo de una roca sedimentaria rica en cuarzo para producir una cuarcita es la RECRISTALIZACION, la cual la define Spry como el proceso de reconstitución de fases estables preexistentes.

Una arenisca rica en cuarzo es regionalmente metamorfoseada a cuarcita, que cuando alcanza las temperaturas de 400°C a 600°C y grandes esfuerzos (Facies Esquisto Verde) es granulada y triturada para producir, inicialmente una textura de mortero y finalmente agregados elongados de grano fino.

La recristalización puede implicar nucleación (crecimiento de un cristal a partir de uno o más puntos del mismo) que da como resultado el incremento en el tamaño del grano.

Aumentando la presión y la temperatura puede existir un flujo plástico del material, sin que esto implique gran movilidad. En la foto 19 se muestra una micrografía de una cuarcita de la Formación Cosoltepec. En ella se puede apreciar la textura porfidoblástica o de mortero con la recristalización del cuarzo el cual en los bordes presenta indicios de fluidez.

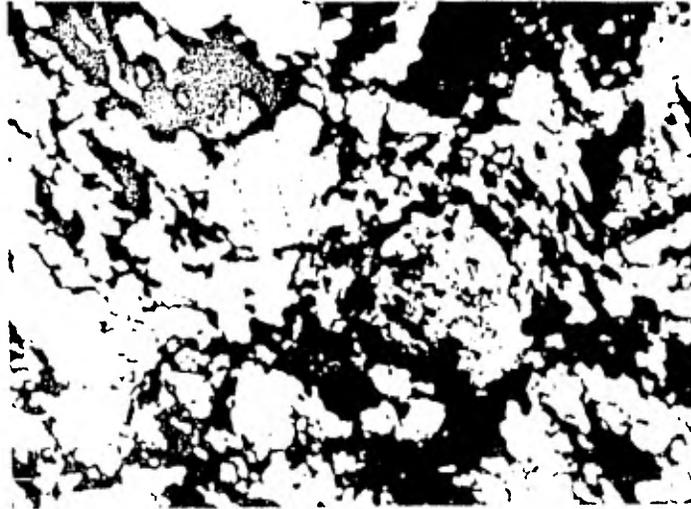


Foto 19. Fotomicrografía (NX) de una cuarcita de la Formación Cosoltepec.

En el terreno, las cuarcitas se presentan como cuerpos estratiformes y de dimensiones muy grandes (debe recordarse que son producto de metamorfismo regional de capas de areniscas), por lo que sus variaciones laterales, en cuanto a composición, no son muy marcadas, pero sus contactos inferior y superior son tajantes.

En cuanto a composición, a continuación se expone la tabla 4.3 que compara el promedio de las areniscas ricas en cuarzo, el promedio de las cuarcitas de la Formación Cosoltepec y la composición de los cuerpos de cuarzo del área estudiada.

	1	2	3
SiO ₂	96,4	96,5	98,53
TiO ₂	-	-	-
Al ₂ O ₃	2,1	1,6	0,01
Fe ₂ O ₃	0,7	-	-
FeO	0,3	-	0,85
MnO	-	-	-
MgO	0,2	0,8	-
CaO	0,1	-	0,11
Na ₂ O	-	-	-
K ₂ O	-	0,8	-
P ₂ O ₅	-	-	-
CO ₂	-	-	-
H ₂ O	0,7	0,3	-
TOTAL	100,5	100,0	99,50

Nota: (1) Areniscas ricas en cuarzo (60).
 (2) Cuarzitas de la Formación Cosoltepec.
 (3) Cuerpos de cuarzo estudiados.

