

2ej. 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO  
AGUAMILPA, ESTADO DE NAYARIT.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A :

JORGE IGNACIO NAVARRO CANDELAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

|   | Pág. |
|---|------|
| I.- GENERALIDADES   |      |
| 1.- Introducción  | 1    |
| 2.- Localización y vías de comunicación                     | 2    |
| 3.- Clima, vegetación y fauna                               | 3    |
| 4.- Hidrografía   | 4    |
| 5.- Orografía   | 5    |
| 6.- Fisiografía   | 6    |
| 7.- Método de trabajo                                       | 7    |
| Plano de vías de comunicación                               | 9    |
| Plano de provincias Fisiográficas                           | 10   |
| II.- TECTONICA DE PLACAS Y SU RELACION<br>CON EL VULCANISMO |      |
| 1.- Definiciones  | 11   |
| 2.- Corteza Continental                                     | 12   |
| 3.- Corteza Oceánica  | 13   |
| 4.- Las Placas y sus Límites                                | 15   |
| 5.- Distribución de las Series Volcánicas                   | 17   |
| III.- GEOLOGIA  |      |
| A.- Tectónica   | 20   |
| Plano del Graben Tepic-Chapala                              | 24   |
| B.- Geología Histórica                                      | 25   |
| C.- Serie Calco-Alcalina                                    | 30   |
| D.- Geología de la Hoja Tepic                               | 34   |

|                                      | Pág |
|--------------------------------------|-----|
| E.- Geología de El Sordo y Aguamilpa | 43  |
| F.- Geología Estructural             | 60  |
| IV.- HIDROGEOLOGIA                   | 61  |
| Sistema de Drenaje                   | 72  |
| V.- CONCLUSIONES                     | 73  |
| Recomendaciones                      | 74  |
| Bibliografía                         | 76  |

## I.- GENERALIDADES

### 1.- Introducción

Desde el año de 1954 hasta la fecha, se han realizado estudios geológicos en los diversos estrechamientos del río Grande de Santiago en el Estado de Nayarit, el objeto de esos estudios ha sido precisar el lugar que reúna las condiciones necesarias para establecer una obra de aprovechamiento de los escurrimientos de dicho río. Esas investigaciones fueron efectuadas por geotécnicos de la Comisión Federal de Electricidad y de la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos. Esta última llevó a cabo nuevas investigaciones en Aguamilpa, Nay. en el año de 1973, que culminaron en el año de 1974 con exploraciones del subsuelo (perforaciones); posteriormente en el año de 1975 la Comisión Federal de Electricidad concluyó, después de un estudio de factibilidad económica, que la presa de Aguamilpa tendría las siguientes ventajas:

A.- Generación de energía eléctrica

B.- Riego

B1. Riego local, en las márgenes del río.

B2. Irrigación al Norte del río Grande de Santiago

C.- Control de avenidas

D.- Desarrollo de piscicultura

En la actualidad, la necesidad de proporcionar nuevos polos de desarrollo industrial y de asentamientos humanos en esta región del país, condujo a la revisión del potencial hidroeléctrico del río Grande de Santiago, la C.F.E. se -

propuso localizar una boquilla con todos los requisitos indispensables y además que abatiera los costos de construcción de la presa. Para tal efecto se estudiaron los estrechamientos de Aguamilpa y El Sordo, cuyos resultados se presentan en éste trabajo. Se presenta además la cartografía de la zona de la ciudad de Tepic, Nayarit.

## 2.- Localización y Vías de Comunicación.

- a) La zona de la ciudad de Tepic, corresponde a la hoja F14, G-21 según el fraccionamiento cartográfico de DETENAL. La ciudad de Tepic está comunicada por la carretera federal No. 15, que la une con la ciudad de Guadalajara, Jal.; además se encuentra comunicada por la carretera federal No. 200 que la une con la ciudad de Puerto Vallarta, Jal.  
Existen otros medios de comunicación con la ciudad de Guadalajara, Jal. como lo son el ferrocarril del Pacífico y servicio aéreo directo con la misma.
  
- b) La zona de alternativas se localiza dentro del Municipio de Tepic, Estado de Nayarit, aproximadamente a 36 km al N-NE de la ciudad de Tepic; el área de trabajo se encuentra limitada por las siguientes coordenadas geográficas:

EL SORDO

AGUAMILPA

|             |                |             |                |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| 21°49' 08"  | latitud Norte  | 21°50' 15"  | latitud Norte  |
| 104°50' 15" | longitud Oeste | 104°46' 15" | longitud Oeste |

La comunicación se realiza mediante la carretera que une a la ciudad de Tepic con el ingenio Francisco I. Madero (Ex Hda. de Puga); dos kilómetros antes de llegar a éste, se encuentra la desviación que lleva hacia el campamento Jesús Ma. Cortés de la S.A.R.H., este trayecto se realiza por medio de una brecha transitable todo el año; de aquí parte una terracería de difícil acceso en tiempo de lluvias, que lleva hasta el área denominada - "El Sordo".

El acceso en vehículo es posible hasta unos kilómetros después del área "El Sordo" (arroyo del Jigüite), para posteriormente seguir a pie o a lomo de mula a través de una vereda al área de - Aguamilpa. Comprende un recorrido aproximado de 55 Km a partir de la ciudad de Tepic, Nay.

### 3.- Clima, Vegetación y Fauna

Por lo que respecta al clima, Ortega G., González V. y otros (1978) dicen lo siguiente:

..." Según la clasificación de Köppen, modificado por E. García (1974), el clima en la zona es de tipo tropical con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26° C. (según los registros de la estación Despeñadero, tomado como representativa de la zona) con valores máximos de 33°C. y mínimos de 19° C.

..." La evaporación media anual para un período de 15 años de registro es de 2,353 mm (estación Despeñadero)".

..." La incidencia de ciclones en esta zona, constituye el componente principal de la precipitación".

..."Para determinar la disponibilidad de agua superficial se se leccionó la estación El Carrizal (la canastilla para los lugares), ubicada a 500 m aguas abajo de la alternativa Aguamilpa. Esta estación cuenta con un período de registros de 13 años - (1963 - 1975). Con el fin de ampliar el período de registros a 19 años (1957 - 1963), se utilizaron los datos de la estación - Despeñadero, localizada a 8 Km aguas arriba de la anterior".

Del análisis de estos datos se concluyó que los meses de agosto y septiembre son los que manifiestan mayor escurrimiento, lo - cual coincide con los meses de mayor perturbación atmosférica.

La vegetación es variada y está representada por los siguientes tipos de árboles: Pochote, Guamúchil, Palo del Brasil, Nopas de Castilla, Amate blanco, Mezquite, Zacate de Agua, etc.

La fauna de la región es rica, está formada por tejones, jaba- lyes, iguanas, venado cola blanca, armadillo, chachalaca sonorense, ardillas, etc. así como por aves e insectos.

#### 4.- Hidrografía.

El río Grande de Santiago forma parte del importante sistema hidrológico Lerma-Santiago; el río Lerma nace en el Estado de -

México, precisamente en el poblado de Lerma, de donde toma su nombre. Este río termina su curso en el lago de Chapala, lugar donde nace el río Grande de Santiago; éste presenta su cauce hacia el NW para internarse en el Estado de Nayarit, en el poblado de Analco, Municipio de la Yesca; cambiando de dirección al occidente a partir de la confluencia con el río Huaynamota, para continuar después al W-SW hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, al NW del puerto de San Blas en el lugar denominado Boca del Titiritero. Con un recorrido de 265 Km aproximadamente en el Estado de Nayarit. Los principales afluentes del río Grande de Santiago a lo largo de su cauce son: los ríos Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota. La cuenca hidrográfica del río Grande de Santiago hasta la estación Yago, situada aguas abajo del proyecto Aguamilpa, tiene una cuenca de captación de 75,438 Km<sup>2</sup>, con un escurrimiento anual de 110,000 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>. Se estima que arroja al mar 8,600 millones de m<sup>3</sup> de agua anuales.

#### 5.- Orografía

El principal sistema orográfico de la región está formado por la parte sur de la Sierra Madre Occidental, llamada Sierra del Nayar, de la cual parten dos bifurcaciones hacia el Sur; una de ellas llamada Sierra de Alica o de Palomas con una elevación aproximada de 2,100 m.s.n.m. y la otra es la llamada Sierra de Acatán o Ixcatán con una elevación aproximada de 1,400 m.s.n.m.

En el Municipio de Tepic existen prominencias como la Punta Gor

da en el cerro de San Juan y el Volcán Sangangüey con elevaciones de 2,200 y 2,150 m.s.n.m. respectivamente.

#### 6.- Fisiografía

Existen varias publicaciones referentes a las provincias fisiográficas en que se divide el país, sin embargo, después de consultar algunas de ellas, se concluyó que las divisiones establecidas por Raisz, E. (1964), Humphrey W. (1956) modificadas por el Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. (prospecto La Mancha 1976), son las más precisas para la fisiografía de la zona.

De acuerdo con lo mencionado líneas arriba, el área de la ciudad de Tepic, se considera dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, ya que presenta características de dicha provincia, como son las amplias planicies interrumpidas por los cerros volcánicos. Se encuentra el área en un ciclo geomorfológico de juventud, ya que son reconocibles en el campo las estructuras. Por lo que respecta a las áreas de El Sordo y Aquamilpa, se consideran, ambas, dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, propiamente dicho - en sus estribaciones, ya que se observa lo abrupto de la topografía, en donde los valles son escasos o están ausentes. Dentro del ciclo geomórfico, esta zona se encuentra en una etapa de juventud tardía, en donde la mayoría de sus rasgos son reconocibles en el terreno a simple vista.

## 7.- Método de trabajo.

La necesidad de obtener una cartografía lo más confiable posible, así como el fracturamiento de las rocas y sus características diversas en los diferentes tipos de roca, condujo a realizar un levantamiento geológico a detalle.

### A.- Trabajo de Gabinete

Fotogeología.- Los rasgos mayores se localizaron en fotografías aéreas verticales y se siguieron en las mismas hasta su desaparición.

La cartografía de la hoja Tepic, fue proyectada en base a la verificación de unidades litológicas, previa localización de éstas en fotografías aéreas verticales escala 1:25,000 aproximadamente.

Petrografía.- Todas las muestras colectadas fueron remitidas al laboratorio de petrografía de la C.F.E., cuyos reportes contribuyeron sustancialmente para la confección de la cartografía final.

Geocronología.- Las dataciones de las rocas, fueron hechas por Geochron Laboratories en Massachussets, U.S.A., en estas investigaciones se utilizó el método de Potasio-Argón.

### B.- Trabajo de Campo

La abundante vegetación así como lo abrupto del terreno, compelió a efectuar el levantamiento geológico -

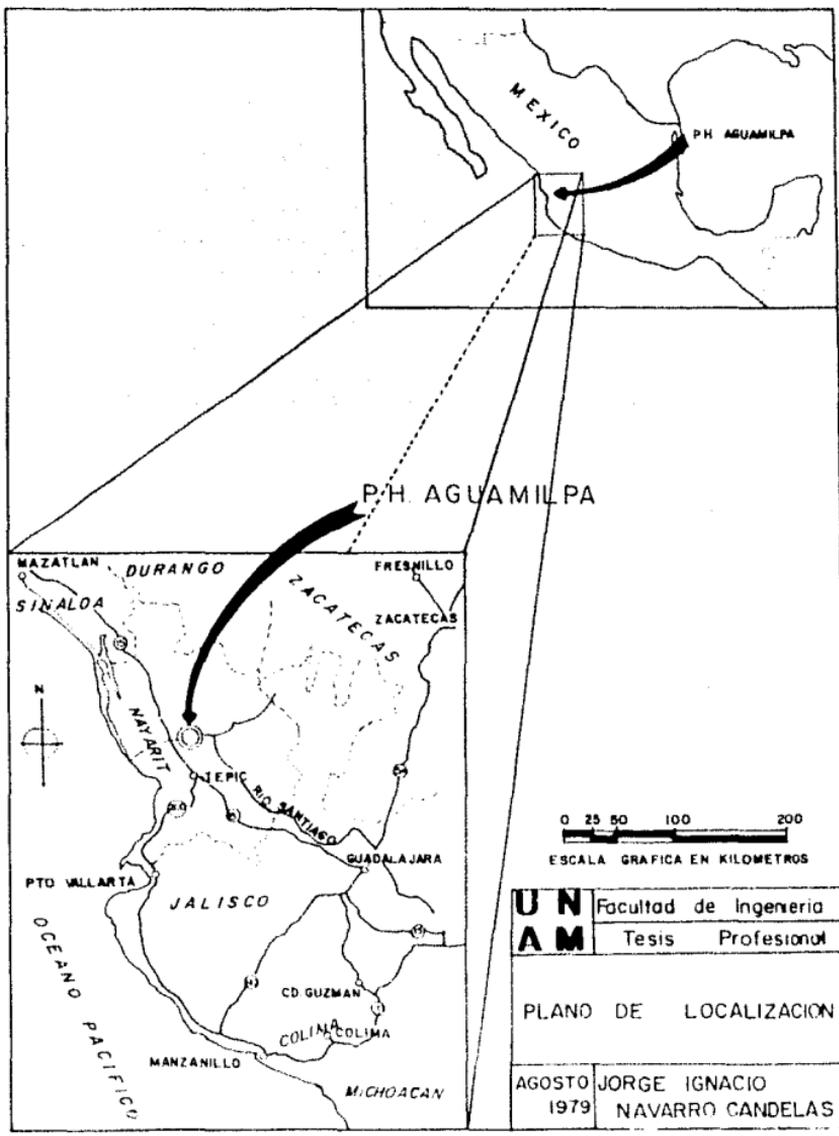
por medio de brechas a través de la vegetación; para tal finalidad se trazaron 23 brechas con longitud promedio de 1.5 Km y orientación N-S, controladas todas éstas por medio de una brecha con orientación E-W, a partir de la cual se procedió a "cadenearlas" cada 50 m y poner estacas a estos intervalos, tanto hacia la parte norte como hacia la parte sur.

En los afloramientos cercanos a las estacas fue donde se elaboró la descripción plena de los mismos, poniendo énfasis en el fracturamiento, diferenciando las fracturas abiertas, cerradas, rellenas y selladas.

Para ampliar la calidad y la cuantía de los datos, se hizo el levantamiento geológico de las orillas del río Grande de Santiago, y de los afloramientos presentes en los cortes del camino de acceso.

