

01123
5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA GEOTECNICA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO
EL CAJON, NAYARIT.

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

Acompañado de un CD

DIRECTOR: ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO



MEXICO D.F. Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico el contenido de mi trabajo rec.

2003

NOMBRE: Margarita Oropeza Carreón

FECHA: 26 Marzo: 03

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



SECRETARÍA NACIONAL
DE EDUCACIÓN PÚBLICA
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-282

SRITA. MARGARITA OROPEZA CARREON
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Luis Arturo Tapia Crespo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

CARTA GEOTECNICA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON, NAYARIT

- I INTRODUCCION
 - II GENERALIDADES
 - III GEOLOGIA
 - IV GEOFISICA
 - V CARACTERIZACION GEOTECNICA
 - VI CARTA GEOTECNICA
 - VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA
ANEXOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

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

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 28 de febrero de 2002

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

P

B

A mis hijos **Sofía y Job**
Por ser la esencia de mi ser

A **César**
Por todo su apoyo, por lo que hemos vivido juntos, por tenerme un lugar reservado
en lo más infinito de su alma.

A mi **madre**, por todo su apoyo al final
de mi carrera, y por todo lo que me ha
dado dentro de sus posibilidades. Por
ser el ser mas humilde sin prejuicios
de ninguna índole.

A mis hermanos, para que continúen
luchando.
A Luisa, espero que te sirva de.....
verás que nunca es tarde.

A la **Familia López García**,
Por el apoyo y la disposición que
siempre han tenido conmigo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la **Comisión Federal de Electricidad**, en especial a la **Gerencia de Ingeniería Experimental y Control y al Departamento de Mecánica de Rocas**, por todo el apoyo proporcionado para la elaboración de esta tesis.

Un agradecimiento muy especial a mi asesor el **Ing. Luis Arturo Tapia Crespo**, por invitarme a realizar este tema de tesis.

Por todo ese apoyo que me brindó no como asesor, si no como ser humano, por que siempre estuvo dispuesto a ayudarme en todo.

También al **Ing. José Antonio Bahena González**, Jefe del Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones de la CFE, por permitirme la entrada a dichas instalaciones y recabar toda la información necesaria, para este trabajo.

Un sincero agradecimiento al **Ing. Valentín Castellanos Pedroza**, Jefe de oficina de Mecánica de Rocas de la CFE, por todo su apoyo y observaciones que permitieron enriquecer este trabajo, porque siempre tuvo un espacio para mí.

Gracias a los **sinodales** que asesoraron este trabajo.

Agradezco al **Ing. Martín Vidal**, Profesor de la Facultad de Ingeniería, por su gran ayuda en la revisión de las secciones geotécnicas, sus comentarios valiosos para mejorar este trabajo, su paciencia y tiempo que tuvo para mí. Gracias Martín

Al **Ing. Benjamín Márquez Castañeda**, por permitirme trabajar en su cubículo y por su disposición de ayudar en todo momento a los alumnos.

Por su valiosa ayuda técnica a **Luis Alberto Gallardo Carreto**, en la digitalización de mapas, porque ahí estuvo cuando tenía problemas con el manejo de los programas Autocad y Power Point, porque nunca me negó su ayuda. Gracias Carreto.

Por su amistad a **Ernesto Gómez Cruz** mi gran cuate de la Facultad, a **Irma Bárcenas García**, porque también cooperó al inicio de este trabajo aunque ya no pudo continuar, a **Alba Edith Argüello Cortés** mi gran amigueta, que siempre estuvo desde lejos dándome ánimos.

A todos **mis profesores** en especial al **Ing. Macías, Ing. Nieto, Ing. Vera, Ing. Arellano, Ing. Castrejón** e **Ing. Baldomero** gracias por todas sus enseñanzas.

A la **Facultad de Ingeniería** por mi formación profesional.

A mi alma mater, la **Universidad Nacional Autónoma de México**.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	
I.1 Objetivo del trabajo	1
I.2 Antecedentes	1
I.3 Colaboración	2
I.4 Método de trabajo	2
II. GENERALIDADES	
II.1 Localización	4
II.2 Vías de comunicación	4
II.3 Fisiografía	4
II.4 Geomorfología	5
II.5 Hidrología superficial y climatología	6
III. GEOLOGÍA	
III.1 Geología de semidetalle del área de estudio	12
III.2 Geología estructural	31
III.2.1 Marco tectónico regional	31
III.2.2 Geología estructural del área de estudio	37
IV. GEOFÍSICA	
IV.1 Zonificación geofísica del área de estudio	60
V. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	
V.1 Zonificación geotécnica del área de estudio	66
VI. CARTA GEOTÉCNICA	73
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO A. Plano Geológico del P.H. El Cajón Nayarit.	
ANEXO B. Secciones geotécnicas del P.H. El Cajón Nayarit.	
ANEXO C. Carta Geotécnica del P.H. El Cajón Nayarit	
Plano de Obras Civiles del P.H. El Cajón Nayarit	

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1.	Plano de localización	8
Figura II.2.	Vías de comunicación.....	9
Figura II.3.	Fisiografía.....	10
Figura II.4.	Región Hidrológica del Río Santiago.....	11
Figura III.1.	Columna estratigráfica.....	13
Figura III.2.	Marco tectónico regional.....	35
Figura III.3.	Marco tectónico de la región centro-occidental.....	36
Figura III.4.	Esquema estructural	39
Figura III.5.	Estereograma de fracturas Tic U1 margen izquierda.....	51
Figura III.6.	Estereograma de fracturas Tic U2 margen izquierda.....	52
Figura III.7.	Estereograma de fracturas Tic U3 margen izquierda.....	53
Figura III.8.	Estereograma de fracturas TVs margen izquierda.....	54
Figura III.9.	Estereograma de fracturas Tic U1 margen derecha.....	55
Figura III.10.	Estereograma de fracturas Tic U2 margen derecha.....	56
Figura III.11.	Estereograma de fracturas Tic U3 margen derecha.....	57
Figura III.12.	Pseudoestratificación Unidad Ignimbrítica.....	58
Figura III.13.	Pseudoestratificación Unidad volcano-sedimentaria.....	59
Tabla III.1.	Características de las fallas que afloran en el área de estudio.....	43
Tabla III.2.	Análisis del fracturamiento preferencial.....	49
Tabla IV.1.	Características de las unidades geofísicas.....	65

F

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**ANEXOS A, B, C CONTENIDOS EN DISCO
COMPACTO. TESIS MARGARITA OROPEZA
CARREÓN**

G

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón se localiza en la parte central del estado de Nayarit, a 70 Km aguas arriba de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa construida en 1994, en la intersección de las coordenadas geográficas 21° 25' 43" de Latitud Norte y 104° 27' 08" de Longitud Oeste.

Ha sido estudiado en forma interrumpida por la Comisión Federal de Electricidad desde 1961 hasta la fecha, como parte del aprovechamiento integral del río Santiago, para la generación de energía eléctrica.