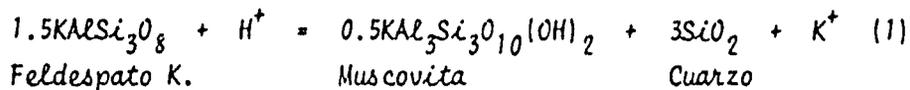
Tabla 4.3. Comparación de los promedios de las composiciones de las areniscas de cuarzo, las cuarzitas de la Formación Cosoltepec y los cuerpos de cuarzo estudiados.

b) Segregación y depositación de cuarzo durante el metamorfismo.- La segregación y depositación de este mineral durante el metamorfismo implica un proceso de CRISTALIZACION, que se define como el proceso de formación de nuevos minerales como resultado de la destrucción de otras inestables (61).

La mayoría de las reacciones metamórficas producen cuarzo. Ahora se tratará de exponer las reacciones que acompañan al metamorfismo regional de las granodioritas y de los sedimentos pelíticos que producen cuarzo con las paragénesis establecidas en el Subcapítulo anterior (4.2).

1.- Cuarzo de los Granitoides Esperanza.

La facie metamórfica en la cual se encuentran los cuerpos de cuarzo es, como se mencionó anteriormente, la de Esquisto Verde. Por su composición mineralógica, los Granitoides Esperanza, pertenecen a la clase química cuarzo-feldespática. En la descripción de estas rocas (Capítulo 3) se hace una comparación con las granodioritas promedio de Nockolds. El cambio característico de las rocas cuarzo-feldespáticas es la disolución del feldespato potásico con la producción de micas blancas y cuarzo. Hemley y Jones proponen la siguiente reacción (62), la cual se lleva a cabo a 400° C:



Para comprobar que sí se lleva a cabo la reacción es necesario hacer un estudio termodinámico. Un concepto importante es el de "Energía Libre" o "Energía de Gibbs" (G) y se define como la sumatoria de los potenciales químicos de cada componente por el número de moles de cada uno de ellos en una fase o sistema (63) para determinar la Energía de Gibbs, de un sistema, esta puede expresarse como:

$$G = H - TS$$

donde H es el calor contenido o ENTALPIA del sistema y S es la ENTROPIA; T es la TEMPERATURA ABSOLUTA, por lo que ΔG es:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

y

$$\Delta H = \sum \Delta H (\text{productos}) - \sum \Delta H (\text{reactantes})$$

y

$$\Delta S = \sum \Delta S (\text{productos}) - \sum \Delta S (\text{reactantes})$$

Si podemos calcular la variación de la Energía Libre para una transformación, el signo algebraico de G nos indica si la transformación puede ocurrir o no en la dirección que nos imaginamos. Hay tres posibilidades (64):

1. ΔG es -; la transformación puede ocurrir espontáneamente.
2. $\Delta G = 0$; el sistema está en equilibrio con respecto a esta transformación.
3. ΔG es +; la dirección natural es opuesta.

Para la reacción (1) a continuación se exponen los datos termodinámicos (65):

$$T = 400^{\circ}\text{C} + 298.15 = 698.15^{\circ}\text{K}$$

MINERAL	S_{700} (KJ/mol.k)	H_{700} (KJ/mol.)
Feldesp.K.	0.426 75	-3971.889
Cuarzo	0.090 09	-908.952
Muscovita	0.653 74	-5970.144
H^+	0.155 61	0.000
K^+	0.097 93	0.000

Tabla 4.3. Datos termodinámicos para la reacción (1).

-Cálculo de $\Delta H = \sum \Delta H_{\text{productos}} - \sum \Delta H_{\text{reactantes}}$

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_{\text{prod.}} &= \Delta H_{\text{muscovita}} + \Delta H_{\text{cuarzo}} + \text{H}_{\text{K}^+} = -6879.596 \\ \sum \Delta H_{\text{reac.}} &+ \Delta H_{\text{fel.k.}} + \Delta H_{\text{H}^+} = -3971.889 \end{aligned}$$

$$\Delta H = -2907.70$$

-Cálculo de $T\Delta S$

$$\sum \Delta S_{\text{prod.}} = \Delta S_{\text{muscovita}} + \Delta S_{\text{cuarzo}} + \Delta H_{K^+} = 0.84176$$

$$\sum \Delta S_{\text{reac.}} = \Delta S_{\text{Fel.K.}} + \Delta S_{H^+} = 0.58236$$

$$\Delta S = 0.25940$$

$$T\Delta S = 181.580$$

y

$$\Delta G = -3971.889 - 181.580 = -4152.469$$

Como ΔG es - se puede deducir que se lleva a cabo la reacción.