El levantamiento geológico entre las alternativas de El Sordo y Aguamilpa, se llevó a cabo en base a caminamientos, con apoyo topográfico, principalmente sobre los arroyos; el muestreo también se efectuó con apoyo topográfico.

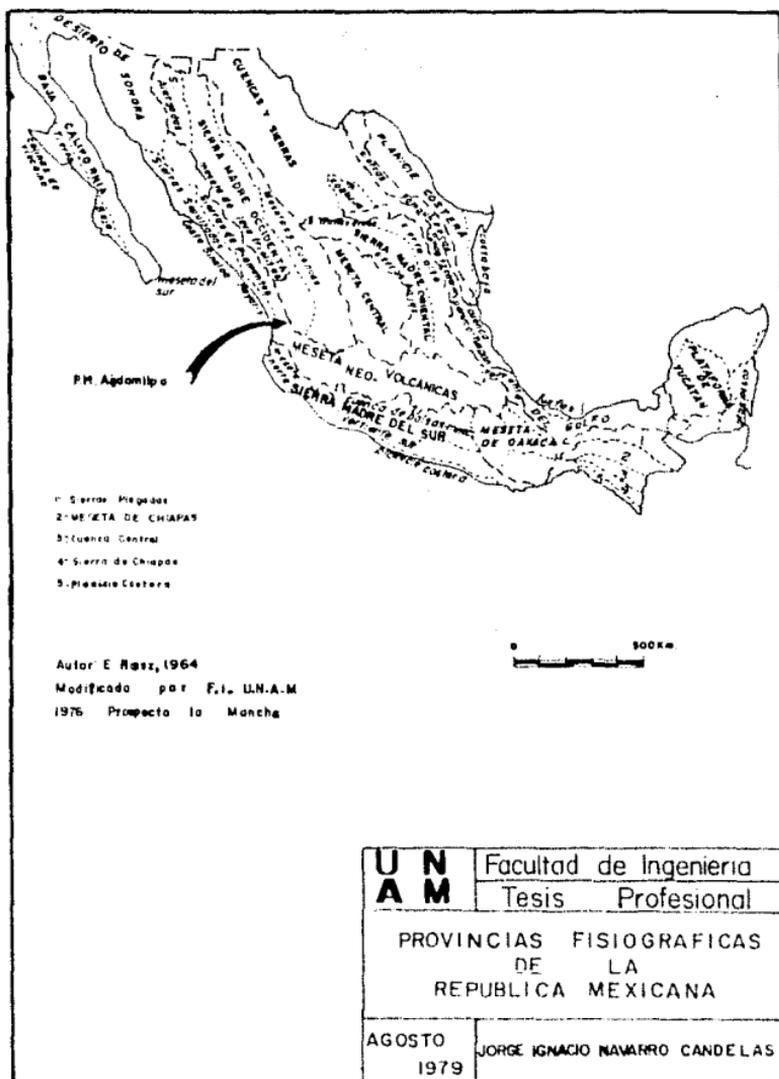
Todos los datos obtenidos se vaciaron sobre los planos correspondientes. Escala 1:2000.



|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| <b>UN</b><br><b>AM</b> | Facultad de Ingeniería |
|                        | Tesis Profesional      |

PLANO DE LOCALIZACION

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| AGOSTO<br>1979 | JORGE IGNACIO<br>NAVARRO CANDELAS |
|----------------|-----------------------------------|



Autor E. Rosz, 1964  
 Modificado por F.I. U.N.A.M.  
 1976 Proyecto la Mancha

## II.- TECTONICA DE PLACAS Y SU RELACION CON EL VULCANISMO

### 1.- Definiciones

Corteza terrestre.- Es la parte relativamente superficial de terrenos cuya densidad media es inferior a 3.3 gr/cm<sup>3</sup> y la velocidad de propagación de la onda sísmica P es por término medio inferior a 8 Km/seg; además se encuentra por encima de la discontinuidad sísmica llamada de Mohorovicic (Moho) cuando ésta existe. El espesor de la corteza varía de 10 a 70 Km (Mattauer, M. 1976).

Manto.- Se encuentra inmediatamente debajo del Moho, tiene una densidad media de 3.3 gr/cm<sup>3</sup>, deducida de la velocidad a la que es atravesado por las ondas sísmicas. Es separado por una discontinuidad a los 1,200 Km dando lugar al manto superior e inferior; dentro del manto superior se considera localmente otra discontinuidad, llamada de Golitzin, se presenta entre los 400 y 800 Km.

Núcleo.- Se presenta a unos 2,900 Km de profundidad, al llegar a él desaparecen las ondas secundarias, las ondas primarias disminuyen su velocidad de 13 a 8 Km/seg. Debe tener una densidad muy superior a la del manto y la corteza, ya que la densidad media de la tierra es de 5.5-gr/cm<sup>3</sup>. (Araña y López, 1974).

Los geofísicos utilizan con frecuencia otras subdivisiones que son útiles para el estudio de los fenómenos profundos,

dichas subdivisiones serían:

Litosfera.- Es la parte del terreno relativamente rígida, la cual engloba la corteza y una parte del manto superior, su espesor es de 70 a 15 Km.

Astenosfera.- Corresponde a un material viscoso susceptible de deformarse mucho más fácil; su espesor es del orden de 650 - 730 Km.

Mesosfera.- Corresponde a material muy rígido, se presenta a partir de los 800 Km.

## 2.- Corteza Continental.

2.a.- Zonas continentales estables, sin relieves importantes.- Se presentan en sentido vertical, de arriba hacia abajo, las siguientes capas:

i) Rocas sedimentarias sin plegar ni transformar cuya potencia es variable, puede sobrepasar los 3000 m, pero con frecuencia los sedimentos faltan.

ii) Terrenos cristalinos de espesor grande (10 a 15 Km); constituye una capa que generalmente se llama "Capa Granítica", por la abundancia de éste, pero esto corresponde sólo a una simplificación ya que se pueden encontrar una gran variedad de rocas.

iii) Terrenos nunca visibles en superficie, con espesores de 10 a 20 Km; como las velocidades de la onda sísmica - corresponden a la del basalto, se le llama generalmente - "Capa Basáltica". Sin embargo, se admite con frecuencia que se trata de anfibolitas bajo las facies de eclogita, o de dioritas.

iv) Rocas nunca visibles en superficie y todavía no alcan<sup>z</sup>ada por sondeos, por la velocidad de propagación de la onda sísmica y por su densidad media (7.9 a 8.4 Km/seg y 3.3 gr/cm<sup>3</sup>) se cree que se está en el manto superior, se habla generalmente que las rocas son peridotitas o eclogi<sup>t</sup>as.

2.b.- Cordilleras.- Se encuentran las "capas" del inciso anterior, pero sufren modificaciones en la disposición y en la naturaleza que pueden ser importantes. La modifica<sup>c</sup>ión mas general corresponde al hundimiento del Moho, que alcanza profundidades de más de 60 Km (quizá 80 Km en los montes Himalaya); las superficies de discontinuidad son - mas tenues. En general las cordilleras muestran una dis<sup>p</sup>osición mucho más compleja que bajo las zonas continenta<sup>t</sup>les estables.

### 3.- Corteza Oceánica

Su característica principal es la ausencia de la llamada "Capa Basáltica".

3.a.- Zonas oceánicas típicas.- Se presentan de arriba -

hacia abajo las siguientes capas:

i) Una capa de rocas sedimentarias de edad reciente (post-triásica) que muestra todos los estados intermedios entre los actuales, no consolidados, sedimentos semiconsolidados y rocas consolidadas normales; su potencia es del orden de 300 m.

ii) Una capa denominada "basáltica" de espesor medio 6.5 Km que se subdivide generalmente en una capa superior (velocidad de 5 Kg/seg, espesor medio de 4,800 m); por medio de sondeos se sabe que el techo de la capa superior corresponde a colados basálticos, no se conoce la naturaleza de la capa inferior, se habla de basaltos metamorfoseados, de gabros o de serpentinas.

---

iii) Bajo un Moho siempre neto, a una profundidad media de 7 Km bajo el fondo de los océanos, el manto superior está caracterizado por velocidades de 8.1 Km/seg; se admite que corresponde a peridotitas.

3.b. Dorsales mesoocéánicas.- En esta zona está ausente la capa basáltica inferior, así como los sedimentos; la capa basáltica está reemplazada por rocas con velocidad de la onda sísmica de 7.3 Kg/seg, que forman una capa de espesor variable, cuyo máximo de 30 Km se encuentra en el eje de las dorsales.

3.c. Mares interiores (tipo Mar Negro).- El sustrato de

ciertos mares interiores, como el Mar Negro, el Mediterráneo, el Golfo de México, pueden ser considerados como oceánicos, ya que no se presenta la "Capa Granítica" de los continentes vecinos; estas zonas están caracterizadas por un gran espesor de sedimentos, que llega a ser de más de 10 Km.

#### 4.- Las placas y sus límites

Primero se dará una definición del concepto de placa, que se hace sin ningún sentido geofísico:

Placa.- Vasta extensión de la corteza terrestre, definidas a la escala del millar de Km, que no ha sufrido deformaciones apreciables a esta escala y que muestran, por consiguiente, estratos que han quedado prácticamente horizontales desde su depósito (Mattauer p.33, 1976).

La tierra ha sido dividida en 8 grandes placas (Mattauer, OP.Cit.) que son:

1. Placa Africana, en parte continental y en parte oceánica.
2. Placa Euroasiática, esencialmente continental, pero engloba una parte del Atlántico Norte.
3. Placa Norteamericana, engloba también una parte del Atlántico Norte.
4. Placa Sudamericana, la mitad es continental y la otra parte oceánica (Atlántico Sur).

- 5.- Placa Antártica, en parte continental y en parte oceánica. (Sur del Océano Indico)
- 6.- Placa Indo-Australiana, comprende el NE del Océano Indico y el continente australiano.
- 7.- Placa Pacífica Meridional, completamente oceánica.
- 8.- Placa Pacífica Septentrional, totalmente oceánica.

Cabe mencionar que existen otras divisiones como la de Le Pichon (1968) el cual menciona únicamente 6 placas.

Los límites de placas pueden ser destructivos, constructivos o conservativos; de acuerdo a ésto, los límites son zonas de alta actividad sísmica y pueden ser clasificados de la siguiente manera (Wilson, 1965).

a) Límites de crecimiento o divergentes, topográficamente representados por ~~córdilleras submarinas~~ la actividad volcánica que origina el relieve de las dorsales, es tanto más antigua cuanto más lejos se esté de su eje: Se trata siempre de rocas volcánicas casi exclusivamente basálticas, en la parte central de las dorsales estas rocas no están cubiertas por sedimentos, éstos no aparecen sino a partir de una cierta distancia del eje de la dorsal y se van haciendo progresivamente más potentes.

b) Límite de destrucción o convergentes, topográficamente representados por trincheras, arcos de islas, y cadenas montañosas de plegamiento; de acuerdo al tipo de placa

cas que intervienen pueden ser de tres tipos:

i) Océano-Continente, se forman fosas en donde la placa oceánica se integra al manto bajo una continental debido a diferencias de densidad, tal es el ejemplo de la trinchera de Acapulco.

ii) Océano-Océano, se forman arcos de islas volcánicas - como las Aleutianas y las Islas Kuriles; el mecanismo no está bien entendido.

iii) Continente-Continente, origina montañas de plegamiento por compresión y elevación de los sedimentos acumulados en las antiguas cuencas oceánicas, como ejemplo de esto están los montes Himalaya.

c) Límite conservativo, en éstos no se observa pérdida o ganancia de material, los bloques se desplazan uno con respecto al otro, a ambos lados de una gran fractura de la corteza.

##### 5.- Distribución de las Series Volcánicas

Existe una estrecha relación entre el magmatismo y la tectónica de placas; la actividad magmática se desarrolla en forma masiva en zonas de extensión, donde la fusión parcial del manto ascendente da lugar a la generación de lavas, y en zonas de compresión, por la fusión parcial de la capa litosférica que se sumerge en el manto a lo largo de la zona de subducción.

a) Zona de Dorsales Oceánicas.- En este lugar se tiene el ascenso del material del manto, probablemente por procesos convectivos, de áreas de alta presión y temperatura a otras de menor presión en las cuales comienza su fusión parcial, para posteriormente dar lugar a la erupción y solidificación de este material sobre el fondo oceánico dando lugar a la corteza oceánica que se agrega a la placa que se va separando.

Las rocas volcánicas dominantes en esta zona son de composición toleítica (Engel et al, 1965, Nichols 1965, Miyashiro 1969, etc.). Los porcentajes de  $K_2O$  y  $SiO_2$  de los basaltos del valle axial de las dorsales, son bajos, 49% - aproximadamente (Kay et al. 1970).

En algunos escarpes de la dorsal medio-atlántica se han dragado basaltos alcalinos (Muir y Tilley 1964 b), los cuales se localizan principalmente sobre las fracturas transversales a los ejes oceánicos.

De acuerdo a los estudios experimentales y geoquímicos - sobre los basaltos, la generación de los diferentes tipos de magmas basálticos dependen principalmente de los siguientes factores (Araña y López, 1974):

- i) Composición del material originario, ii) Profundidad de segregación del líquido magmático, iii) Grado de fusión,
- iv) Grado de fraccionación sufrido en su ascenso.

Los magmas toleíticos se generan en condiciones de grado de fusión parcial alto (el cual es controlado por el contenido en agua y la temperatura existente en la zona de generación) mayor de 20% aproximadamente; mientras que - grados de fusión bajos dan lugar a magmas progresivamente más alcalinos.

De acuerdo a esto, la mayor parte de los magmas emitidos en esta zona se han originado a niveles relativamente superficiales y con un elevado grado de fusión parcial del material peridotítico ascendente.

b) Zonas de Subducción.- El proceso de subducción origina, además de una serie de transformaciones metamórficas, la generación de un magmatismo de tipo calco-alcalino.

Aunque el vulcanismo en las zonas de arco-isla y borde - continental activo es fundamentalmente de tipo calco-alcalino, en gran número de arcos-isla ~~circumpacificos existe~~ una variación lateral que va desde rocas de la serie toleítica en el lado oceánico a tipos alcalinos pasando por tipos calco-alcalino. Esta variación es temporal, puesto que las rocas toleíticas han hecho erupción antes que las rocas calco-alcalinas y que las alcalinas.