La obra principal de este proyecto, consiste en una cortina de enrocamiento con cara o pantalla de concreto, con una altura de 186 m y con un volumen estimado de materiales de 10 400 000 m³

La geología del área esta constituida por rocas de edades que van del Mesozoico al Cenozoico.

El Mesozoico incluye intercalaciones de lavas y tobas andesíticas (Mmvs).

El Cenozoico está representado por andesitas, secuencia ignimbrítica (Tic U1, Tic U2 y Tic U3), la unidad volcano-sedimentaria (Tvs), toba cristalina (Tti), basalto (Tb), toba piroclástica (Tts), diques andesíticos (Tda) y depósitos de paleocauce (Tc).

El Cuaternario caracterizado por derrames basálticos (Qb), diques diabásicos (Qdd), depósitos lacustres-pumicíticos (Qlp), depósitos de talud (Qdt) y material aluvial (Qal).

Siendo la unidad más abundante la secuencia Ignimbrítica del Terciario (Tic).

La zona del proyecto se localiza dentro de la Provincia Geológica Sierra Madre Occidental, muy cerca de la provincia del Eje Neovolcánico, ambas de edad Cenozoica, origen volcánico y ambiente geotectónico de arco continental.

El área de estudio se encuentran afectada por fallamiento de tipo regional, así mismo se encuentra afectada principalmente por fallas de orientación NW-SE y bloques tectónicos N-S basculados hacia el E y W, formando así una alternancia de horsts y grabens, que permitió la definición de bloques y sub-bloques.

La mayoría de las fallas controlan la morfología generando cañadas, afectando la secuencia Ignimbrítica y a las rocas Volcano-Sedimentaria; en la margen izquierda se intersectan, mientras que en la margen derecha estas presentan cierto paralelismo, desde el eje de la cortina hacia aguas abajo, con buzamientos hacia el NE.

H

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBRAS CIVILES:

La cortina se desplantará en el cauce sobre la Unidad Ignimbrítica Tic U2 mientras que en las laderas sobre la Unidad Ignimbrítica Tic U3, en general la roca es de buena calidad.

Obras de desvió

La ataguía de aguas arriba, se ubica aproximadamente a 45 m del eje de la cortina; quedará alojada principalmente, en rocas ignimbríticas de la unidad Tic U2, la cuál se encuentra muy fracturada y alterada, siendo de calidad buena y poco permeable, aquí se encontró un espesor máximo de 10 m de aluvi6n.

La ataguía de aguas abajo, se localiza aproximadamente a 210 m del eje de la cortina, quedara alojada en rocas ignimbríticas de la unidad Tic U3, la cuál presenta intenso fracturamiento debido a la presencia de la falla IV, por lo que su calidad varía de mala a regular y es poco permeable.

Los túneles de desvió se excavarán en la unidad ignimbrítica Tic U2 y Tic U3 serán afectados por una zona de bloques formada por la presencia de las fallas 0, I, II, IIA, IIB, III y IV además de que cruzaran de forma perpendicular el rumbo de la pseudoestratificación. Del análisis realizado se considera que las unidades son de calidad regular a buena y altamente permeables, por lo que se esperan condiciones de inestabilidad.

En los portales de salida de los túneles las condiciones son más favorables ya que no se encuentran discontinuidades presentes, lo que indica que las condiciones son mas favorables, aquí la roca es de calidad buena y poco permeable.

La casa de máquinas, se desplantará sobre la Unidad Ignimbrítica Tic U3, la cuál en general es de calidad regular a buena, excepto en las partes en donde cruza la falla VI y la zona de diques, los cuáles presentan arcilla en sus contactos con la roca encajonante, por lo que la calidad disminuye.

La obra de toma, se excavará en la unidad Tic U3 de calidad buena poco permeable y moderadamente fracturada

Obra de excedencias, se excavará en la unidad ignimbrítica Tic U3, de calidad buena cuya pseudoestratificación en esta zona varía de mediana a delgada; su eje longitudinal cruzará en forma perpendicular la zona de diques.

Referente a la excavación del *plinto*, en la margen izquierda el espesor de roca alterada será de 15 a 25 m debido a la intersección de las fallas IIA y IIB, en donde tenemos una roca de muy mala calidad. Mientras que en la margen derecha la

calidad es muy mala en la zona donde cruza la falla VII, en el contacto entre la unidad Tic U2 y la Tic U3 estimándose un espesor de roca alterada de 20 a 25 m.

En base a las características litológicas y mecánicas que presenta el área del proyecto, se determinaron las unidades geotécnicas, las cuáles dieron como resultado la Carta Geotécnica del Proyecto Hidroeléctrico "El Cajón", Nayarit. **(Anexo C).**

Esta carta presenta resultados producto del análisis de información geológica, registro de sondeos directos, excavaciones subterráneas y registros geofísicos para complementar el trabajo de campo, permitiéndonos contar con información a detalle de las condiciones mecánicas que presenta el macizo rocoso en el área de estudio. Así mismo nos permite evaluar el riesgo geológico que pueda presentar la obra.

5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I. INTRODUCCIÓN

I.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de esta tesis consiste en realizar la Carta Geotécnica, del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón (P.H. El Cajón) cuya información sea la base para los trabajos de geología aplicada, y como complemento del estudio geotécnico.

El poder interrelacionar propiedades mecánicas y litológicas de la roca, nos dará información esencial que nos permitirán evaluar con mayor precisión el comportamiento del macizo rocoso, así mismo indicar el tratamiento adecuado, durante la etapa de construcción de cualquier obra de ingeniería civil, y también evaluar el riesgo geológico que pueda presentar la obra.

I.2 ANTECEDENTES.

El estudio del Río Santiago lo inició la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el año de 1961, como respuesta a la necesidad de incrementar la generación de energía eléctrica en el país.

En el año de 1962 a 1965 se realizaron excavaciones y perforaciones en las alternativas Paso de la Yesca, Plan de Barrancas, Cajones 1 y Aguamilpa, sin que se llegara a concluir algo sobre la factibilidad de construcción en cualquiera de los sitios mencionados.

En 1978 se reanudó la exploración del estrechamiento de Aguamilpa y en 1980 el estudio se extendió hasta la Presa de Santa Rosa, intensificándose la exploración en las boquillas La Múcura, La Yesca y Cajones, cuyos resultados están plasmados en el informe de Soto Gutiérrez et al. (1980).

En 1981, Barker et al., propusieron como más atractivos los sitios Cajones 1 y 2; el primero, ubicado en granitos a unos 13 Km aguas abajo del proyecto actual, se estudió mediante 4 socavones (2 en cada margen), 3 de ellos excavados en 1965, la longitud de las excavaciones no rebasó los 25 m sin cruzar la zona descomprimida razón por la cuál gran parte del granito presentó fuerte alteración.