Ahora se calculará el porcentaje en peso del cuarzo en el producto.

-Peso molecular de la muscovita:

$$0.5KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 = 0.5(39.1 + 3(27.0) + 3(28.1) + 12(16.0) + 2(1)) \\ = 199.2 \text{ g mol.}$$

-Peso molecular del cuarzo:

$$3SiO_2 = 3(28.1 + 2(16)) = 180.3 \text{ g mol.}$$

-Peso molecular de K^+ :

$$K^+ = 39.1 \text{ g mol.}$$

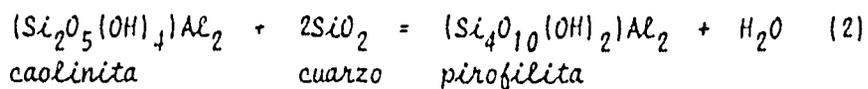
El porcentaje en peso del cuarzo es:

$$\%SiO_2 = \frac{180.3}{418.6} \times 100 = 43.1\% SiO_2$$

Lo que indica un porcentaje elevado de SiO_2 como producto final de la reacción.

2.- Cuarzo en la Formación Cosoltepec.

Con respecto al metamorfismo de las rocas pelíticas; Frey (66) demostró que el par caolinita + cuarzo reaccionaría para formar pirofilita + agua al comienzo del metamorfismo.



Los resultados de las investigaciones de Thomson (67) acerca de esta reacción, revelan los siguientes datos de P y T en los cuales puede llevarse a cabo la reacción:

- 1 Kb y 325°C
- 2 Kb y 345°C
- 4 Kb y 375°C

Para comprobar que la reacción (2) se lleva a cabo, se analizará termodinámicamente. Los datos termodinámicos se expresan en la tabla 4.4(68).

$$T = 400^\circ\text{C} + 298.15 = 700^\circ\text{K}$$

MINERAL	S ₇₀₀ (KJ/mol.k)	H ₇₀₀ (KJ/mol.)
Caolinita	0.263 05	-4089.114
Cuarzo	0.090 09	- 908.952
Pirofilita	0.552 32	-5633.192
Agua	0.218 71	- 245.634

Tabla 4.4. Datos termodinámicos para la reacción (2).

-Cálculo de ΔH

$$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{prod.}} - \sum \Delta H_{\text{reac.}}$$

$$\sum \Delta H_{\text{prod.}} = -5878.826 \text{ KJ/mol.}$$

$$\sum \Delta H_{\text{reac.}} = -4998.066 \text{ KJ/mol.}$$

$$\Delta H = (-5878.826) - (-4998.066) = -870.76 \text{ KJ/mol.}$$

-Cálculo de $T\Delta S$

$$\Delta S = \sum \Delta S_{\text{prod.}} - \sum \Delta S_{\text{reac.}}$$

$$\sum \Delta S_{\text{prod.}} = 0.77303$$

$$\sum \Delta S_{\text{reac.}} = 0.35314$$

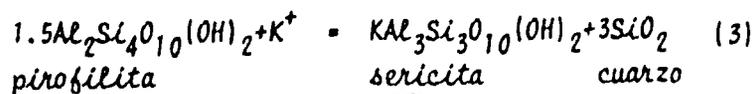
$$\Delta S = 0.41989 \text{ KJ/mol.k}$$

$$T\Delta S = 700^\circ\text{K} (0.41989) = 293.923 \text{ KJ/mol.}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -870.76 - 293.923 = -1164.683 \text{ KJ/mol.}$$

Como ΔG es de signo - se comprueba que la reacción o transformación tiene lugar con esas características de P y T.