Existe una gran complejidad en las zonas de subducción, en algunas de las cuales puede tener lugar, además, la - fragmentación de una de las placas en colisión, dando origen a un mosaico de microplacas.

### III.- GEOLOGIA

#### A.- Tectónica

La zona estudiada pertenece al denominado "Graben Tepic-Chapala" que es uno de los focos principales de vulcanismo del Eje Neovolcánico y acerca del cual A. Demant (1976) dice:

"Esta estructura constituye la terminación occidental del eje, las manifestaciones recientes se alinean con una - orientación NW-SE, en una franja que se extiende de Tepic a Guadalajara; a la altura del lago de Chapala cambian - las direcciones tectónicas llegando a ser E-W.

Los límites del graben están constituidos por la secuencia volcánica Oligo-Miocénica, presente al nivel del río Grande de Santiago, así como en ambos lados del lago de Chapala".

Tres centros eruptivos principales se localizan en este graben de Tepic, a los cuales se pueden asociar un gran número de centros adventicios de dimensiones reducidos.

El volcán Sangangüey, cerca de Tepic, Nay.

El volcán Ceboruco, a la altura de Ixtlán del Río, Nay.

El volcán Tequila, en Jalisco.

En el graben se localizan muchas manifestaciones sílicas, de tipo riolítico e ignimbrítico Plio-Cuaternario, ubicados entre Tequila y Magdalena, Jal., al Norte de Guadalajara y al nivel del río Grande de Santiago.

El graben es causado por fallas con orientación NW-SE, - que parecen relacionarse con los fenómenos distensivos - que desde el Mioceno Superior se desarrollan al nivel del Golfo de California.

El río Grande de Santiago, desde Santa Ma. del Oro hasta su confluencia con el río Huaynamota, tiene una orientación NW - SE, característica del graben y de la Sierra Madre Occidental; a partir de la unión con el Huaynamota - cambia su orientación hacia el W hasta su desembocadura - en el Pacífico, que coincide aproximadamente con el de - las estructuras del lago de Chapala.

Los diques y fracturas en el área de estudio, llevan preferentemente una orientación NW-SE, que coincide con el - fracturamiento regional, además esta orientación de los - diques es la misma a lo largo de toda la Sierra Madre Occidental; se presentan en Sonora, en Choix y Bacurato, Sinaloa y en Aguamilpa, Nayarit, en donde al parecer terminan.

En la zona de estudio (Aguamilpa y El Sordo), existen plegamientos que afectan a todas las unidades litológicas, - dichos pliegues están expresados por sierras alargadas con estratos buzantes en direcciones opuestas, son observables únicamente a grandes elevaciones (2,000 a 3,000 m). En las fotografías aéreas convencionales es difícil observarlos (Damon P., Nieto, J. y Delgado L.A. 1973). Cabe mencionar que los plegamientos en la secuencia ignimbrítica, ya ha-

bían sido señalados anteriormente (Gastil, 1979 y Mooser, 1972). La edad máxima de este plegamiento, obviamente es ~~menor que el de las ignimbritas; se le asigna una edad en~~ tre 19 y 11 M.A. (Damon, Nieto y Delgado).

La existencia de una trincera activa para el período Oligo-Miocénico, en la costa pacífica, es un hecho generalmente aceptado; por lo tanto el vulcanismo ácido explosivo se asigna confiablemente a la subducción de la placa Pacífica Oriental con el borde occidental de la placa Norteamericana.

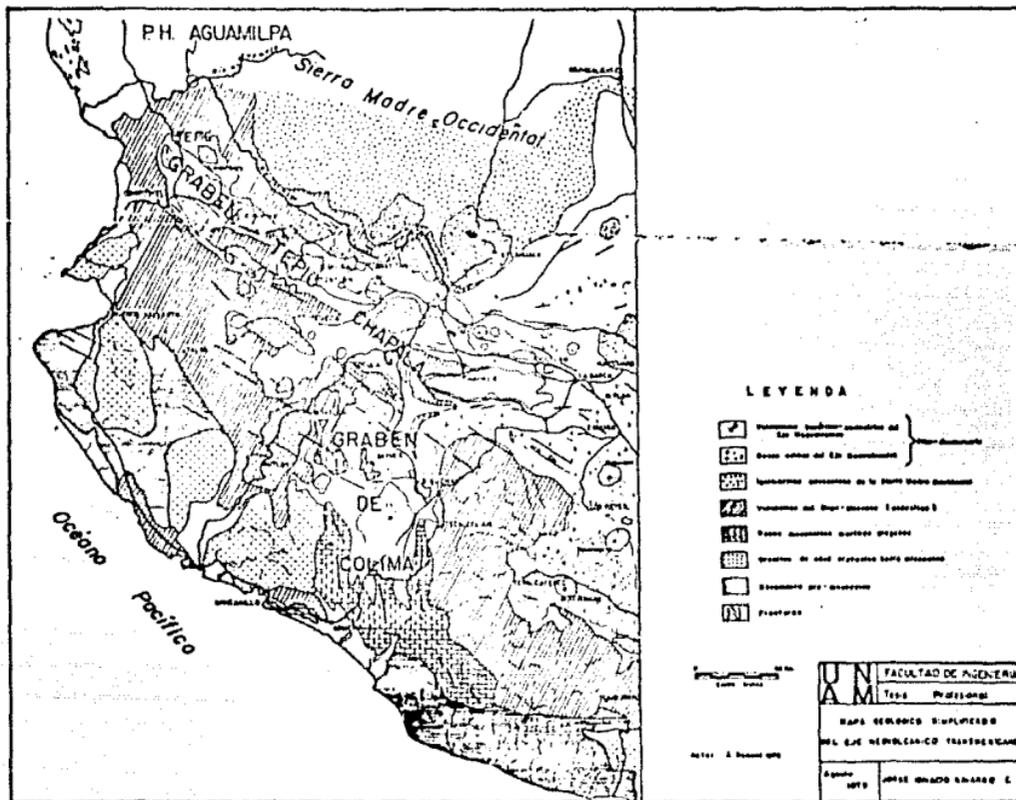
El arco magmático Oligoceno - Mioceno, experimentó un acercamiento hacia la costa, o sea que la actividad ígnea se acercaba cada vez más hacia la costa. El argumento principal para esta hipótesis, es la posición actual de la Dorsal Pacífica Este con respecto a la trinchera de Acapulco; se puede observar, que el cinturón de volcanes Cuaternarios está más cerca de la costa, cuando la dorsal oceánica (Pacífica Este o Galápagos) está cercana al continente, y el cinturón se aleja de la costa pacífica cuando la dorsal se encuentra más alejada.

Se piensa que este efecto es causado por el desplazamiento de la dorsal oceánica hacia posiciones más cercanas a la trinchera, de tal forma que material oceánico más delgado y más caliente es subducido.

A partir de los  $\pm$  10 M.A. un vulcanismo alcalino existe en el área, que culmina con los derrames basálticos del Eje Neovolcánico. Esto sugiere que quizá el área estuvo asociada a la apertura del Golfo de California, y al cambio de orientación que sufrió la Dorsal Pacífica Este - hace 8-10 M.A. (Damon, Nieto y Delgado).

Por lo que respecta al río Grande de Santiago, tomando en cuenta la edad de las terrazas basálticas al Norte de Guadalupe, y su elevación con respecto al río mencionado, se le ha asignado una velocidad de excavación de 300 m - por millón de años (Damon, Nieto y Delgado).

Las grandes diferencias en elevación en los cañones del río Grande de Santiago, indican que el levantamiento es superior al peneplanamiento.



## B.- Geología Histórica

Durante el Cretácico Superior (80 M.A.) se inician los eventos tectónicos ~~relacionados~~ con emplazamiento de intrusiones batolíticas de carácter ácido (granito-granodiorita). En el norte de Baja California y parte de Sonora, representan la terminación sur de los batolitos Californianos de E.U.A.. En Sonora y Sinaloa hay actividad volcánica del tipo "Arco Insular" de carácter Calco-Alcalino (gabros y dioritas). Cabe mencionar que existen otras manifestaciones de magmatismo asociado a la zona de subducción de la placa Farallón, ya que existen ofiolitas de edad Jurásica en California (E.U.A.) y Baja California (México). Por medio de determinaciones radioisotópicas en rocas plutónicas ácidas e intermedias de Arizona (E.U.A.), y Sonora, se ha mostrado una actividad ígnea Campaniano Superior-Eoceno Inferior y quietud durante el Eoceno Medio-Oligoceno (Salas, 1975). Durante el Oligoceno tiene lugar el vulcanismo que subyace a las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (considerado ésto por referencia a los derrames andesíticos interestratificados con la secuencia detrítica del Grupo Balsas (R. Mauvois et al, 1976). La historia geológica del área comienza en la base del Mioceno, con un vulcanismo Calco-Alcalino representado por andesitas y tobas andesíticas como rocas más antiguas aflorantes (con edad de  $22.4 \text{ M.A.} \pm 3.5$ ).

Este vulcanismo tiene una tendencia más ácida manifestán-

dose tanto en forma de derrames (dacitas, latitas, traquitas y riolitas) como por tobas e ignimbritas; por correlación con áreas volcánicas al NE de Mazatlán, este vulcanismo tendría una edad Oligoceno Superior al Mioceno, Tuffe rior (Mc Dowell, F.W. y Clabaugh, S.E. 1972); pero en esta área parece ser del Mioceno solamente ya que posterior a las andesitas se han datado dacitas con edad de 19.4 M.A.  $\pm$  0.9, y traquitas con edad de 12.9 M.A.  $\pm$  0.5.

Las unidades antes mencionadas, con excepción de la riolita constituyen al SE del área de la hoja Tepic un complejo volcánico no diferenciado.

Durante este evento, ocurrieron movimientos distensivos de grandes proporciones que dieron lugar a fallas y fracturas de orientación predominante NW-SE, perpendiculares a otras de orientación NE-SW; dando lugar a la formación de bloques de rumbo principal NW-SE y buzamiento al NE; observables en la parte Norte, NE y Oeste del área de la hoja Tepic en rocas del grupo dacita-latita. Este efecto también permitió el emplazamiento de cuerpos monzoníticos y monzodioríticos datados con edad de 18.3 M.A.  $\pm$  1.4, y que son observables en el área de estudio (El Sordo y Aguamilpa).

También en el Mioceno, se presentan características de importante vulcanismo en casi todo el país, en Baja California se originan grandes efusiones andesíticas con edades -

decrecientes hacia el sur, que se pueden relacionar con el desplazamiento progresivo de la cordillera oceánica y la desaparición de la placa Farallón debajo de la placa Americana (Atwater et al., 1970).

En forma contemporánea ocurren grandes manifestaciones ignimbríticas en la Sierra Madre Occidental, se llegan a observar hasta 1,000 m de espesor en algunos lugares. Estas rocas pueden estar cubiertas por las emisiones posteriores del Eje Neovolcánico en algunas parte del Centro y Occidente de México (Tulancingo y Guadalajara-Tepic respectivamente), mientras que en el Norte (Durango) pueden estar cubiertas por derrames basálticos Plio-Cuaternarios, producto de los últimos movimientos verticales que fracturaron a las ignimbritas.

En el Mioceno Superior finaliza la actividad Calco-Alcalina en la porción NW del país, para continuar con un vulcanismo Alcalino de tipo basáltico (Demant, A et al. 1976); que en el área de El Sorbo y Aguamilpa se manifiesta por

~~la presencia de diques básicos (Diabasa) que se emplazan~~  
en toda la columna a través de fracturas de orientación predominante NW-SE; en el área de la hoja Tepic, se manifiestan por derrames basálticos que se alinean con orientación NW-SE; por datación se determinaron tres tipos de basaltos que son: 1) Occidentales, con edad de 11.2 M.A.  $\pm$  0.8, 2) Centrales, con edad de 8.7 M.A.  $\pm$  0.7 y 3) Centro-Sur, con edad de 1.1 M.A.  $\pm$  0.3.

En el Plio-Cuaternario, la placa Farallón desapareció completamente bajo la placa Americana (Atwater T., 1970), la Cordillera Oceánica Pacífica se localiza a la entrada del Golfo de Cortés y se prolonga a través de éste por un sistema de fallas y zonas de expansión (Byke & Cox, 1960); que más al norte se manifiesta con el sistema de San Andrés. Baja California se integró a la placa Pacífica siguiendo el desplazamiento de ésta, hacia el NW desde el Plioceno,

Durante el Cuaternario Inferior, se presentan en el área derrames y material de composición andesítico-basáltico (breccia de composición intermedia-básica), mismos que culminan el vulcanismo alcalino del área.

El principal centro eruptivo es el volcán Sangangüey, teniendo además el volcán Las Navajas, el volcán La Caldera, y el cono cinerítico Cerro La Cuchara.

Posteriormente, del Cuaternario Medio al Superior, se presenta otra manifestación Calco-Alcalina con tendencia más ácida, siendo las rocas representativas, de la más antigua a la más joven las siguientes: tefita, pumicita una toba vítrea (estas dos últimas posiblemente contemporáneas); que cubren la topografía anterior.

Esta última etapa posiblemente se correlaciona con las manifestaciones riolíticas e ignimbríticas Plio-Cuaternarias entre Tequila y Magdalena, Jal. (Demant, A. et al 1976).

Por último se forman depósitos aluviales, como producto de la erosión de las rocas preexistentes.

### C.- Serie Calco-Alcalina

Esta serie está integrada por basaltos calco-alcalinos, andesitas hipersténico-hornbléndicas (andesitas S.S.), dacitas y riolitas.

Es típico de cinturones orogénicos, siendo mayoritarias las andesitas; esto último marca la diferencia con la serie Toleítica y con la Alcalina donde los basaltos son, por mucho, los más abundantes.

Características.- Los tipos de roca de esta serie presentan textura porfirítica. En los basaltos y andesitas la matriz es normalmente cristalina, por otra parte, en las dacitas y riolitas esa matriz es comunmente vítrea. La plagioclasa es el mineral más abundante en los basaltos y andesitas, llegando a formar el 50-70% del total de la roca. El ortopiroxeno aparece en todos los miembros de la serie, tanto en fenocristales como en la matriz, la augita es común en los términos basálticos de esta serie; la hornblenda es característica de algunas provincias calco-alcalinas, no presentándose en otras, por lo tanto no es un criterio utilizable.