En ese mismo año se decidió enfocar los estudios al sitio Cajones 2, localizado en ignimbritas, el cual corresponde al proyecto actual. Los estudios a nivel de

prefactibilidad se realizaron entre 1982-1984, y los de factibilidad se terminaron en 1986; en noviembre de 1993 se reiniciaron los estudios y en diciembre de 1994 se presentaron los avances en la Síntesis Geológica para la factibilidad y preconstrucción del Proyecto Hidroeléctrico "El Cajón", Nayarit. Informe SEZPN, CFE.

I.3 COLABORACIÓN.

Este trabajo pudo realizarse gracias a la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control y al Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones de la Comisión Federal de Electricidad, ya que esta institución proporcionó parte de la información relacionada con el P. H El Cajón.

I.4 MÉTODO DE TRABAJO.

El desarrollo de esta tesis consistió en lo siguiente:

Primeramente se investigó en diversas instituciones relacionadas con el área de geología, así como también en bibliotecas y vía internet acerca de lo que era una carta geotécnica y como debía elaborarse.

Pero la información fue muy somera, ya que en nuestro país este tipo de trabajos son puntuales y solo se hacen estudios de un área en particular y según el objetivo que se persiga.

Con la información recabada y analizada se realizó el trabajo, siendo necesario un banco de datos, mismo que proporcionó la Comisión Federal de Electricidad (CFE); en dicha institución se recopiló toda la información del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón Nayarit, posteriormente se realizó una visita de inspección durante 30 días al área de estudio, cuyo objetivo fue verificar la geología de la margen izquierda y de la margen derecha, también se recabaron datos estructurales para verificar la información ya existente.

Al tener el banco de datos y la información preliminar (sondeos directos, secciones geológicas-geofísicas, planos geológicos a diferentes escalas y datos geofísicos), se procedió a la interpretación y análisis de la misma.

Posteriormente se realizaron secciones geológicas escala 1:4000, donde después se transformaron utilizando propiedades mecánicas de las unidades litológicas en

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

secciones geotécnicas (**Anexo B**), para posteriormente elaborar la Carta Geotécnica del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón Nayarit, escala 1:4000 (**Anexo C**). Terminado el trabajo se obtuvieron las conclusiones, para que posteriormente se dieran las recomendaciones pertinentes.

II. GENERALIDADES

II.1 LOCALIZACIÓN

El sitio del P.H. El Cajón se ubica en el Municipio de Santa María del Oro, Nayarit, sobre el curso del Río Santiago, a 47 Km de distancia en línea recta al SE de la Ciudad de Tepic y a 17 Km en línea recta al NE del poblado de Santa María del Oro.

El proyecto se localiza en la intersección de las coordenadas geográficas $21^{\circ} 25' 43''$ de Latitud Norte y $104^{\circ} 27' 08''$ de Longitud Oeste. (*Figura II.1*)

II.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN

El acceso al P. H. El Cajón, a partir de la Ciudad de Tepic, se realiza por la carretera Federal No. 15, Tepic-Guadalajara, hasta el Km 32, o también por la nueva autopista en su tramo Tepic-Crucero de Santa María (Km 145), en cualquiera de ambos sitios se toma la desviación al poblado de Santa María del Oro y se continua hacia la laguna del mismo nombre, transitando 20 Km de camino pavimentado, continuando posteriormente por un camino de terracería de 13 Km hasta la ranchería El Buruato; a partir de aquí da inicio una brecha de 33 Km de longitud que conduce al campamento el Cajón, por lo cuál el recorrido desde la Ciudad de Tepic hasta el proyecto es de 98 Km. (*Figura II.2*).

II.3 FISIOGRAFÍA

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón se localiza en la porción sur de la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964) y cerca del límite con la Provincia del Eje Volcánico Transmexicano. (*Figura II.3*).

La Provincia de la Sierra Madre Occidental consiste en sierras escarpadas, cadenas montañosas alineadas con valles, cantiles, barrancas y cañadas con elevaciones que fluctúan entre 250 msnm en sus partes más profundas y 2300 msnm en las partes más altas, dentro de la Sub-provincia de Sierras de Piamonte, en vecindad

con la Meseta Neovolcánica, caracterizado por presentar grandes aparatos volcánicos del tipo estrato-volcán, rodeados por extensos derrames y coladas tipo basáltico-andesíticas y depósitos piroclásticos.

El Eje Volcánico Transmexicano se expresa hacia la porción occidental y está representada por depósitos piroclásticos y derrames de composición basáltica, que forman amplias mesetas. Las mayores expresiones topográficas corresponden a los volcanes Sangangüey y Tepetitlic, con elevaciones de 2340 y 2020 msnm respectivamente.

II.4 GEOMORFOLOGÍA

Morfológicamente se pueden diferenciar dos zonas en el área estudiada:

Las partes altas, comprendidas por encima de los 700 msnm, donde se agrupan los picos y cerros más elevados de formas volcánicas escarpadas, valles y cañones con perfiles en "V", producto de fuertes emisiones y en algunos sitios alcanzan alturas de 1200 m que comprenden una etapa juvenil madura.

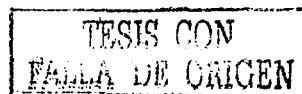
Las zonas medias y bajas que varían de la cota de 700 a 220 en las que se alternan mesetas y terrazas alargadas casi horizontales con laderas de pendientes fuertes, que en ocasiones, en las cercanías del cauce del río son abruptas entradas y salientes de origen estructural.

El área se caracteriza por sierras separadas de estrechos valles relativamente profundos, los cuáles están formadas por rocas piroclásticas de composición riodacítica intercaladas por coladas basálticas, debido a los procesos erosivos se ha producido un relieve accidentado con diferentes elevaciones.

Las formas del relieve incluyen rasgos de carácter endógeno y exógeno, debido a lo cuál la región se caracteriza por cerros de cimas redondeadas y laderas de fuertes pendientes, con algunas zonas escarpadas, las cuáles son interrumpidas por mesetas de rocas volcánicas más recientes. (*Fotografías 1 y 2*)

La zona está afectada por cuerpos intrusivos de composición diabásica y andesítica y fallamiento en bloques por lo que se le clasifica como montañas complejas (Lobeck, 1938).

Los patrones estructurales en combinación con los procesos erosivos propician profundos cañones y cauces en forma de V, el drenaje está bien integrado ya que los tributarios drenan hacia el colector principal, identificándose patrones de drenaje de tipo dendrítico, rectangular, sub-paralelo y radial.



II.5 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y CLIMATOLOGÍA

La cuenca del Río Santiago, forma parte del Sistema Lerma-Santiago, se localiza en la región hidrológica 12 (*Figura II.4*).

El río sigue la dirección de los lineamientos estructurales E-W y NW-SE, los que han conformado en su trayecto un régimen hidrológico rectangular y sus principales tributarios, en el tramo comprendido entre el Lago de Chapala y el área del proyecto, proceden de las sub-cuencas de los ríos Verde, Juchipila y Bolaños. Estos tributarios, desembocan en la margen derecha, y han cortado profundamente la topografía del terreno, originando con ello un sistema de drenaje subsecuente y rectangular, el cuál es considerado de características torrenciales, con grandes avenidas en época de lluvias.