Si a la pirofilita se le agrega K^+ tiene lugar la siguiente reacción (69):



En base a los datos termodinámicos que se exponen en la tabla 4.5, podemos efectuar el análisis (70):

$$T = 400^{\circ}\text{C} + 298.15 = 700^{\circ}\text{K}$$

MINERAL	S_{700} (KJ/mol.k)	H_{700} (KJ/mol.)
Pirofilita	0.554 32	-5633.192
Cuarzo	0.090 09	- 908.952
K^+	0.097 93	0.000
Sericita	0.653 74	-5970.144

Tabla 4.5. Datos termodinámicos para la reacción (3).

-Cálculo de ΔH

$$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{prod.}} - \sum \Delta H_{\text{reac.}}$$

$$\sum \Delta H_{\text{prod.}} = - 6879.096 \text{ KJ/ mol.}$$

$$\sum \Delta H_{\text{reac.}} = - 5633.192 \text{ KJ/mol.}$$

$$\Delta H = - 1245.904 \text{ KJ/mol.}$$

-Cálculo de $T\Delta S$

$$\Delta S = \sum \Delta S_{\text{prod.}} - \sum \Delta S_{\text{reac.}}$$

$$\sum \Delta S_{\text{prod.}} = 0.74383 \text{ KJ/mol.k}$$

$$\sum \Delta S_{\text{reac.}} = 0.65225 \text{ KJ/mol.k}$$

$$\Delta S = 0.09158 \text{ KJ/mol.k}$$

$$T\Delta S = 700(0.09158) = 64.106 \text{ KJ/mol.}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -1245.90 - 64.106 = -1310.010 \text{ KJ/mol.}$$

Con lo que se comprueba que la reacción se lleva a cabo ya que ΔG es-.

Ahora se calculará el porcentaje en peso del cuarzo.

-Peso molecular de la sericita:

$$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 = 39.1 + 3(27.0) + 12(16) + 2(1) = 314.10$$

-Peso molecular del cuarzo:

$$3SiO_2 = 3(28.1 + 2(16)) = 180.3$$

-Peso molecular del H^+ :

$$H^+ = 1$$

-Porcentaje en peso del cuarzo:

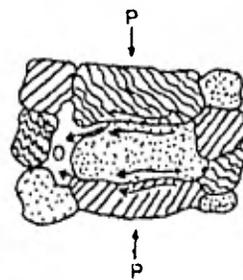
$$\%SiO_2 = \frac{180.3}{495.4} \times 100 = 36.4\% SiO_2$$

Se puede observar que es una fuente importante de producción de cuarzo durante el metamorfismo de la Formación Cosoltepec.

3.- Rasgos texturales que apoyan la teoría de la formación de los cuerpos de cuarzo a partir de segregaciones.

El esfuerzo cortante o presión diferencial que obra en una dirección particular, es uno de los factores más poderosos que influyen la fábrica de las rocas metamórficas. El esfuerzo hace descender el punto de fusión de los minerales y aumentar su solubilidad. Por tanto es un factor impor

tante para promover la CRISTALIZACION. La figura 4.9 demuestra el principio de Riecke, que establece que la disolución tiene lugar en los puntos de máxima presión dentro de una roca, con la precipitación concurrente en áreas de mínima presión (71).