La alta presión del oxígeno, bajo la cual tiene lugar la cristalización del magma de esta serie, debido quizás al relativamente elevado contenido de agua, trae como consecuencia la formación de magnetita y por lo tanto hay una

disminución de Fe en el magma desde los principios de la evolución de éste.

La serie Calco-Alcalina de borde continental presenta escasas rocas con  $\text{SiO}_2 < 56\%$  y aún inexistentes, contienen aproximadamente 17% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , la presencia de álcalis es moderada a alta y aumenta con el incremento de  $\text{SiO}_2$  (Araña y López, 1974).

Génesis.- Se presentan 5 hipótesis para explicar la génesis de esta serie (Araña y López, 1974) que son:

- 1.- Cristalización fraccionada de magma basáltico.
- 2.- Fusión parcial o total de material sílico y posterior modificación del magma originado por contaminación con material básico.
- 3.- Contaminación de magma basáltico con material de la corteza sílica.
- 4.- Fusión parcial de cuarzoeclogita o de basalto metamorfoseado en zonas de subducción.
- 5.- Fusión parcial del manto peridotítico en condiciones hidratadas.

---

De todas estas hipótesis de generación de magma Calco-Alcalino, se podrían considerar 2 posibles que son la primera y la quinta, ya que las otras tres dejan muchos puntos oscuros en lo que se refiere a la distribución de la serie. Debido a que no pueden explicar la presencia de

andesitas en arcos de islas y en zonas de borde de las regiones oceánicas, en donde no existe material sílico.

Dentro de las hipótesis favorables se puede hacer mención de los puntos a favor y en contra en la generación del - magma calco-alkalino:

1.- Cristalización fraccionada de magma basáltico.

a) La estrecha asociación basalto-andesita-dacita y - la completa gradación mineralógica y química de la serie, b) Se pueden generar andesitas y dacitas a partir de un magma basáltico por sustracción de los fenocristales observados en estas rocas, c) El no enriquecimiento de Fe de la serie se puede explicar por - la cristalización temprana de la magnetita, d) Los - estudios geofísicos sugieren que bajo los cinturones volcánicos debe existir una gran cantidad de material gabroico, o sea el material complementario de las lavas andesíticas.

Los hechos que se oponen a esta hipótesis son: a) Que las andesitas y no los basaltos son las rocas mas voluminosas de la serie, b) Las andesitas y las dacitas no aparecen como productos diferenciados de magmas Alcalinos ni magmas basálticos Telefíticos, ya que los - magmas de esta naturaleza están enriquecidos en FeO. Habría que hacer análisis químicos de rocas frescas (no alteradas) para verificar esto. En general, el -

magma se puede decir que es calco-alkalino.

2.- Fusión parcial del manto peridotítico en condiciones hidratadas.

Dentro del esquema de tectónica de placas, en la zona de subducción, los minerales hidratados de la placa - litósfera subducente van pasando progresivamente a minerales anhídridos. Debido al aumento de temperatura, el agua que se origina emigra a las zonas superiores en donde la temperatura es más elevada que dentro de la placa que subduce, y produce la fusión parcial del manto peridotítico y los líquidos originados son de - composición andesítica.

La fusión parcial en condiciones anhídridas de la - lherzolita con espinela origina líquidos de composición Toleítica (a presiones inferiores de 15 Kb) y - Alcalina (a presiones superiores a 20 Kb), así como líquidos de composición andesítica en condiciones hidratadas; los tres magmas-tipo más importantes pueden originarse a partir de idéntico material bajo distintas condiciones. Esta hipótesis simplifica el problema de origen de las series Alcalina, Toleítica y Calco-Alcalina, además explica la abundancia de andesitas en zonas de margen continental.

D.- Geología de la hoja Tepic.

Esta zona está constituida en su totalidad por rocas volcánicas e intrusivas, las primeras fueron emplazadas durante varios eventos efusivos que se remontan a la base del Mioceno, deducido esto por el dato obtenido del análisis radiométrico de la toba andesítica. Estos eventos cubrieron una paleogeografía Cretácica preexistente; se continúan hasta el Pleistoceno o Reciente. Los dos primeros eventos son de composición Calco-Alcalina, el siguiente evento de tipo Alcalino, desde el Mioceno Superior hasta el Cuaternario (Ordaz, R. 1978). Una última manifestación de composición Cálcica a Potásica, cubre a todas las rocas anteriores.

1.- Andesita y Toba Andesítica (Ta, Tta)

Se distribuye principalmente al NE del área cartografiada presentándose en forma de ventanas, principalmente en la porción media y superior de las sierras, así como en los cauces de los arroyos. Existen afloramientos de la toba a los lados de la terracería hacia Jesús Ma. Cortés en la porción central del área, y uno de andesita al W de la terracería, 5 Km después de Atonalisco.

Andesita.- Es considerada como la roca aflorante más antigua, en su mayoría es de textura porfídica dando la apariencia de ser zonas de conductos expulsores. La roca es de color gris, masiva, con exfoliación concéntrica, porfídica con fenocristales de plagioclasa evedrales o subedra

les de 3 o 4 mm de largo; el tamaño de los cristales decrece a los extremos de los afloramientos. Se presenta cloritizada; se le infiere una edad Mioceno Inferior, por considerarse contemporánea a la toba andesítica, se desconoce su espesor.

Toba Andesítica.- Se muestra claramente en el C. El Uncidero, en la porción central del área, se caracteriza por tener rasgos topográficos diferentes a los que la rodean.

La roca es de color gris violáceo oscuro a verde gris, masiva, con fenocristales de plagioclasa eudrales o subeudrales de 1 mm aproximadamente, alineados en forma burda, dan la impresión de bandas o capas; se presenta ligeramente cloritizada y hematitizada. Está cubierta directamente por los basaltos occidentales, por la unidad dacita-latita y por la toba vítrea San Fernando.

No se conoce su espesor, se considera contemporánea a la andesita; su edad es de 22.4 M.A.  $\pm$  3.5 (base del Mioceno).

## 2.- Dacita-Latita (Td-1)

Con el nombre de dacita se agrupa, en este trabajo, a las tobas y derrames de tipo dacítico, la latita está únicamente representada por derrames. Se muestra como irregular de dirección E-W al norte del área y una franja también irregular de orientación NW-SE en la porción centro-norte del área; al extremo SE y SW presenta remanentes de poca extensión. Conformando comúnmente montañas en bloques, en -

etapa de juventud, con rasgos abruptos cortados por arroyos en forma de V y afectadas por los sistemas de fracturamiento de orientación NW-SE y NE-SW. El origen de la unidad es tanto pasivo como explosivo. Son posteriores a las andesitas y tobas andesíticas, son cubiertas por la riolita, por los basaltos occidentales y centro-sur al NW, SW y E del área; por la toba vítrea San Fernando en la porción norte-centro del área.

Cuando se trata de derrame presenta textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y máficos en una matriz afanítica; cuando es toba contiene piroclastos de composición intermedia a ácida de bordes subredondeados a subangulosos, y de tamaño y porcentajes que varían de menos de 1 cm hasta 5 y 10 cm y de  $\pm 3\%$  hasta 30-40% respectivamente; la alteración más frecuente es la cloritización, está silicificada cuando se asocia a grandes fracturas que permiten el emplazamiento de sílice por soluciones ascendentes. Su estructura es masiva o pseudoestratificada debido a la liberación de esfuerzos compresionales y por la acumulación de los piroclastos en la base de los cuerpos tobáceos. El espesor no fue determinado por no encontrarse una sección adecuada para este fin.

Latita.- Roca de color rosado, masiva bandeada; es porfirítica con fenocristales de feldespato subedrales de  $\pm 1$  mm. Se le observan laminillas irregulares de biotita y hornblenda, contenidas en una matriz afanítica. El bandea

miento que presenta se debe a la acumulación selectiva - por densidad de los minerales. El espesor no fue medido por no presentarse en corte ideal, se observó que se adelgaza hacia la parte Este del área.

### 3.- Riolita (Tr)

Presenta una extensión reducida, aflora al Este de Francisco I. Madero (EX Hacienda de Puga) conforma un domo, también aflora al Este de la presa El Bañadero formando lomeríos suaves.

Es de color gris pardo claro, intermperiza a color amarillo ocre claro, presenta estructura fluidal, con fenocristales de cuarzo de 1 a 3 mm subredrales en matriz afanítica con incipiente argilitización. Su origen es extrusivo, tiene espesor de varias decenas de metros.

Su edad es de 11.6 M.A.  $\pm$  0.7 (cima del Mioceno y base del Plioceno), está cubierta por los basaltos occidentales y los centro-sur y por la toba vítrea San Fernando.

### 4.- Basaltos (T - Qb)

Para el área que comprende la hoja Tepic, se tienen tres grupos de basaltos que son, de el más antiguo al más joven.

- i) Basaltos Occidentales
- ii) Basaltos Centrales
- iii) Basaltos Centro-Sur

i) Basaltos Occidentales.- Afloran al W del área, comprenden los derrames que constituyen La Caldera y los que originan una serie de sierras alargadas ligeramente paralelas, al W de La Caldera; tienen relieve abrupto y cimas ligeramente subredondeadas. La roca es de color gris oscuro con tintes rojizos, que intemperiza a un gris pálido, con vesículas de 1 mm hasta  $\pm$  15 mm presenta textura afanítica con 20% aproximadamente de cristales de plagioclasa subedrales de  $\pm$  .5 mm , además, presenta hematita. Su origen es extrusivo con centro común para los basaltos de La Caldera, y de fisura para los localizados al W de la misma.

Cubren a la unidad dacita-latita del extremo SW del área y están a su vez cubiertos por la latita Santa Rosa, la toba vítrea San Fernandó y pumicita Tepic. Su edad es de 11.2 M.A.  $\pm$  0.8, o sea la cima del Mioceno y base del Plioceno; su espesor no fue medido.

ii) Basaltos Centrales.- Denominados así por estar prácticamente en el centro del área cartografiada. Existen pocos afloramientos de esta unidad en las partes bajas de las sierras. Conforman cerros de pendiente moderada, suaves y redondeadas, cubiertos por talud en sus partes bajas. La roca es de color gris oscuro que intemperiza a color verde claro con tintes blanquecinos y a color ocre; es vesicular con textura afanítica y se presenta ligeramente cloritizada.

Se encuentra cubriendo al complejo volcánico no diferenciado y a la toba andesítica, y a su vez está cubierto por la toba vítrea San Fernando.

Su edad es de 8.7 M.A.  $\pm$  0.7, que corresponde a la base del Plioceno. Su espesor no fue medido.

iii) Basaltos Centro-Sur.- Se distribuyen en la porción centro-Sur del área, aflorando en las partes superiores como crestones, también en los cauces de los arroyos. Están representados por el volcán Navajas y dos mesetas volcánicas localizadas al W y al NE de este aparato.

El volcán ofrece rasgos abruptos y está cortado por corrientes en etapa de juventud; las mesetas muestran algunos lomeríos suaves y ondulados y prácticamente no están disectadas por los arroyos. La roca es de color gris oscuro, con intemperismo que se manifiesta en un color gris-café; es masiva, ligeramente vesicular, porfirítica con fenocristales de plagioclasa en matriz afanítica, presenta hematita que le imprime tintes rojizos. Se le considera dentro del evento efusivo del volcán Las Navajas, la meseta localizada al W se supone que pertenece a alguna de las emisiones del volcán Sangangüey, por lo que se piensa que fue emplazada en varios eventos efusivos. Cubren a la riolita, a la unidad dacita-latita, esto por relación estratigráfica; bordea a los basaltos centrales, son cubiertos por la toba vítrea San Fernando.

Su edad es de 1.1 M.A.  $\pm$  0.3 que corresponde a la cima -

del Plioceno. Su espesor se considera de varias decenas de metros.

5.- Breccia Volcánica Andesítica (Qbrv)

Se distribuye en la porción sur del área en forma local, la roca es de composición andesítica con tendencia basáltica; es de color verde grisácea, con fenocristales de plagioclasa y máficos en matriz de grano fino con aspecto arenoso, contiene fragmentos de roca subangulosos. Es de origen explosivo, cubre a los basaltos del sur y es a su vez cubierta por la toba vítrea San Fernando.

Se le asigna al Cuaternario por su relación de campo, además porque se presenta poco disectada y poco alterada. Su espesor se desconoce.

6.- Latita Amigdaloidal Santa Rosa. (Qlsr)

Se distribuye en la zona centro-norte del área, con dirección NNW-SSE. Se observan afloramientos en las cimas topográficas y en los cauces de los arroyos. Es una roca de color gris violáceo oscuro, con intemperismo manifestado en un color marrón con aspecto sacaroides; las vesículas son de 5 mm y algunas hasta 2 cm, alargadas; las amígdalas son de calcita, zeolitas y calcedonia. La textura es porfírica con fenocristales de plagioclasa en matriz afanítica; se presenta devitrificada y argilitizada. Su origen es extrusivo, cubre a los basaltos occidentales y a la unidad dacita-latita, es cubierta por la toba vítrea San Fernando.

Se le considera como parte del evento Cuaternario post-basáltico, su espesor no fue medido.

7.- Pumicita Tepic (Qpt)

Se distribuye en la esquina SW del área, cubre cimas topográficas, valles y depresiones antiguos dando lugar a relieve suave y ondulado. Es de color blanquecino a crema a causa de la devitrificación a que está expuesta, presenta estructura vesicular y es afanítica con escasos máficos. El espesor varía de 1 a varios metros, en algunos afloramientos se observan hasta 15 m (V. Carranza). Su origen es piroclástico. Cubre directamente a la unidad dacita-latita y a los basaltos occidentales, y es cubierta por aluvión y suelo residual. Es correlacionable con la toba vítrea San Fernando por ser ambas producto ácido del vulcanismo Cuaternario.

8.- Toba Vítrea San Fernando (Qvsf)

Se distribuye ampliamente en la región central del área, formando una franja de dirección NW-SE. Se observa en las cimas topográficas de relieve suave dando lugar a lomeríos y llanuras. La roca es un vidrio volcánico ácido que se presenta como toba, es de color verde oscuro que intemperiza a verde pálido con tonos claros, presenta fenocristales de feldespato y fragmentos de roca de composición variable según las unidades que cubre, la matriz es vítrea de aspecto masivo, se presenta devitrificada y ligeramen-

te argilitizada,

Su espesor promedio es de 1.5 m; es de origen explosivo, depositado sobre topografía preexistente.