El clima es de tipo cálido sub-húmedo, con temperatura media anual de 26° C y precipitación anual de 1 000 mm, según isotermas e isoyetas del INEGI (Carta de Hidrología superficial, 1981)

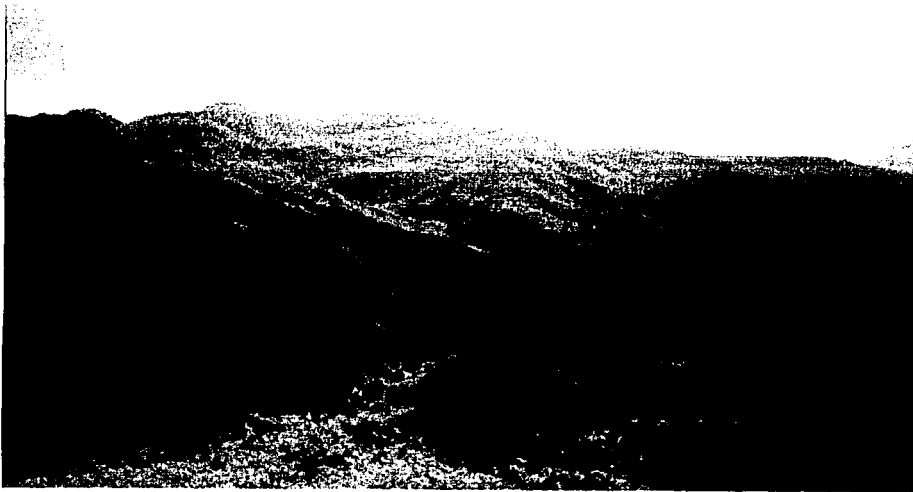
CLIMAS CÁLIDOS.

Cubren la totalidad de la planicie costera, así como algunos valles y cañones situados entre la zona montañosa. Se caracterizan por su temperatura media anual mayor de 22° C y su temperatura media mensual más baja superior a 18° C. Abarcan 61.18% de la superficie total de Nayarit, de acuerdo con su grado de humedad y su abundancia se presentan: cálido sub-húmedo con lluvias en verano, de mayor humedad; cálido sub-húmedo con lluvias en verano, de humedad media; cálido sub-húmedo con lluvias en verano, de menor humedad; y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano.

CLIMAS SEMICÁLIDOS.

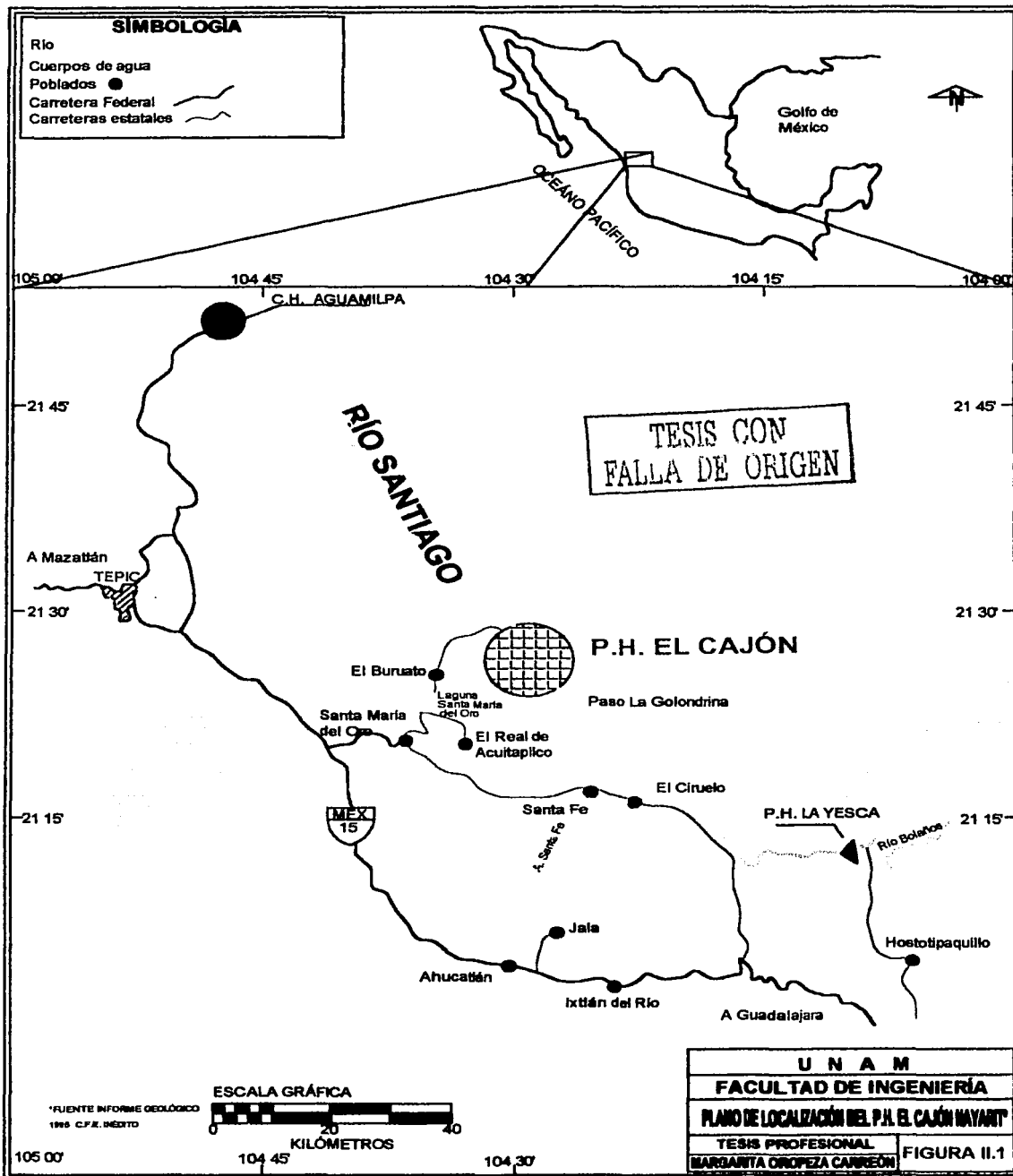
Estos climas comprenden 32.05% de la superficie total de Nayarit, se distribuyen en la mitad oriental del estado, en terrenos de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico cuya altitud varía entre 1 000 y 2 000 m. Son considerados climas de transición entre los cálidos y los templados. Con base en sus temperaturas medias anual y mensual más baja, unos pertenecen al grupo de los templados y otros al de los cálidos; por extensión en la entidad (31.05%) son más importantes los primeros, en éstos la temperatura media anual es superior a 18° C y la temperatura media del mes más frío fluctúa entre ese valor y -3° C; mientras que en los segundos, la primera característica varía entre 18° C y 22° C y la segunda siempre es mayor a 18° C. De acuerdo con su grado de humedad, se encuentran: semi-cálido sub-húmedo con lluvias en verano, de mayor humedad; semi-cálido sub-húmedo con lluvias en verano, de humedad media; y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