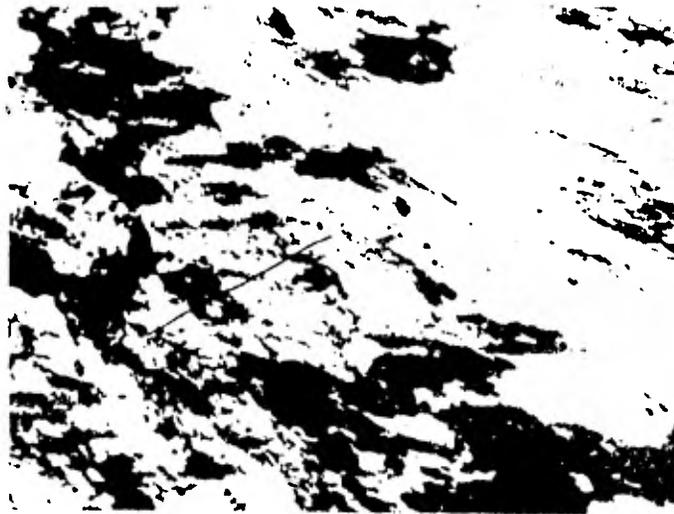


P = Presión
 O = Lugar de mínima presión
 → Dirección del flujo

Figura 4.9. Principio de Riecke.

Dicho material disuelto o segregado puede recorrer grandes distancias hasta encontrar el punto óptimo para depositarse y es en ese lugar donde converge material disuelto de otras áreas de mayor presión.

La foto 20 muestra una fotomicrografía de un fragmento de un cuerpo de cuarzo. Como puede apreciarse es evidente que sufrió movilidad, ya que los agregados de cuarzo se presentan elongados y con una orientación preferente.



0.1 mm
|-----|

Foto 20.. Fotomicrografía de un fragmento del cuerpo de cuarzo "Tecomatlán" (NX).

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Después del trabajo de campo y gabinete se pudo establecer la estratigrafía del área cartografiada, basándose para la parte del Complejo Metamórfico de Acatlán en el trabajo de Ortega de 1978.

Con respecto al Análisis Estructural, se concluye que el fracturamiento de las rocas metamórficas del área, fue provocado por esfuerzos horizontales con rumbo N-S, que probablemente corresponden al empuje de la Placa de Cocos al hundirse la Placa Farallón.

En base al estudio petrológico de las muestras, se puede determinar que la roca encajonante de los cuerpos de cuarzo, tanto en los Granitoides Esperanza como en la Formación Cosoltepec, se encuentran en la Facie Esquisto Verde y más específicamente en Subfacie Biotita-Almandino.

Como conclusión genética se puede decir que los cuerpos de cuarzo se formaron a partir de SEGREGACIONES durante el metamorfismo, ya que:

1. La ley de SiO_2 de las cuarcitas por su origen no puede ser tan alta para formar este tipo de yacimientos.
2. La forma lenticular concordante con la foliación y la textura de cristalización y fluidez indican la introducción de ese material en estado plástico.
3. Se establecieron algunas reacciones que probablemente hayan dado origen al cuarzo.
4. Se comprobó que dichas reacciones pudieron haberse llevado a cabo.

5.2 Recomendaciones.

Conociendo la génesis de dichos yacimientos, se recomienda explorar en las siguientes regiones:

a) Afloramiento de los Granitoides Esperanza. En los miembros de Mi caesquisto, que afloran en la región de Piaxtla-San José Tetla, en la por ción Suroriental del plano.

b) En la Formación Cosoltepec. En el miembro o unidad superior de esta formación, que aflora en la porción Nororiental del área cartografiada.

También se recomienda una excursión a toda el área de trabajo, para la materia de Petrología Metamórfica, ya que es una zona de metamorfismo regional muy cercana a la Ciudad de México, y por tener, dentro de la misma un buen número de afloramientos tipo de algunas rocas metamórficas. A continuación se describe una lista de los lugares de interés académico para una posible excursión geológica.

AFLORAMIENTO	LOCALIDAD
1.- Secuencia eclogítica, con metamorfismo retrogrado en la Formación Xayacatlán.	Camino Piaxtla-Tecomatlán.
2.- Augenesquisto de los Granitoides Esperanza.	Carretera federal No.190, km 198.5.
3.- Serpentinita en la Formación Xayacatlán.	Poblado de Sección Allende.
4.- Horizonte de metacaliza de la Formación Xayacatlán.	Poblado de Tecomate.
5.- Milonita de los Granitoides Esperanza.	Carretera federal No.190 en la Curva del Papayo.
6.- Yacimiento de Sal y Tecalli de la Formación Cosoltepec.	Poblado de Tlaxcoapa.
7.- Afloramiento de metaconglomerado de la Formación Tecomate.	A 2.5 km al S del Rancho "Tecomate".