Cubre a la toba andesítica, a la unidad dacita-latita, a la riolita, a las diferentes emisiones basálticas, a la breccia volcánica andesítica y a la latita Santa Rosa; es cubierta por suelo residual. Se correlaciona con la pumita Tepic, debido a su composición ácida.

E.- Geología de El Sordo y Aguamilpa

1.- Andesita. (Tata)

Representa la parte basal de los eventos ígneos reconocidos, su abundancia es relativa, se le dividió en andesitas, andesitas porfídicas y pórfidos andesíticos, apoyándose esta subdivisión en la relación de los fenocristales con la matriz.

Las andesitas (S.S.) son escasas y en general se les puede considerar como andesitas porfídicas, ya que exhiben buen desarrollo de los fenocristales.

Las andesitas porfídicas son las más abundantes, poseen una textura porfídica, sus minerales esenciales son oligoclasa y andesina; los accesorios predominantes son augita y magnetita. La alteración predominante es la cloritización y hematitización en menor grado.

Los pórfidos andesíticos, en general, son escasos, mostrando la misma composición que las andesitas porfídicas; se distinguen por su mayor número de fenocristales de plagioclasa intermedia, su alteración por orden de abundancia es: cloritización, sericitización y silicificación.

La sericitización se toma como la asociación de cuarzo-sericita-pirita y en menor proporción turmalina, clorita y magnetita.

La silicificación se considera en este trabajo como la -  
compuesta por cuarzo secundario y la devitrificación.

Las andesitas en general son masivas y fracturadas; sus  
colores de intemperismo varían de gris verdoso al rojo -  
violáceo.

#### Distribución.

Los mejores alforamientos se observan en la parte media y  
superior de los cerros de la margen izquierda del río Gran  
de de Santiago, al E-NE del poblado de Las Blancas y en el  
cerro de Picachos, estimado como foco de emisión de los -  
derrames, existe además en la margen derecha del mismo río,  
como una pequeña ventana de erosión.

En el área de Aguamilpa no aflora, encontrándose únicamen-  
te hacia las partes altas, en dirección del cerro de Pica  
chos fuera del área cartografiada.

#### Relaciones Estratigráficas.

Se asigna como la roca más antigua expuesta en la región  
de estudio, su contacto inferior no fue observado; su con-  
tacto superior es concordante con la toba andesítica, y -  
discordante con la dacita o ignimbrita cuando se presenta  
ésta.

#### Edad.

Por creerse contemporánea con la toba andesítica, se le -

asigna como edad la base del Mioceno. Se desconoce su espesor.

## 2.- Toba Andesítica. (Tata)

Son rocas de color rojo oscuro, masivas, fracturadas y alteradas (cloritizada y hematitizada); presentan textura piroclástica, amigdaloidal, los minerales esenciales son plagioclasas intermedias y fragmentos de roca (andesitas), como accesorios tiene magnetita y como secundarios se observan calcita, clorita, epidota y hematita.

### Distribución.

Se le agrupó dentro de la andesita, sus afloramientos son escasos y siempre se encuentra acompañada por la andesita.

### Relaciones Estratigráficas.

Su contacto inferior es concordante con las andesitas, ya que se cree dentro del mismo evento efusivo; su contacto superior es discordante con las dacitas o ignimbritas.

### Edad.

Por determinaciones radiométricas su edad es de  $22.4 \pm 3.5$  M.A. (base del Mioceno).

## 3.- Dacita (Td)

Dacita porfídica.- Se les considera a aquellas muestras en que los fenocristales constituyen entre el 5 y 25% del total de la roca.

La textura es porfídica, algunas veces en matriz vítrea en proceso de devitrificación o totalmente devitrificada al grado de ser esferulítica.

Los minerales esenciales son, en orden de abundancia, plagioclasa intermedia, cuarzo y feldespato potásico menor de 10%; los accesorios están constituidos por apatito, zircón y magnetita, los minerales secundarios están representados por las asociaciones cuarzo-siricita y minerales arcillosos-sericita.

Las alteraciones dominantes son: cloritización, argilitización y silicificación en orden de abundancia.

Pórfido dacítico.- Son escasos y se piensa que constituyen una variación textural de la dacita porfídica; para su nomenclatura se consideró que más del 25% de fenocristales en la muestra eran argumento suficiente para clasificarlas como tales. La mineralogía es prácticamente la misma que la de las dacitas porfídicas, excepto que éstas conservan un poco mejor la original de la roca. En general las rocas son de color gris claro, verde claro y crema rosado; son masivas y compactas.

#### Distribución.

Aflora en el área de El Sordo, en la margen derecha del río Grande de Santiago, desde el nivel de éste hasta la cima del cerro, así como en la desembocadura del arroyo -

## El Sordo.

En la margen izquierda los mejores afloramientos están - sobre la terracería de acceso, entre los arroyos El Marañón y La Mina; se observa también cerca del arroyo La Cañoa y se presentan algunas ventanas y remanentes hacia - la parte Este de la zona de El Sordo.

### Relaciones Estratigráficas.

Se encuentra cubriendo a la andesita y/o toba andesítica, puede estar o no subyaciendo a las ignimbritas; ambos con tactos son discordantes.

### Edad.

Por determinación radiométrica se le da una edad de  $19.4 \pm 0.9$  M.A. (Mioceno). Su espesor no fue medido.

### 4.- Riodacita (Td)

Son escasas, se les ha clasificado así por su mayor contenido de feldespatos potásicos, en relación a la plagioclasa; sólo se presentan aisladamente y por eso se les ha incluido dentro de la unidad Td. El accesorio principal es la magnetita y los secundarios el cuarzo y la epidota.

La alteración predominante es la silicificación. Se le considera dentro del mismo evento efusivo que dió lugar a la dacita, por lo tanto presenta las mismas relaciones estra-

tigráficas y la misma edad.

#### 5.- Ignimbritas (Tigd)

##### Características Generales.

La naturaleza piroclástica de las tobas, es reconocible en el campo debido a los fragmentos pumicíticos, ceniza, polvo volcánico y fragmentos de roca ajena; estos rasgos se oscurecen sólo cuando se alcanzan las etapas avanzadas de soldadura y devitrificación.

El único criterio válido para el reconocimiento de las ignimbritas en el campo, parece ser la presencia de fragmentos pumicíticos, estos fragmentos ocurren en casi todas las ignimbritas y comunmente persisten en alguna forma a través de condiciones extremas de soldadura y mineralización por soluciones ascendentes, y son generalmente oscurecidos sólo cuando devitrificación extrema sigue a soldadura extrema.

El éxito en el uso de fragmentos pumicíticos, como criterio para reconocer el carácter piroclástico de una toba compacta, depende de la familiaridad con la extrema variedad de apariencias de fragmentos pumicíticos, bajo diferentes condiciones de compactación, devitrificación y crystalización por soluciones ascendentes.

En algunas localidades, todas las variaciones de textura de una ignimbrita pueden ser observadas en un solo afloramiento.

Casi todos los elementos lenticulares en una toba soldada (no metamorfoseada) que son observables en un ejemplar de mano, probablemente son o fueron fragmentos pumicíticos. La excepción de esto son las pocas tobas compactas que han desarrollado Lito physos.

La mayoría de Lito physos, son casi esféricas, pero algunas pueden estar aplanadas y en un corte transversal parecer lenticulares.

Grado de clasificación.- El material dominante es comunemente ceniza (menor de 4 mm), pero algunos tipos están constituidos de lapilli o bloques de diferente tamaño y para este caso, el término de "Derrame Pumicítico" es el más apropiado. Los fragmentos de roca incluidos en la ignimbrita, varían de microscópicos a bloques muy grandes, los más comunes son de 2 cm o menores y se presentan en cantidades menores a 5%, aunque se pueden observar hasta en un 20%. El espesor varía de acuerdo a la cantidad de material eyectado y a la topografía sobre la cual se depositó; sobre superficies suaves tienden a dispersarse lateralmente, formando unidades delgadas, si es confinado a cañones fluiría más lejos de la fuente de origen; y si es depositada sobre una cuenca topográfica, presentará un gran espesor. En general el espesor varía de 15 a 60 m.

Estratificación.- Una unidad puede tener varios grados de consolidación, algunas partes están inconsolidadas, otras

ligera o completamente soldadas; muchas de estas zonas - presentan diferentes colores o diferentes matices de un mismo color, siendo comunes los matices pardo y gris. - Estos rasgos dan una aparente estratificación a muchas de las ignimbritas, consistente en el endurecimiento sobre su superficie, debido sin duda a la liberación de sílice de la ceniza y a su redepositación como ópalo o calcedonia; ésto provoca la erosión diferencial que incrementa el efecto de estratificación.

Otro factor importante es el cambio de la zona soldada (dura) a la no soldada, la zona dura forma paredes que contrastan con la zona "blanda", y pueden ser interpretados como eyecciones separadas; estas zonas comunmente presentan diferente mineralogía, color, textura, patrón de juntas y patrón erosivo; sólo un examen cuidadoso revela que se trata de una transición y no de un contacto.

Extensión superficial.- Las grandes extensiones de depósito ignimbrítico como los de la Sierra Madre Occidental, Nueva Zelandia, Sumatra, Asia Menor, etc., cubren millares de km<sup>2</sup>; y están constituidos de muchos flujos de diferentes centros y diferentes erupciones. La uniformidad de - estas extensiones tobáceas, es un importante criterio para su reconocimiento, esta uniformidad no es común encontrara ni en tobas eólicas (ash fall) o rocas fluídas ácidas, y raramente se encuentran en rocas fluídas de tipo inter-

medio.

Buzamiento.- Las ignimbritas normales, no muestran buzamiento primario abrupto como muchos derrames lávicos; tienen tendencia a presentar su superficie muy uniforme y ángulos bajos de buzamiento, excepto donde la deformación - ha modificado su posición original.

Soldamiento.- El límite entre material consolidado y no consolidado es siempre una zona transicional de carácter indeterminado, el punto donde empieza el endurecimiento incipiente es indeterminado, aún cuando la zona de transición sea de escasos metros de espesor.

El carácter más directo de campo que marca el cambio de material soldado a no soldado, es el cambio de apariencia de los fragmentos pumicfíticos; la pumicita vítrea fresca, normalmente es de color blanco o gris, variando a tonalidades pardo, dependiendo de su composición; la pumicita - se oscurece con el endurecimiento hasta que en zonas fuertemente compactas es negra; esto es, que el aplanamiento de los fragmentos pumicfíticos y otros constituyentes debido a la carga por compactación, provoca una estructura folliada (Eutaxtítica) a la mayoría de las tobas consolidadas.

El aplanamiento de los fragmentos pumicfíticos, da como resultado una dimensión vertical de 10 a 60 veces más pequeño que sus otras dos dimensiones; esta estructura puede - ser confundida con las líneas de flúidos de un derrame -

lávico.

Los productos de devitrificación, son predominantemente cristobalita y feldespatos, ambos de grano muy fino para ser reconocido en el campo. Por otro lado, los principales productos de cristalización de la fase de vapor son: tridimita, feldespatos alcalinos y cristobalita; cuando es estos minerales son encontrados en rocas piroclásticas, es un excelente indicativo que las rocas fueron de origen ignimbrítico.

Unidades.- Secciones de unidades tobáceas ignimbríticas que están soldadas hacia la base, comúnmente tiene una zona basal vítrea, graduando hacia la cima a una zona densamente consolidada que está devitrificada, y después a una zona menos soldada que está devitrificada y que contiene minerales de la fase de vapor.

Secciones de unidades que tienen una base no soldada, gradúan hacia arriba a una zona densamente compacta que a su vez gradúa a una zona no soldada. Se pueden tener 2 zonas de fase de vapor, presentan normalmente más delgada la zona inferior.

De acuerdo a las características antes mencionadas, se ha agrupado dentro del cuerpo ignimbrítico a las tobas que se presentan en el área de estudio (riodacíticas, líticas y dacíticas), además de las ignimbríticas (S.S.)

Se considera que las tobas representan la parte basal y superior del derrame ignimbrítico, ya que en todos los levantamientos no se encontró un cuerpo basal vítreo.

La transición entre la parte soldada y no soldada se observó a grandes rasgos, ya que fue prácticamente imposible delimitarla por no contar con un afloramiento continuo que presentara esta zona.

Son las rocas más abundantes en la región, constituyendo la única roca extrusiva en el trayecto hacia la alternativa Aguamilpa y en el área de la misma; en general son masivas, duras, compactas y/o pseudoestratificadas, el color es gris verdoso que varía a rojizo claro. Su textura es piclástica o piroclástica eutaxítica, los fragmentos de roca predominante son de andesita y en menor proporción de dacita. Los minerales observables a simple vista son feldespatos y cuarzo, cuando la roca se encuentra muy silicificada o muy soldada, la textura es enmascarada, confundiéndose con un derrame lávico; lo mismo sucede cuando la textura eutaxítica es muy fina.

Los minerales observables al microscopio son cuarzo, plagioclasas sódicas y feldespato potásico, los accesorios - biotita y magnetita; y los secundarios sericita, epidota, clorita y cuarzo.

Las alteraciones principales son la silicificación, serici

tización y cloritización en orden de abundancia.

#### Relaciones Estratigráficas.

Se encuentran cubriendo en forma parcial a la dacita o andesita y toba andesítica, ambos contactos en forma discordante; es cubierta por aluvión, talud o suelo residual cuando éste se presenta.

#### Edad.

Por determinación radiométrica se le asigna una edad de  $18.7 \pm 1.1$  M.A. (Mioceno).

#### 6.- Rocas Plutónicas (Tinm)

Son rocas masivas, compactas, de grano fino a medio; el color es gris verdoso, la textura es holocristalina equigranular, hipidiomórfica.

Los minerales esenciales son plagioclasa sódica, cuarzo y feldespatos alcalinos; los accesorios son hornblenda, clino piroxenos cloritizados, magnetita, pirita y apatita, los secundarios son clorita, sericita y hematita.

Varían de composición desde una monzodiorita cuarcífera (arroyo El Carrizal) hasta una adamelita (arroyo Los Bueyes).

#### Distribución.

Se presentan aflorando en los arroyos Los Bueyes, El Carri

zal y El Sordo.

Relaciones Estratigráficas.