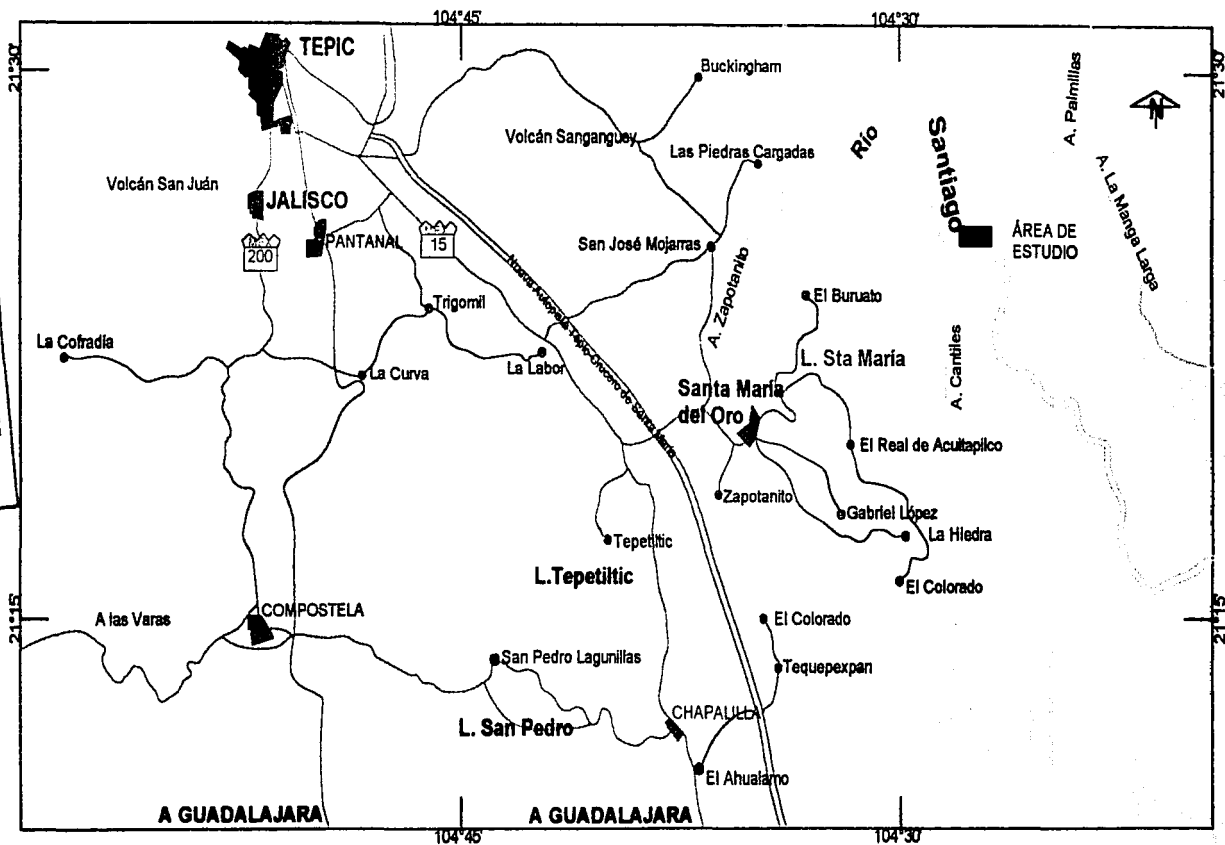


Fotografías 1 y 2. Se pueden observar laderas de fuertes pendientes




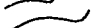



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FAMILIA DE ORIGEN



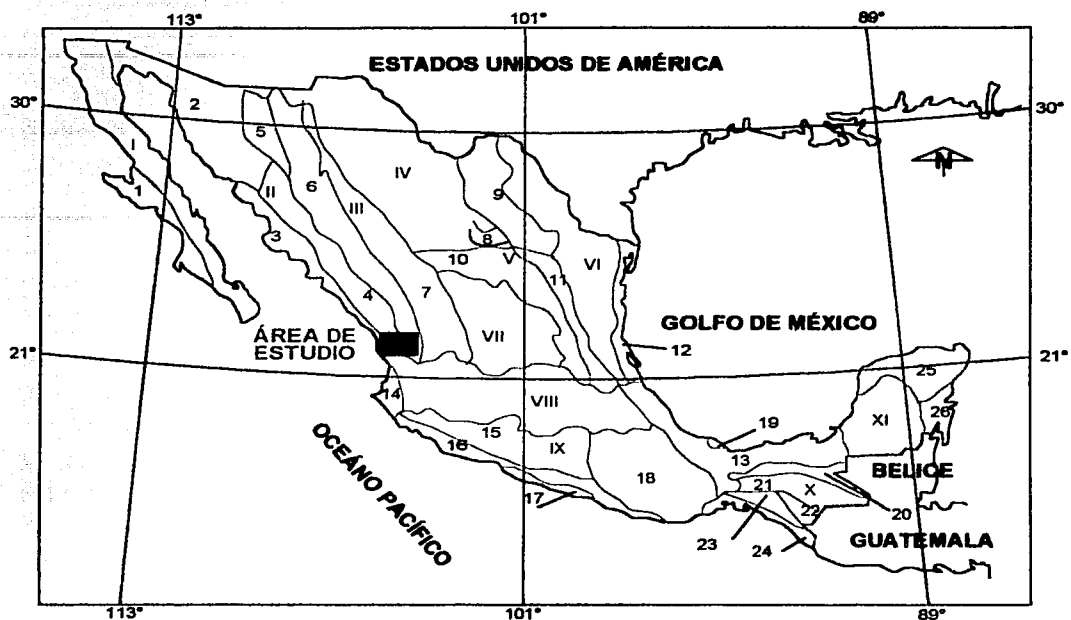
SÍMBOLOGÍA

- Río 
- Cuerpos de agua 
- Pobladore 
- Carretera Federal 
- Carreteras estatales 
- Terracerías 
- Brecha 



*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1995 C.F.E. INEDITO

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
VÍAS DE COMUNICACIÓN*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA II.2
MARGARITA OROPEZA CARRERÓN	



I BAJA CALIFORNIA

- 1 LLANOS DE LA MAGDALENA
- II SIERRAS SEPULTADAS**
- 2 DESIERTO DE SONORA
- 3 DELTAS DE LA COSTA DE SINALOA-NAYARIT
- 4 SERRANÍAS DE PIE DE MONTE
- III SIERRA MADRE OCCIDENTAL**
- 5 SIERRAS ALARGADAS
- 6 MESA DE LAVA (RIOLITA)
- 7 ALTOS CON CUENCAS