El área representa un potencial extraordinario para futuros estudios de índole geológico, ya sea en geoquímica para la prospección de minerales como el cromo, en geología económica, en geología estructural, en petrografía o en muchas otras áreas para la investigación geológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Deer, et al, 1966, *An Introd. to the Roc. Form.Min.*, p.340.
- (2) Idem., p.340.
- (3) Servicio Meteorológico Nacional.
- (4) Idem.
- (5) Alvarez Jr., 1961, *Provincias Fisiográficas*, p.16.
- (6) Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1970, *Código de -- Nomenclatura Estratigráfica*, p.5.
- (7) Ortega G., F., 1978, *Estratigrafía del Complejo Acatlán*, p.113.
- (8) Ruiz C., 1970, *Reconocimiento Geológica del Área de Mariscala-Amatitlán*, p.55.
- (9) Pérez I., et al, *Estratigrafía y paleontología del Jurásico Superior de Puebla*, p.9.
- (10) Ortega G., 1978; *op. cit.*, p.116.
- (11) Idem. p.116.
- (12) Idem. p.118.
- (13) Idem. p.119.
- (14) Idem. p.119.
- (15) Huang T., 1968, *Petrología*, p.287.
- (16) Idem. p.287.
- (17) Turner y Verhoogen, 1978, *Petrología Ignea y Metamórfica*, p.210.
- (18) Ortega G., 1978, *op.cit.*, p.120.
- (19) Idem. p.121.
- (20) Ortega G., 1974, *Notas Preliminares sobre las eclogitas en Acatlán*, - p. 1.
- (21) Ford S., 1946, *Dana's Text Book of Mineralogy*, p. 559.
- (22) Spry A., 1968, *Metamorphic Textures*, p.298.
- (23) Turner y Verhoogen, 1978, *op. cit.*, p.608.
- (24) Ortega G., 1978, *op. cit.*, p.121.
- (25) Huang W., 1968, *op. cit.*, p.173.
- (26) Idem. p.157.

-
- (27) Rodríguez T., 1970, *Geología Metamórfica del área de Acatlán*, p.54.
- (28) Ortega G., 1978, *op. cit.*, p.123.
- (29) Idem. p.123.
- (30) Idem. p.123.
- (31) Idem. p.124.
- (32) Idem. p.124.
- (33) Idem. p.124.
- (34) Idem. p.124.
- (35) Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1970, *op. cit.*, --
p.6.
- (36) Ortega G., 1978, p. 124.
- (37) Spry, A., 1968, *op. cit.*, p.230.
- (38) Idem. p.229.
- (39) Idem. p.229.
- (40) Ortega G., 1978, *op. cit.*, p.126.
- (41) Huang W., 1968, *op. cit.*, p.108.
- (42) Ortega G., 1978, *op. cit.*, p.126.
- (43) López Ramos, 1980, *Geología de México*, p.98.
- (44) López Rubio, 1956, *Plano Geológico del Estado de Puebla*, U.N.A.M.
- (45) Pérez I., *et al.*, *op. cit.*, p.20.
- (46) Billings, 1972, *Structural Geology*, p.96.
- (47) Ramsay, 1977, *Plegamiento y Fracturamiento de las Rocas*, p.456.
- (48) Badgley, 1965, *Structural and Tectonics Principles*, p.5.
- (49) Ortega G., 1978, *op. cit.*, p.129.
- (50) Bazán, 1980, *Metalogénesis de la Faja Estructural Mexicana*, p. 75.
- (51) Demant y Robín, 1975, *Las Fases del Vulcanismo en México*, p.80.
- (52) Valentines and Moores, 1974, *Plate Tectonics and the History of life in the Oceans*, p.196.
- (53) Turner y Verhoogen, 1978, *op. cit.*, p.592.
- (54) Acosta del Campo, 1961, *Descripción de algunos yacimientos de asbestos en México*, p.74.
- (55) González Reyna, 1956, *Riqueza Minera de México*, p.299.