Intrusionan a toda la columna antes descrita; y son algunas veces cubiertos por suelo, talud o aluvi6n.

Edad.

La determinaci6n radiom6trica efectuada a la monzodiorita, di6 como resultado una edad de  $18.3 \pm 1.4$  M.A. (Mioceno). Los otros dos cuerpos intrusivos se consideran contempor6neos a 6ste y relacionados a la misma fuente de origen.

#### 7.- Rocas Hipabisales

Est6n representados por abundantes diques de composici6n monz6nica y diab6sica, que intrusionan a toda la columna.

##### a) Diques monz6nicos.

Son abundantes en el 6rea de Aguamilpa, desapareciendo casi totalmente en el 6rea de El Sordo, salvo afloramientos cercanos al arroyo El Carrizal, tienen espesores m6ximos de 10 m; en promedio son de 3 m. Son de color ocre claro y muy resistentes a la erosi6n, como lo muestra el dique que se encuentra en la m6rgen derecha del r6o en el 6rea de Aguamilpa, y las paredes que forman 6stos, debido a la erosi6n diferencial.

##### b) Diques diab6sicos

Son de color verde oscuro a negro, con espesor promedio -

de 1 m, aunque en el área de El Sordo existe uno cuyo afloramiento es del orden de 30 m.

Su contenido mineralógico está caracterizado por plagioclasa de composición básica (labradorita y bitownita), - como accesorios piroxenos, magnetita y pirita; dentro de los minerales secundarios se presenta la clorita, calcita y hematita.

Se presentan invariablemente en las dos zonas de alternativas, la mayoría de ellos son "ciegos" que quedan al descubierto por el corte hecho para el camino, de ahí que se observe mayor densidad de éstos en la margen izquierda del río Grande de Santiago.

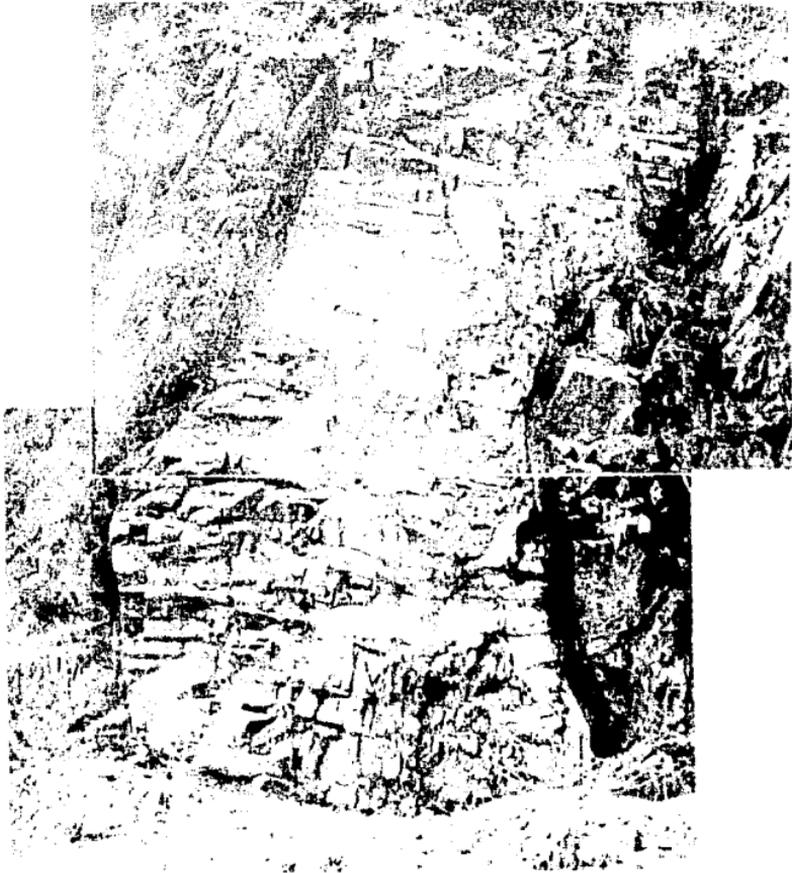
Se les considera posteriores a los diques monzoníticos - porque se encuentran cortando a éstos.

#### 8.- Aluvión y Depósitos Cuaternarios

Aluvión.- Consiste de depósitos compuestos de grava y arena provenientes de todas las rocas aflorantes, predominando los de composición ácida.

Se presenta sobre las orillas y el lecho del río Grande de Santiago, en el área de El Sordo se le asigna un espesor sobre el lecho del río de 15 m aproximadamente. En la zona de Aguamilpa el máximo espesor es de 26.45 m (encontrado por métodos directos).

Depósitos Cuaternarios.- Son los constituídos por suelo residual y talud. Se encuentran formados por fragmentos de ignimbritas y rocas intermedias en una matriz arenosa; algunos de estos fragmentos han sufrido transporte ya que presentan cierta redondez.



Dique monzonítico flanqueado por diques de diabasa



Vista aguas abajo del estrechamiento El Sordo



Vista aguas abajo del estrechamiento Aquamlipa

F.- Geología Estructural.

La región estudiada está afectada por un intenso fracturamiento; presentándose dos sistemas de fracturas predominantes. El primer sistema considerado también el más antiguo tiene una orientación N 30°- 40°W con buzamiento al NE.

Este fracturamiento gobierna los principales arroyos intermitentes que descargan su caudal sobre el río Santiago, dichos arroyos son: La Canoa, Los Bueyes, El Carrizal, El Sordo y otros de menor importancia.

El segundo sistema de fracturamiento interseca al primero, gobierna gran parte del curso del río; su orientación es N 5° - 35°y buzamiento al SE.



bilidad como realizadas en material sin alterar.

Las pruebas que se hicieron en Aguamilpa, en su mayoría - fueron del tipo Lugeon, (los resultados se presentan en - este capítulo). Las gráficas obtenidas, por razones de - espacio no se presentan en su totalidad. Se selecciona - ron algunas que se consideraron representativas, por últio se hace un análisis de la permeabilidad en todos los sondeos efectuados.

El conocimiento del coeficiente de permeabilidad para rocas compactas fracturadas, facilita la evaluación de los gastos de infiltración, en el momento de estudio, de los flujos subterráneos. Para que estas medidas sean correctas, no se debe permitir que la perforación modifique las condiciones naturales de flujo en el subsuelo, para tal efecto se evita perforar con lodos que obturen las pequeñas fisuras; o sea que la perforación con agua limpia es indispensable para las pruebas de permeabilidad. Además se debe realizar con máquina rotaria, ya que con las máquinas de percusión, el trépano rellena las fisuras con los cortes finos. El tramo de prueba tendrá una longitud de 5 m cuando más, y de preferencia su parte inferior deberá ser el fondo de la perforación; la parte superior se cerrará por medio de empaques. Estos empaques deberán - ser del tipo que mejor se ajuste a las paredes del pozo.

La permeabilidad obtenida se expresa en unidades Lugeon,

que es la absorción de un litro de agua por minuto por metro, bajo una presión de 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>. Se hacen varias observaciones durante 10 minutos por lo menos para cada una, con presión ascendente y descendente. La presión efectiva se expresa mediante la igualdad:

$$P = P_1 + P_2 - P_f$$

Donde:

P = Presión efectiva

P<sub>1</sub> = Presión manométrica

P<sub>2</sub> = Presión ejercida por la columna de agua arriba del tramo de prueba hasta el manómetro. Cuando está afectada por el nivel freático es necesario restar P<sub>n</sub> (Profundidad igual a la longitud entre el nivel freático y el empaque) utilizándose P<sub>2</sub> - P<sub>n</sub> para este valor.

P<sub>f</sub> = Pérdidas de carga por fricción en las tuberías (se tomó en cuenta para gastos mayores de 65 Lit/min) se expresa mediante la igualdad: P<sub>f</sub> = P<sub>2</sub> X pérdida de fricción.

En la práctica se han obtenido diferentes rangos de valores en unidades Lugeon que indican la permeabilidad, dichos rangos son:

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 0 a 3.0 U.L.     | Zona impermeable    |
| 3.0 a 11.0 U.L.  | Zona poco permeable |
| 11.0 a 25.0 U.L. | Zona permeable      |

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| 25.0 a 40.0 U.L. | Zona muy permeable       |
| 40.0 en adelante | Zona altamente permeable |

Las presiones a que se hace la prueba son, en pruebas ascendentes los valores de 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>, en las pruebas descendentes de 7.5, 5.0 y 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Para pruebas de profundidad mayor a 20 m se suprime la de 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Para 45 m de profundidad en adelante, se suprime la de 2.5 y 5.0 Kg/cm<sup>2</sup>. A 70 m de profundidad únicamente se hará la de 10 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que al calcular P<sub>1</sub>, o sea la altura que corresponde a la presión manométrica, ésta resulta muy pequeña para estos valores (H. Escalante, A. 1967).

Resultado de las Exploraciones (tomado de Gómez, S.J. 1975)

Margen Derecha:

Exp. XI(V).- Se probó a partir de 5 m. de esta profundidad a 10.0 m la roca es muy permeable, con 29.2 U.L., de 10.0 a 15.0 m se considera poco permeable con 4.4 U.L. en todas las demás pruebas se tiene prácticamente 0.0 U.L. hasta los 150 m. Únicamente en dos pruebas se obtuvieron 0.6 U.L. lo que indica que la zona es impermeable.

Exp. XII (V).- Se ensayó con pruebas Lugeon a partir de 13.40 m. en el tramo de 4.0 m a 13.40 m se utilizaron pruebas Lefranc, el resultado de estas pruebas sugieren roca impermeable; de los 13.40 m a 18.0 se utilizó prueba Lugeon, dando como resultado roca poco permeable con 3.4 U.L. De 18.0

m a 148.0 m. hasta donde llega el barreno, la roca es impermeable con 1.0 U.L. como máximo.

Exp. XIII (V).- Todos los tramos ensayados por el método - Lefranc y Lugeon fueron impermeables, con valores máximos de 1.8 U.L. para dichas pruebas (Lugeon); se hicieron 26 - ensayos Lugeon en este barreno.

Exp. XIV (V).- Las fracturas de la roca obligaron a efectuar pruebas Lefranc hasta los 25.0 m, obteniéndose los siguientes resultados:

|           |                |
|-----------|----------------|
| 5 a 10 m  | Impermeable    |
| 10 a 15 m | poco permeable |
| 15 a 20 m | poco permeable |
| 20 a 25 m | permeable      |

De los 25.0 m a los 100.0 m se realizaron pruebas Lugeon, - resultando que la roca es impermeable, con valores máximos de 2.8 U.L. Dos tramos dieron valores mayores, de 40.0 a - 45.0 m con 5.6 U.L. (poco permeable) y de 75.6 a 80.0 m con 9.6 U.L. (poco permeable).

Exp. XV (V).- Se hicieron pruebas Lefranc de 0.0 m a los - 15.0 m con los siguientes resultados:

|               |                |
|---------------|----------------|
| 0.0 a 5.0 m   | Poco permeable |
| 5.0 a 10.0 m  | Impermeable    |
| 10.0 a 15.0 m | Impermeable    |

De los 15.0 a 20.0 m no se pudo probar al no poder empacar se el tramo, las pruebas Lugeon se efectuaron de los 20.0 m a los 80.0 m que es la profundidad perforada. De 20.0 m a 25.0 m se registraron 68.4 U.L. lo que indica una zona altamente permeable, de 25.0 a 30.0 m se obtuvo 34.0 U.L. que corresponde a una zona muy permeable, y de 30.0 m a 35.0 m se tienen 23.2 U.L. que indica una zona permeable; en ninguna de estas pruebas se llegó a aplicar la presión máxima de 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>. Se tiene un tramo impermeable de 35.0 a 50.0 m con 0.0 U.L., de 50.0 a 80.0 m se tienen tramos poco permeables, salvo el intervalo de 65.0 a 70.0 m en donde debido al fracturamiento se tiene una zona altamente permeable.

Exp. XVI (V).- Por medio del método Lefranc se probó de 0.0 a 25.0 m el intervalo de 15.0 a 20.0 m no se probó; los resultados son los siguientes:

|               |                     |
|---------------|---------------------|
| 0.0 a 5.0 m   | Zona poco permeable |
| 5.0 a 10.0 m  | Zona impermeable    |
| 10.0 a 15.0 m | Zona impermeable    |
| 20.0 a 25.0 m | Zona poco permeable |

Mediante pruebas Lugeon se registró de 25.0 a 30.0 m. un tra

mo permeable con 18.4 U.L. al aplicar  $6.6 \text{ Kg/cm}^2$ . De 35.0 a 100.0 m los resultados fueron favorables, con dos tramos poco permeables; de 60.0 a 65.0 m con 3.6 U.L. y de 65.0 a 70.0 m con 5.2 U.L., el resto presenta intervalo de 0.0 U.L. a 1.2 U.L.

Exp. XVII (V).- Se utilizaron pruebas Lefranc para el intervalo de 10.0 a 20.0 m el cual se consideró poco permeable. De 20.0 a 25.0 m se tiene una zona permeable con 15.6 U.L. De los 25.0 a los 100.0 m se considera impermeable, con excepción de los tramos de 55.0 a 65.0 m que no se probó, de 70.0 a 75.0 m se tuvo 5.6 U.L. (poco permeable) y de 85.0 a 90.0 m con 3.6 U.L. (poco permeable). La zona impermeable tiene cuantificaciones de 0.0 a 2.0 U.L.

#### Margen Izquierda.

Exp. I (V).- No se probaron los tramos de 0.0 a 8.0 m y de 33.0 a 38.0 m; los demás tramos resultaron impermeables, con valores de 0.0 a 1.6 U.L., casi en todas las pruebas se logró aplicar los  $10.0 \text{ Kg/cm}^2$  de presión máxima especificada.

Exp. II (V).- En las 19 pruebas Luqcon que se practicaron - en esta exploración, se tienen resultados favorables, con valores de 0.0 a 2.8 U.L. habiéndose aplicado en todas ellas la presión de  $10.0 \text{ Kg/cm}^2$ . Excepto en el tramo de 5.0 a 10.0 m donde se aplicó prueba Lefranc, resultando un tramo impermeable.

Exp. III (V).- De 0.0 a 5.0 m se efectuó prueba Lefranc, - dando como resultado un tramo impermeable; de 5.0 a 10.0 m el valor fue de 5 U.L. (poco permeable). En el resto de las pruebas Lugeon se obtuvieron valores de 0.0 U.L. (permeabilidad nula), se quedó sin probar el tramo de 20.0 a - 25.0 m, ya que no se pudo empacar.