IV CUENCAS Y SIERRAS

- 8 ALTOS DE COAHUILA
- V SIERRA MADRE ORIENTAL**
- 9 SIERRA DEL NORTE
- 10 SIERRA TRANSVERSAL
- 11 SIERRA ALTA

VI COSTERA DEL GOLFO

- 12 COSTA BAJA
- 19 TUXTLAS

VII MESETA CENTRAL

----- LÍMITE DE PROVINCIA

----- LÍMITE DE SUBPROVINCIA

VIII EJE NEOVOLCÁNICO

- 13 VERTIENTES
- 14 ALTOS DEL NORTE

IX SIERRA MADRE DEL SUR

- 15 CUENCAS DEL BALSAS-MEZCALA
- 16 VERTIENTE DEL SUR
- 17 PLANICIE COSTERA
- 18 ALTOS DE OAXACA

X ALTOS DE CHIAPAS Y GUATEMALA

- 20 SIERRAS PLEGADAS
- 21 LOS ALTOS
- 22 DEPRESIÓN CENTRAL
- 23 SIERRAS DE CHIAPAS
- 24 PLANICIE COSTERA

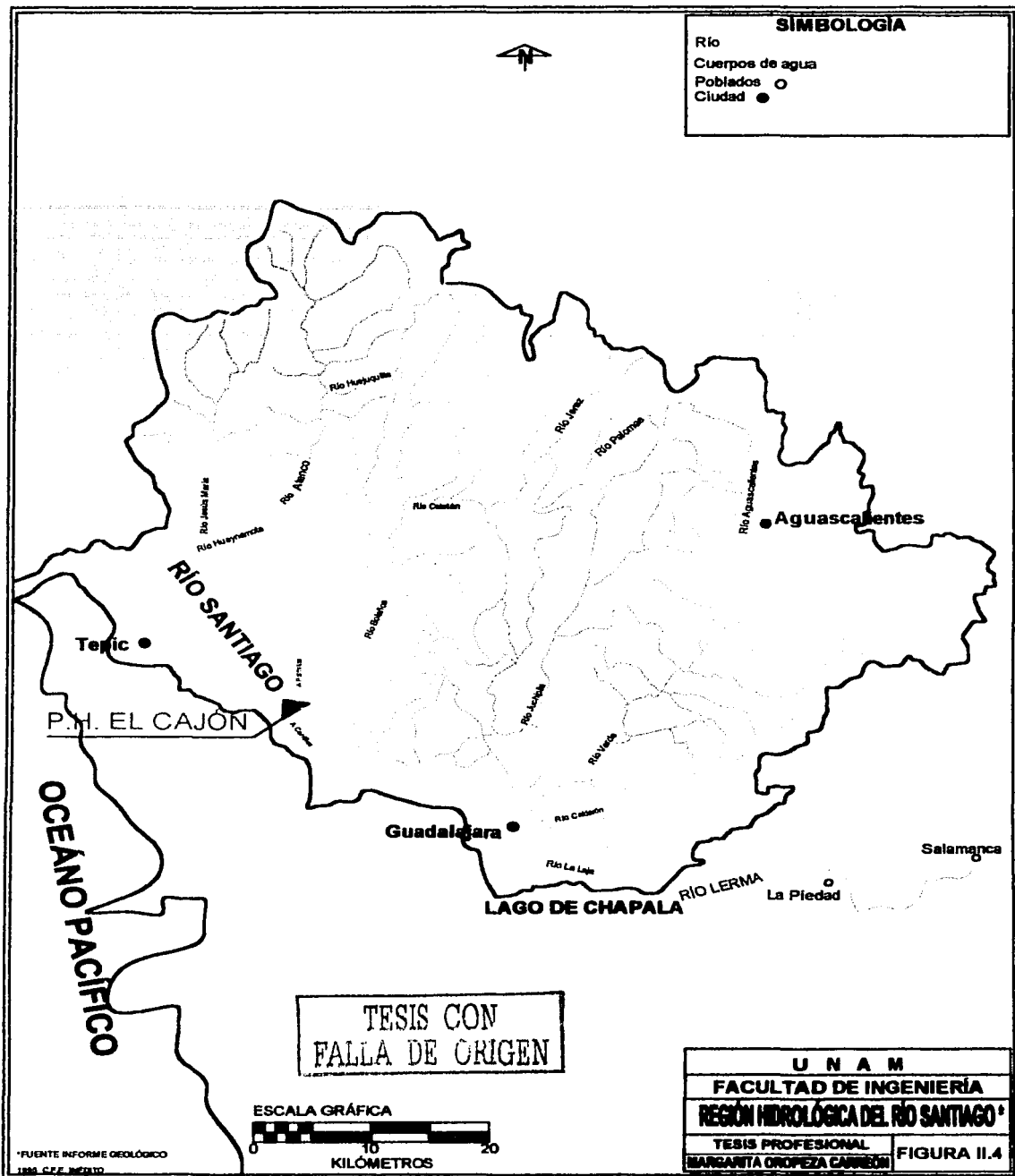
XI YUCATÁN

- 25 TIERRAS BAJAS CON KARST
- 26 COSTA BAJA

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
FISIOGRAFÍA*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA II.3
MARGARITA GROPEZA CARRERÓN	

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1988. C.F.E. INESTO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



*FUENTE INFORME GEOLÓGICO
IIMS C.F.E. MÉRITO

III. GEOLOGÍA

III.1. GEOLOGÍA DE SEMIDETALLE DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las unidades litológicas que afloran en el área en su mayoría son rocas que pertenecen al Terciario, tales como:

Ignimbritas, volcano-sedimentaria, tobas, depósitos lacustres-pumicíticos, basaltos, diques, depósitos de talud y aluvión. Plano Geológico* (**Anexo A**). La columna estratigráfica se determinó por sus relaciones de campo, análisis de petrografía, rayos "X" y por correlación con zonas aledañas estudiadas. (Proyectos Hidroeléctricos Cajones I, Aguamilpa y San Rafael Nayarit). (*Figura III.1*).

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA METAMORFOSEADA (Mmvs)

Roca de color gris verdoso claro con tonalidades rosadas, textura porfidoblástica, en una matriz de grano fino de feldespatos potásico y plagioclasas, estructura masiva, dureza alta.

Está formada por intercalaciones de lavas y tobas andésiticas, así como de grauvacas y areniscas. Estas rocas fueron afectadas por metamorfismo de contacto, debido a la intrusión de un batolito de composición granítica (Tg).

Su afloramiento tipo esta presente en ambas márgenes a lo largo del arroyo Cantiles y el banco de roca Puente, fuera del área de estudio. (*Fotografía 3*).

Se encuentra distribuida principalmente en el extremo occidental en ambas márgenes 1 Km aguas abajo del eje de la cortina; se presenta en contacto discordante, con los depósitos volcano-sedimentarios (Tvs)

Esta unidad es considerada como la más antigua en la zona, es correlacionada con rocas metamórficas pre-cenozoicas del arroyo El Buruato (localizado aproximadamente a 18 Km al NW del Proyecto), y al igual con los afloramientos que aparecen en las cercanías de los poblados de Compostela, Mazatán y Felipe Carrillo, localizados entre 27 y 30 Km aproximadamente al sur de Tepic, cercano al paralelo 21° 15' (Gastil y Krummenacher, 1975).