-
- (56) Winkler H., 1978, *Petrogenesis de las Rocas Metamórficas*, p.213.
- (57) Idem. p.224.
- (58) Idem. p.217.
- (59) Idem. p.220.
- (60) Huang W., 1968, *op. cit.*, p.287.
- (61) Spry, A., 1969, *op. cit.*, p.47.
- (62) Hemley and Jones, 1964, *Chemical aspects of hydrothermal alteration - with on hydrogen metasomatism*, p.548.
- (63) Wood and Fraser, 1978, *Elementary thermodynamics for geologist*, p.12.
- (64) Castellán, 1971, *Fisicoquímica*, p.210.
- (65) Robie, et al, 1978, *Thermodynamics properties...temperatures, varias páginas.*
- (66) Winkler H., 1978, *op. cit.*, 212.
- (67) Idem. p.213.
- (68) Robie, et al, 1978, *op. cit.*, varias páginas.
- (69) Hemley and Jones, 1964, *op. cit.*, p.548.
- (70) Robie, et al, 1978, *op. cit.*, varias páginas.
- (71) Huang W., 1968, *op. cit.*, p.400.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta del Campo, C., 1961, Breve Descripción de algunos yacimientos de Asbestos en México., Min. y Met. No.19, México D.F. p.65-87.
- Alvarez Jr., 1961, Provincias Fisiográficas de la República Mexicana, Sociedad Geológica Mexicana, Vol.No.2, Tomo X.
- Badgley P.C., 1965, Structural and Tectonic Principles., Washington D.C. A.Harper Internacional Student, 521 pp.
- Bazán B. Sergio, 1980, Metalogénesis de la Faja Estructural Mexicana, Geomet No.103, p.65-86.
- Billings Marland P., Structural Geology, 1972, 3Th. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 606 pp.
- Castellan, Gilbert., 1971, Fisicoquímica, Fondo Educativo Interamericano México, 835 pp.
- Chelen J., 1975, Metodología de la Red de Schmidt., inédito, 20 pp.
- Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, Código de Nomenclatura Estratigráfica, 2a.Edición, México D.F.
- Demant y Robin, 1975, Las Fases del Vulcanismo en México; Una síntesis - en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico, Revista Instituto de Geología U.N.A.M. p.70-83.
- Deer, Howie and Zussman, 1966, An Introduction to the Rock Forming Mineral, London, Longman Ed., 528 pp.

- Dewey, John F., 1972, *Plate Tectonics, Readings from Scientific American*
"Continents Adrift and Continents Aground, Freeman and Co., p.34-45.
- Flores M., 1982, *Geología y Análisis Estructural del Distrito Minero de Aire Libre, Teziutlán, Puebla, en preparación.*
- Ford, W.E., 1946, *Dana's Text Book of Mineralogy, John Wiley and Sons, New York.*, 851 pp.
- Gonzalez Reyna., 1956, *Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México, 3era. Ed. Banco de México, México D.F., 498 pp.*
- Hemley, J., and Jones, W.R., 1964, *Chemical Aspects of Hydrothermal Alteration with Emphasis on Hydrogen Metasomatism. Economic Geology, Vol. 59, 538-569 pp.*
- Huang, Walter T., *Petrología, México, 1968, Ed. Uteha, 546 pp.*
- Keer, 1977, *Optical Mineralogy, McGraw Hill, 4Th Ed., New York., 492 pp.*
- López Ramos, 1980, *Geología de México, Tomo III, Cd. Universitaria, Méx.*
- Mac. Kenzie and Guilford., 1980, *Atlas of Rock-forming minerals in thin section, John Wiley and Sons., New York., 98pp.*
- Ortega, 1974, *Nota preliminar sobre las Eclogitas de Acatlán, Puebla., Bol. Sociedad Geológica Mexicana XXXV, p.1-6.*
- Ortega, 1978, *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca baja, Estados de Puebla y Oaxaca, U.N.A.M., Instituto de Geología, Vol.2, - No.2, p.113-131.*