Exp. IV (V).- Los tramos de 0.0 a 5.0 m y de 5.0 a 10.0 m se probaron con el método Lefranc, dieron como resultado - roca impermeable; el tramo de 10.0 a 15.0 m resultó con 3.6 U.L. (poco permeable). El resto de las pruebas resultaron positivas, con variaciones de 0.0 a 1.6 U.L. .

Exp. V (V).- El tramo de 0.0 a 5.0 m se probó por el método Lefranc, y resultó impermeable. El intervalo de 5.0 a 10.0 m fue el de más alta permeabilidad (4.4 U.L. poco permeable). Los tramos restantes (10.0 a 150.0 m) resultaron impermeables, con variaciones de 0.0 a 2.5 U.L.

#### Cauce del Río.

Exp. VI (i) A 30°.- En el tramo de 6.5 a 10.0 m únicamente se pudo llegar a la presión de  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$ , por extrapolación en la gráfica se tuvieron 31.4 U.L. teniéndose un tramo muy permeable. En el tramo de 10.0 a 15.0 m se tienen - 23.0 U.L. hasta la presión de  $3.6 \text{ Kg/cm}^2$  (presión crítica), al incrementar la presión se tienen 75.0 U.L. De los 15.0 a los 20.0 m se tienen dos permeabilidades, una de 26.0 U.L.

a la presión  $4.0 \text{ Kg/cm}^2$ , y otra de  $40.0 \text{ U.L.}$  al incrementar la presión. La prueba practicada en el tramo de  $20.0$  a  $25.0 \text{ m}$  indica una zona altamente permeable, con  $165.0 \text{ U.L.}$  solamente se le aplicó  $1.0 \text{ Kg/cm}^2$  de presión. Las pruebas de  $25.0$  a  $30.0 \text{ m}$  y de  $30.0$  a  $35.0 \text{ m}$  resultaron con valores de  $11.4$  y  $8.0 \text{ U.L.}$  respectivamente, lo que indica una zona poco permeable. En todas las demás pruebas, los resultados fueron favorables con valores de  $0.0$  a  $1.8 \text{ U.L.}$  hasta la profundidad de  $110 \text{ m}$ . En casi todas las pruebas se logró aplicar  $10 \text{ Kg/cm}^2$  de presión.

Exp. VII (V).- No se probó el tramo de  $0.0$  a  $17.0 \text{ m}$ , los demás se consideran impermeables, salvo los intervalos de  $46.60$  a  $47.0 \text{ m}$  y de  $75.0$  a  $80.0 \text{ m}$  con valores de  $4.0$  y  $3.6 \text{ U.L.}$  respectivamente. En las demás pruebas los valores variaron entre  $0.0$  y  $2.2 \text{ U.L.}$

Exp. VIII (V).- Esta exploración se comenzó a probar a partir de los  $30.0 \text{ m}$ , de ésta profundidad hasta su terminación ( $150.10 \text{ m}$ ) resultó impermeable, con valores máximos de  $2.0 \text{ U.L.}$  aplicándose, a la mayoría de tramos, la presión de  $10.0 \text{ Kg/cm}^2$ .

Exp. IX (V).- De  $0.0$  a  $17.0 \text{ m}$  no se probó, de esta profundidad hasta los  $117.0 \text{ m}$  la roca es impermeable, el máximo valor fue de  $1.2 \text{ U.L.}$  De  $117.0$  a  $122.0 \text{ m}$  fue permeable con  $14.8 \text{ U.L.}$  De esta profundidad hasta los  $149.0 \text{ m}$  la roca es impermeable.

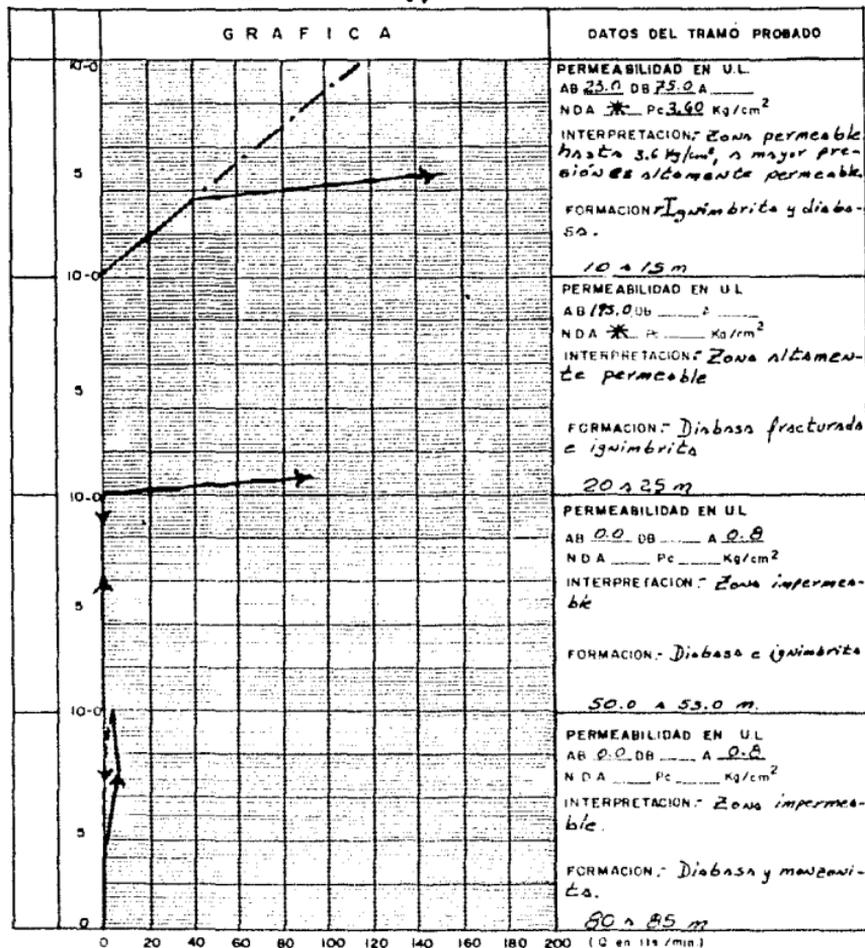
Exp. X (i) a 30°.- Los resultados de 0.0 a 30.0 m son desfavorables, el tramo de 5 a 10 m es permeable con 17.2 U.L. Los tramos de 10.0 a 15.0 m de 15.0 a 20.0 m y de 20.0 a 25.0 m tuvieron destaponamientos a la presión de 5.0 Kg/cm<sup>2</sup>, a presiones más altas se comportaron como zonas permeables y altamente permeables, con valores de 100.0 U.L., 20.0 U.L. y 40.0 U.L. respectivamente. De 30.0 a 149.0 m, los tramos se presentaron impermeables con valores de 0.0 a 1.6 U.L. - habiéndose aplicado en todos ellos la presión de 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Exp. XIX (V).- En todas las pruebas aplicadas (25) la permeabilidad varió de 0.0 a 1.6 U.L. (impermeable). Las pruebas se aplicaron de los 25.0 a los 150.0 m que fue la profundidad del barreno.

En total se realizaron 417 pruebas del tipo Lugeon, de todas ellas la mayor parte arrojó resultados favorables. Solamente 27 de ellas definen tramos poco permeables y 18 indicen tramos desde permeables hasta altamente permeables. Debido a que las rocas presentes en esta área deben su permeabilidad a fracturas, fallas o a sus contactos, se deduce que éstos deben encontrarse en su mayoría cerrados o sellados, ya que soportaron en casi todos los casos presiones altas.

### GRAFICA DE PRUEBAS LUGEOON

EDO. Y MPIO. TEPIC, NAY. BOQUILLA "AGUAMILPA" ELEVACION \_\_\_\_\_  
 OBRA \_\_\_\_\_ POZO N. V(1)30° CADENAMIENTO 0+298



#### SIGNOS CONVENCIONALES

- |   |  |
|---|--|
| AB — CUANTIFICACION POR EXTRAPOLACION ANTES DEL BRONQUEAMIENTO    | — — — — — TRAZO DE PRESIONES ASCENDENTES       |
| DB — CUANTIFICACION POR EXTRAPOLACION DESPUES DEL BRONQUEAMIENTO  | — — — — — TRAZO DE PRESIONES DESCENDENTES      |
| A — CUANTIFICACION ANALITICA (P > 10.0 Kg/cm <sup>2</sup> )       | — — — — — RECTA DE EXTRAPOLACION               |
| ND — NO DETERMINADA ANALITICAMENTE (P > 10.0 Kg/cm <sup>2</sup> ) | * — — — — — INDICA CUANDO LA GRAFICA ES N.D.A. |
| Pc — PRESION CRITICA  |  |

### Sistemas de Drenaje

Los arroyos intermitentes y perennes que descargan su caudal en el río Grande de Santiago, presentan dos sistemas principales de drenaje; el primero es rectangular, es el principal ya que la zona está regida por un fracturamiento predominante NW-SE, que se refleja en los arroyos. El otro es el dendrítico de pendiente fuerte, es escaso y cuando se presenta lo hace en las partes altas.

Cabe mencionar, que una gran mayoría de los arroyos siguen su cauce sobre diques de composición básica, de aquí su drenaje rectangular antes mencionado.

Los sistemas antes mencionados se presentan indistintamente en todas las unidades, por lo que no se puede marcar un patrón para cada unidad.

Por lo que respecta al tipo de drenaje, se puede decir que los presentes en el área son de tipo consecuente, ya que siguen la pendiente original del terreno.

.- CONCLUSIONES

- 1.- Las rocas presentes en el área de El Sordo y Aguamilpa, son representativas de la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental.
- 2.- El magma que dió lugar a las tres unidades presentes, - fue de composición Calco-Alcalina.
- 3.- La roca más antigua aflorante es la andesita.
- 4.- El miembro inferior de la colada ignimbrítica es tobáceo.
- 5.- La zona de El Sordo y Aguamilpa se encuentra afectada por un gran cuerpo intrusivo, que se manifiesta por sus - apófisis aflorantes.
- 6.- Los sistemas principales de fracturamiento son:

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| N 30°- 40° W | con buzamiento al NE |
| N 5°- 35° E  | con buzamiento al SE |
- 7.- La mayoría de las fracturas presentes, se presentan - cerradas en superficie y subsuelo.
- 8.- El río Grande de Santiago y los arroyos que a él llegan, están regidos en su curso por el fracturamiento.

- 9.- La densidad de diques es mayor en el área de Aguamilpa que en el área de El Sordo.
- 10.- El espesor de la capa de intemperismo es mayor en Aguamilpa que en El Sordo.
- 11.- La alteración más abundante es la silicificación.
- 12.- En términos generales, el sitio El Sordo se encuentra en mejores condiciones geológicas que Aguamilpa para la construcción de la obra.

#### RECOMENDACIONES.

- 1.- Hacer sondeos en el área de El Sordo con muestreo continuo para conocer el comportamiento de las rocas en el subsuelo (contactos, litología, fracturamiento, etc.).
- 2.- Efectuar pruebas de permeabilidad en cada uno de los barrenos, conforme se vaya perforando.
- 3.- Practicar pruebas de mecánica de rocas en ambas zonas de alternativas.
- 4.- Realizar obras directas (socavones) en El Sordo, en aquellos lugares en donde se piensa construir la obra civil; especialmente sobre la margen izquierda, ya que existe una zona argilitizada que es necesario delimitar.

5.- Localizar y ubicar de manera precisa bancos de materiales, así como realizar las correspondientes pruebas de mecánica de suelos.

6.- Estudiar el estrechamiento (El Colorín) que se encuentra entre Aguamilpa y El Sordo, con el fin de saber si se encuentra en mejores condiciones que los anteriores.

7.- Hacer reconocimientos geológicos en la zona que comprenderá el vaso de la presa, con el fin de detectar posibles deslizamientos.