*Este plano solo cubre una porción del plano fuente PHC-94-34 C.F.E. Inédito, debido a la concentración de información de barrenos.

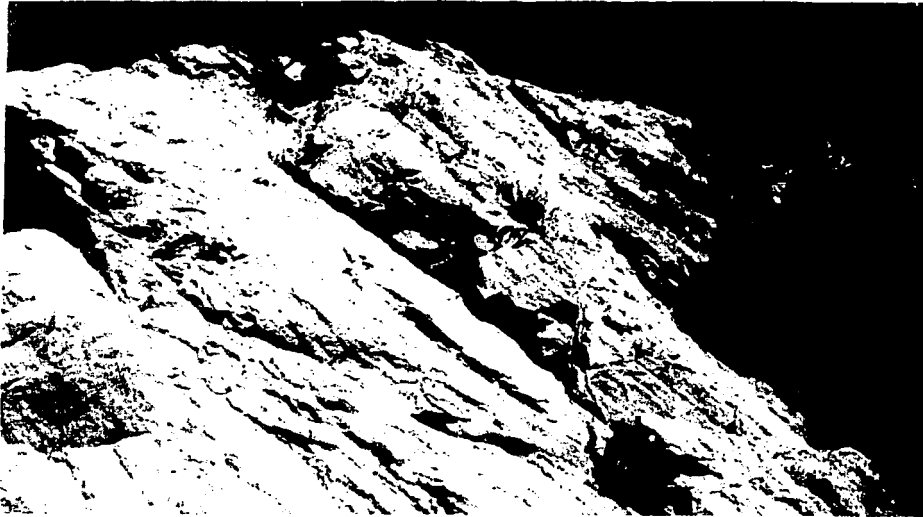
ERA	PERÍODO	ÉPOCA		NOMENCLATURA		LITOLOGÍA			
		Reciente		Qal	Qdt				
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO			Qal	Qdt	Aluvión y depósito de talud		
					Qlp		Depósitos lacustres y pumíficos poco consolidados		
					Qb		Basalto con estructura columnar		
							Diques diabásicos (Qdd)		
	TERCIARIO	PLIOCENO			Tc		Conglomerados formados por boleos empacados en una matriz areno-arcillosa		
					Tbs		Tobas de composición riódacítica (Fuera del área de estudio)		
					Tb		Basalto masivo		
					Tti		Diques andesíticos (Tda)		
							Tobas cristalinas de composición riódacítica		
					Tvs	Tda	Secuencia de tobas areniscas y aglomerados de estructura pseudoestratificada		
					Tic U3		Roca ignimbritica compacta con fiammes y piroclastos de tamaño menor a 5 cm		
		MIOCENO	TEMPRANO			Aglomerado			
						Tic U2		Roca ignimbritica compacta con fiammes y piroclastos hasta de 5 cm., contiene horizontes aglomeráticos	
						Aglomerado			
			TARDIO				Tic U2		Roca ignimbritica compacta con fiammes y piroclastos de hasta 15 cm
								Tic U1	
								Tom-ala	Andesita compacta y masiva (Fuera del área de estudio)
		OLIGOCENO	SUP						
INF									
MESOZOICO	EOCENO			Discordancia		Granito (Fuera del área de estudio)			
	PALEOCENO			Mmwa	Tg	Roca formada por intercalación de lavas y tobas andesiticas afectados por metamorfismo de contacto (Fuera del área)			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUENTE INFORME GEOLÓGICO
1985 C.F.E. INEDITO

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL P.H. EL CAJÓN	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.1
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	

Se realizaron análisis petrográficos a las muestras (MAR-11-A, MAR-11-B, MAR-08-A) (CFE) y se clasificaron como meta/riodacitas y corneanas silicificadas.



Fotografía 3. Vista del afloramiento de la Unidad volcano-sedimentaria metamorfoseada, margen derecha frente al manantial (Piletas), se puede observar estructura bandeada en la parte central.

GRANITO (Tg)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Roca de color crema a gris claro con tonalidades rosadas al fresco, y a la intemperie color amarillo ocre con tonalidades oscuras, ocasionado por argilitización de los feldespatos (*Fotografía 4*), textura fanerítica, estructura fluidal y compacta, dureza alta, mineralogía: fenocristales de feldespato y cuarzo.

Aflora en la porción W-SW fuera del área de estudio, este granito se ha correlacionado con los cuerpos intrusivos de Cajones I y del Arroyo El Buruato-Paso de Lozada, interpretándose como parte de un batolito.

Se observó en campo un espesor es de 8 a 10 m y su longitud de afloramiento de 400 m.

Debido a su alteración no ha sido posible determinar su edad absoluta, sin embargo por correlación con la muestra (543-H de Gastil, Krummenacher y Jensky 1978),

colectada en el río Santiago al NE de Mojarras (sitio Cajones I), corresponde a una diorita de 26.6-3.1 m.a.*



Fotografía 4. Afloramiento del granito, en el Arroyo Cantiles (zona del vado).

*millones de años

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANDESITA (Tom-ata)

Roca de color gris verdoso, con tonos claros a oscuros, presenta fracturamiento y pseudoestratificación, textura porfírica, estructura masiva, con fenocristales de plagioclasa en matriz afanítica.

Esta roca aflora en las partes bajas en forma de ventanas en ambos márgenes del río Santiago, con pendientes de 8° a 25°, raras veces llega a formas acantiladas debido a los procesos de erosión a través de los arroyos. Su afloramiento tipo se localiza en la margen derecha a unos 5.0 Km aguas abajo de la boquilla, esta unidad se encuentra fuera del área de estudio.

Por correlación con la muestra (JO-78-45) del P. H. Aguamilpa fechadas por Geochron en 22.4-3.5 m.a (CFE, 1979), esta unidad se ubica en la cima del Oligoceno y base del Mioceno.

UNIDAD IGNIMBRÍTICA (Tic)

Está constituida por emisiones de ignimbritas de composición predominantemente riodacítica, color gris claro a violáceo, con tonalidades rosadas, presenta pseudoestratos gruesos en la base lo cuál le da un aspecto masivo y hacia la cima los pseudoestratos se presentan más delgados, textura piroclástica y estructura masiva compacta.

En la parte media de esta unidad se ha observado, tanto en la superficie como en subsuelo (socavones y barrenos), la presencia de horizontes aglomeráticos formados por diversos líticos, principalmente de rocas porfídicas de composición intermedia, que se encuentran dentro de una matriz vítrea.

La distribución superficial del paquete ignimbrítico es amplia en ambos márgenes, sobre todo en la derecha, donde está mayormente expuesta; el relieve está controlado por la pseudoestratificación en las partes bajas con inclinaciones de 18° a 25° y en las partes altas 25° a 35° con echados al SW.