Pérez Ibarquengoitia J.M., Hokuto, DeCserna, 1965, *Estratigrafía y Paleontología del Jurásico Superior de la parte Centro Meridional del Estado de Puebla*, No.21, México D.F., U.N.A.M., 53 pp.

Ramsay G., John, 1977, *Plegamiento y fracturamiento de las Rocas*, H.Blume Ed., Madrid España., 590 pp.

Robie, Hemingway and Fischer, 1978, *Thermodynamic Properties of Minerals and Related Substances at 298.15°K and 1 Bar (10⁵ Pascals) Pressure and at Higher Temperatures*. Geol. Sur. Bull. 1452, Washington. 456p.

Rodríguez Torres, 1970, *Geología Metamórfica del área de Acatlán, estado de Puebla, México D.F., Libro guía de la excursión México-Oaxaca, --- SoE. Geológica Mexicana, p.51-54.*

Ruiz C., Mario, 1970, *Reconocimiento Geológico del Area de Mariscala-Amatitlán, Estado de Oaxaca, México D.F., Libro guía de la excursión -- México-Oaxaca, Soc. Geológica Mexicana, p.55-56.*

Spry, Alan, 1969, *Metamorphic Textures*, Great Britain, A. Wheaton and Co., 350 pp.

Turner J.,F. and Verhoogen,J., 1978, *Petrología Ignea y Metamórfica*, 3a.- edición, Ediciones Omega, España, 726 pp.

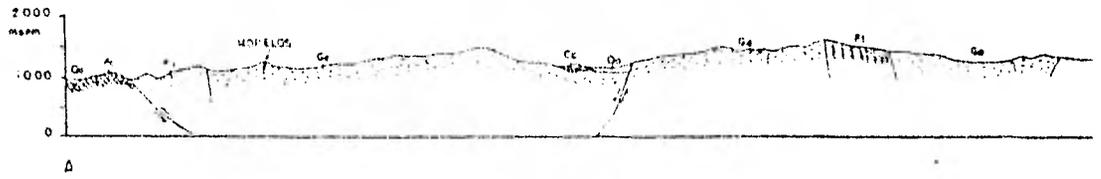
Tyrrell, G.W., 1929, *The Principles of Petrology (an introduction to the science of rocks)*, 2nd. edition, Dutton and Co., Great Britain, - 349 pp.

Valentine,J. and Moores,E., 1974, *Plate Tectonics and the History of Life in the Oceans*, Scientific American, San Francisco, Cal., 230 pp.

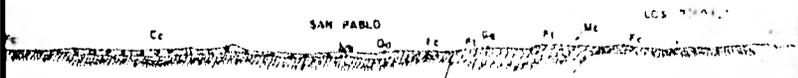
Winkler Helmut, G.F., 1978, *Petrogenesis de las Rocas Metamórficas*, H. Blume Ediciones, España, 346 pp.

Wood and Fraser, 1978, *Elementary Thermodynamics for Geologist*, Oxford University Press, 302 pp.

SECCIÓN ESQUEMA



A - A'



0 10 20 M
ESCALA HORIZONTAL

EXPLICACION

JULIO A. MENDEZ G.

- ALUVION Qc
- CONGLOMERADO CONTINENTAL Cc
- GRANITOIDES ESPERANZA Gc
- FM TEGOMATE P1 con METACALIZA M1
- FM KATACATUN F1
- FM TEGOMATE NOST 198
- FOSFATOS Fc
- VERRO DE TEGOMATE
- FALLA NORMAL
- FALLA INVERSA

POR JULIO A MENDEZ G
Tesis Profesional - 1982