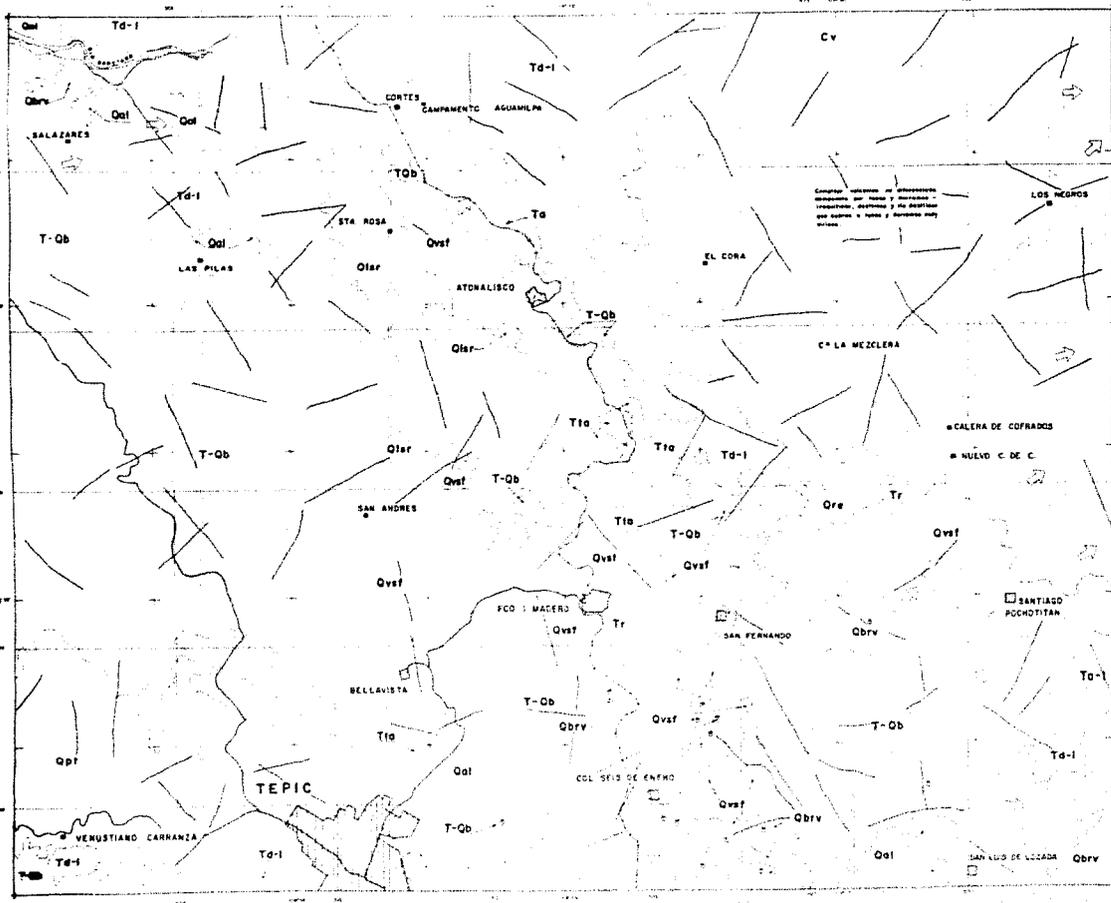
8.- Llevar a efecto estudios socioeconómicos de la región que se va a afectar con la construcción de la obra civil.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar Nogales M. (1974).- Estudio geológico y prospección minera de la porción sur del Estado de Nayarit.  
Tesis Profesional I.P.N.
- Araña V. y López J. (1974).-Volcanismo. Ediciones istmo. Madrid
- Atwater T. (1970).- Implications of Plate Tectonic for the Cenozoic Tectonic evolution of Western North-America: Geol. Soc. Am. Bull, 81, p. 3513 -3536.
- Billings Marland P. (1972).-Geología Estructural. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Bolaños F. y Barrera G (1975).- Informe geológico final de la Boquilla Aguamiipa, sobre el río Santiago, Mpio. de Tepic, Edo. de Nayarit, 141 pags., 35 planos, 225 gráficas y tablas. Inédito, informe -privado, S.R.H.
- Bonneau, M. (1972).- Données Nouvelles sur les séries crétaces de la Cote Pacifique du Mexique: Bull. Soc. Geol. Fr., (7) XIV, P. 55-64.
- De Cserna, 2 (1976).- México - Geotectonics and Mineral Deposits. Reprinted from: New Mexico Geological Society, Special Publication 6 (Kelley volume), p. 18-25.
- Demant A. (1975).- Caracteres químicos principales del vulcanismo terciario y cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental pacífico de México: Revista -Inst. Geol. UNAM, 75 (1), P. 19-69.
- Demant A., Mauvois R. y Silva L. (1976).- El Eje Neovolcánico transmexicano, 19 pags. III Congreso Latinoamericano de Geología, Excursión 4. México.
- Escalante A. Horacio (1976) Instrucciones generales sobre operaciones de campo de pruebas de permeabilidad, tipo Lugeon. S.R.H. Dirección de Geología, inédito.

- Gastil R.C., Phillips R.P., The reconstitution of Mesozoic California: Intern. Geol. Cong., 24th, Montreal p. 217-229.
- Gastil R.C., Krummenacher D., Doupont J., Bushee J., Jensky W., Barthelmy D. (1976).- La zona Batolítica del Sur de California y el Occidente de México, Bol. Soc. Geol. Mex. XXXVII, p.p. 84-90.
- Gómez Sosa J.E. (1975).- Estudio geológico para el proyecto de presa "Aguamilpa" sobre el río Santiago, Mpio. de Tepic, Edo. de Nayarit. UNAM. Tesis Profesional.
- Gómez Valle R., Puente I., Díaz C. (1961).- Informe geológico de la visita a La Boquilla de Aguamilpa Nay. 5 pags., un plano. Inédito, informe privado, C.F.E., México.
- Gómez Valle R. y González S.A. (1962).- Aguamilpa 2 y Boquilla de Aguamilpa, 24 pags., 7 mapas. Inédito, informe privado C.F.E., México.
- Gómez Valle R. y González S.A. (1962).- Exploración geológica de las Boquillas, Los Cajones 1, 2 y 3; San Pedro Analdo, Tecomán y Aguamilpa sobre el Río Santiago, Nayarit, 31 pags., 7 planos. Inédito, informe privado, C.F.E., México.
- González S.A., Villarreal C.H. y Mooser H.F. (1964).- Informe geológico de La Boquilla, - Aguamilpa 3, 48 pags., 14 planos. Inédito, informe privado, C.F.E., México.
- Huang, Walter T. (1968).- Petrología. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana.
- Mac Dowell F. y Clabaugh S. (1972).- Edades potasio-argón de rocas volcánicas en la Sierra Madre Occidental, al Noreste de Mazatlán: II Convención Soc. Geol. Mex., p. 182-185.
- Mattauer M. (1976).- Las Deformaciones de los Materiales de la Corteza terrestre. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
- Ordaz, R. \*1968).- Estudio geológico y geotécnico para el proyecto de camino entre Aguascalientes, Aqs. y el Puerto de San Blas, Nay.- Tesis Profesional I.P.N. Inédito.

- Ortega G., González V.J. (1978). Estudio Hidro-Económico del proyecto de la Presa Aguamilpa, Nay.
- Palacios Nieto M. y González S.L. (1963).- Informe geológico de los trabajos ejecutados en el proyecto Aguamilpa, 6 págs., 19 planos. Inédito, informe privado, C.F.E., México.
- Pearl M.R. (1979).- Geología. CECSA.
- Raisz E., Humphrey W. (1956).- Mapa de Provincia Fisiográficas de la República Mexicana. Oficina Naval de Investigación, U.S.A. Massachusetts.
- Salas G.P. (1975).- Carta y Provincias Metalogenéticas de la República Mexicana; Consejo de Recursos Minerales, publicación 21E.
- Veytia Mario (1963).- Reconocimiento geológico general - del Río Santiago, 35 págs., 10 planos. Inédito, informe privado, C.F.E., México.
- Watkins N.D., Gunn B.M., Baksi A.K., York D., Ade Hall J. (1971).- Paleomagnetism, Geochemistry and Potassium-Argon Ages of the Río Grande de Santiago Volcanics, Central Mexico-Geological Society of America Bolletín, V. 82, p. 1955-1968, 7 figs., July 1971.



Completar información de observaciones  
obtenidas por fotos y fotografías  
aerofotogramétricas, así como de los detalles  
que sepan a fotos y fotografías más  
cerca.

SIMBOLOS CONVENCIONALES

- TOPOGRAFICOS**
- Contorno y pasaje
  - Conglomerado tipo via de FFCC
  - Canchales pavimentados
  - Trazamientos
  - Sierras y cerros

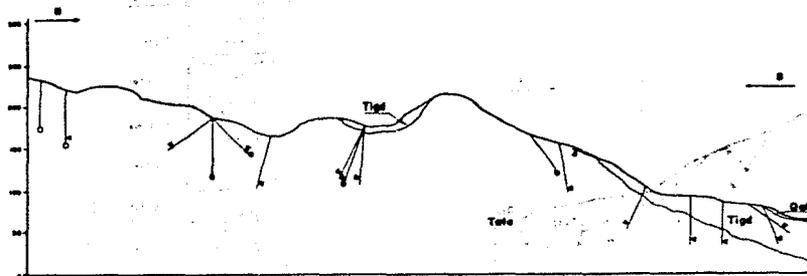
- GEOLOGICOS**
- Corriente superficial
  - Drenaje de tipo caso urbano
  - Fluviario

- ESTRATIGRAFIA**
- |                                |          |  |
|--------------------------------|----------|--|
| CUATERNARIO<br>TERCARIO<br>C v | Qal Qvsf | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Qbrv     | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | T-Qb     | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Tr       | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Td-1     | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Tia Tio  | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Cv       | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Ore      | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | Qvsf     | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |
|                                | T-Qb     | Aluviales recientes, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas, en<br>valles y en las laderas<br>de las montañas. |

HOJA TEPIC F-14, G-21. ESCALA: 1:50,000. INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL. DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS GEOLOGICOS. SERVICIO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS GEOLOGICOS. SERVICIO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS GEOLOGICOS.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| <b>IGN</b>                                   | FACULTAD DE INGENIERIA      |
|  | TECNOLOGIA PROFESIONAL      |
| <b>GEOLOGIA SUPERFICIAL DE LA HOJA TEPIC</b> |                             |
| ARTESTE                                      | JOSÉ ORAZCO RAMÍREZ CARRERA |
| 1978   |                             |



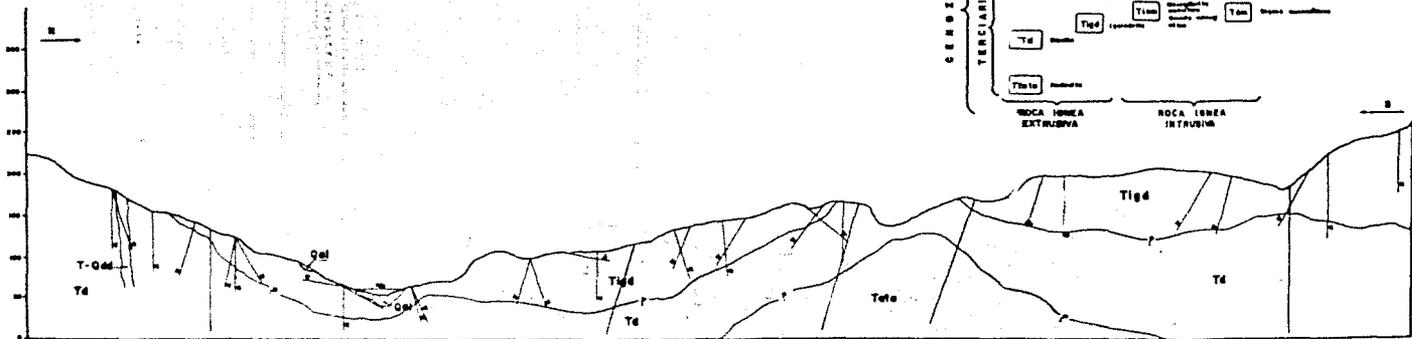
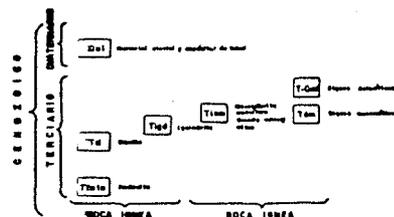


**SÍMBOLOS GEOLOGICOS**

- Dique (intrusivo)
- Fractura
- Fractura abierta
- Fractura cerrada
- Fractura saltada
- Fractura rollonado



**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**



2

|   |                           |
|---|---------------------------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b>              | REGIÓN DE INVESTIGACIONES |
|   | TESIS PROFESIONAL         |
| SECCIONES DE LA ALTERNATIVA<br>EL BORDO |                           |
| AGOSTO 1970                             | JOSÉ MANUEL GARCÍA GARCÍA |

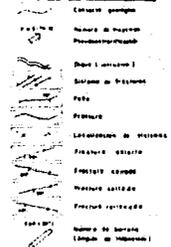


### SIMBOLOS

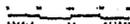
#### TOPOGRAFICOS



#### GEOLOGICOS

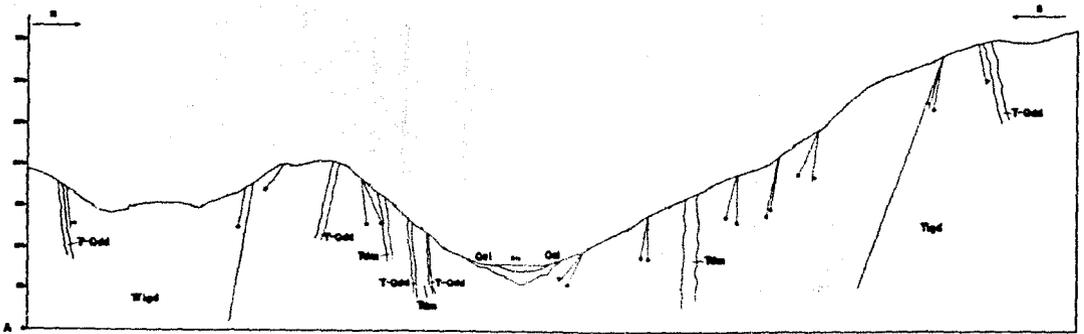
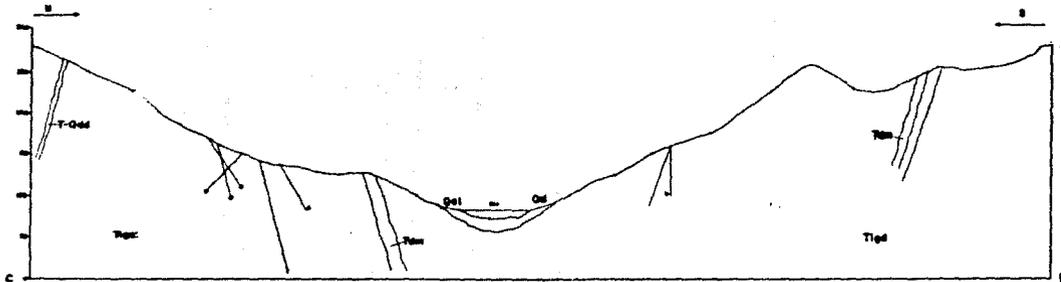


COLUMNA ESTRATIGRAFICA

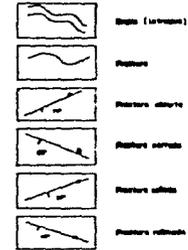


UN FACULTAD DE INGENIERIA  
AM Tesis Profesional  
GEOLOGIA DE DETALLE DE LAS  
ALTERNATIVAS AGUAMILPA

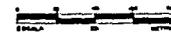
1979



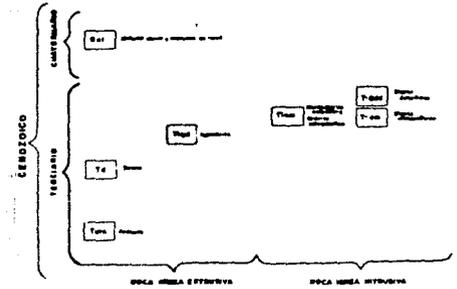
**SIMBOLOS GEOLOGICOS**



**ESCALA GRAFICA**



**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**



|                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>UNAM</b>                           | FACULTAD DE INGENIERIA         |
|                                       | Tesis Profesional              |
| SECCIONES DE LA ALTERNATIVA AGUAMILPA |                                |
| AGOSTO 1979                           | JORGE IGNACIO NAVARRO CANOELAS |