Esta unidad subyace a la unidad *Volcano-Sedimentaria* (Tvs), su espesor aproximado es de 600 m, se correlaciona con las ignimbritas de la C.H. Aguamilpa por lo que se le asigna una edad del Mioceno.

Los cambios texturales que presenta esta unidad ha permitido diferenciarla en 3 unidades:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD 1 (Tic U1)

Secuencia constituida por rocas de color café claro-grisáceo, textura piroclástica, estructura seudo estratificada y dureza alta. Mineralogía: cuarzo, feldespatos y plagioclasas, presenta líticos de pómez y andesitas de forma angulosa a subangulosa, con diámetros que van de 10 a 15 cm.

Los afloramientos de esta unidad se distribuyen en ambas márgenes en las inmediaciones del cauce, aproximadamente 200 m aguas arriba del eje de la cortina. Se estima un espesor de 150 a 200 m, su contacto con la *Unidad 2*, a la cual subyace es en forma transicional. (*Fotografía 5*).



Fotografía 5. Unidad Tic U1, se puede apreciar la textura piroclástica.

UNIDAD 2 (Tic U2)

Secuencia constituida por rocas de color café claro-grisáceo, textura piroclástica y algunas veces brechoide, presenta cierta dirección de alineamiento en los cristales estructura pseudoestratificada compacta y de dureza alta. Mineralogía: cuarzo, feldespatos, vidrio y fragmentos de líticos de composición andesítica de forma subangulosa y fragmentos de pómez de forma alargada menores de 5 cm, en una matriz vítrea, en la cuál se observa abundante óxido de fierro.

Presentando también microfracturamiento escaso y abierto, textura eutaxítica (según análisis microscópico CFE) (Fotografía 6).

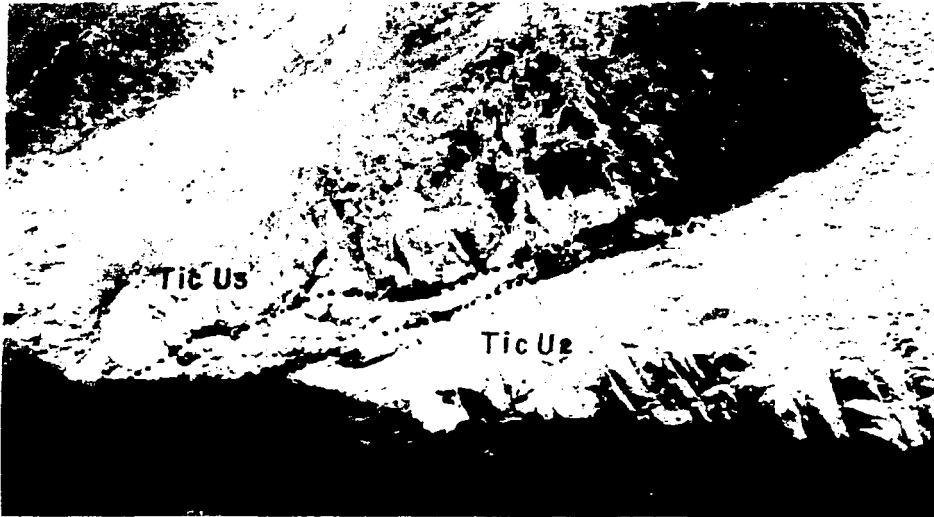


Fotografía 6. Afloramiento de la unidad Tic U2, aguas arriba del eje de la boquilla, se puede observar la textura piroclástica-eutaxítica.

Una característica de esta unidad es que presenta un horizonte aglomerático en su cima y en la parte intermedia.

El horizonte de la cima está constituido por, bloques y fragmentos de formas subangulosos a subredondeados, con tamaños variables que van de 5 cm hasta 4 m, de composición andesítica en su mayoría, empaçados en una matriz brechoide.

Este horizonte marca el contacto entre la *Unidad Tic U3*, presenta espesores de 5m aproximadamente. (Fotografía 7).



Fotografía 7. Vista del aglomerado superior con un espesor de 50 cm a 80 cm, marca el contacto entre Tic U2 y Tic U3.

Los clastos del aglomerado intermedio están constituido por fragmentos y bloques de rocas ígneas ácidas a intermedias, de forma subangulosa y subredondeadas, con tamaños variables de hasta 2 m empacados en una matriz vítrea.

Aflora a los 60 y 350 m aguas arriba del eje cerca de la Falla Sobaco en ambas márgenes; en la izquierda lo cortaron los barrenos SD-45 y en la derecha, el MD-12, DR-2, DR-6, y PDM-13. Presenta espesores de aproximadamente 20 m.

El espesor de toda la secuencia es de aproximadamente 130 m.

UNIDAD 3 (Tic U3)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Secuencia de rocas de color gris claro a gris violáceo, textura piroclástica, estructura pseudo estratificada y de dureza alta. Mineralogía, presenta líticos de pómez pero en menor cantidad y tamaño de hasta 5 cm, y de rocas básicas de forma subangulosa a redondeadas, tamaños menores de 5 cm. (Fotografía 8).

Esta unidad se encuentra distribuida, tanto en la margen izquierda como en la derecha y sobre las orillas del cauce, desde el Eje de la cortina hasta 830 m aguas abajo, extendiéndose hasta las elevaciones 350 m. Se le ha estimado un espesor de 290 m cubre a la unidad Tic U2 y subyace a los depósitos *Volcano-Sedimentarios (Tvs)*.

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)

Secuencia de rocas de color pardo con tonalidades grisáceas, presenta una alternancia de tobas areno-arcillosas, areniscas tobáceas, tobas líticas y aglomerados desde granos finos hasta bloques medianos, textura piroclástica, estructura pseudoestratificada, (laminar hasta estratos de 2 m de espesor) con ángulos de inclinación entre 18° y 25°.

Superficialmente estos depósitos son bastantes vulnerables al intemperismo que afecta hasta 40 m de profundidad, formando arcillas.

Con base en sus características litológicas, dureza y compactación, esta unidad se dividió en dos miembros:

El primer miembro (parte inferior) está constituido por un aglomerado que cubre a la unidad Ignimbrita, es de color gris claro con tonalidades rosáceas, fragmentos de rocas porfídicas de composición ácida a intermedia cementadas por cenizas, de formas subangulosa, tamaño de 5 a 40 cm, estructura masiva, dureza de media a alta, presenta gran fracturamiento con relleno de arcilla y calcita.

El segundo miembro lo constituye una alternancia de materiales piroclásticos, del tamaño de arenas finas hasta fragmentos, de formas subangulosas a redondeadas, así como también por clastos de ignimbritas y basaltos con tamaños de 0.5 a 25 cm, dureza de media a baja.

Su distribución es muy amplia en el área de estudio, aflorando principalmente cerca de las fallas El Contacto y Sobaco en la margen derecha, así como también en el manantial de aguas termales (fuera del área de estudio) y en la zona de las fallas I, II, y IIA en la margen izquierda. (*Fotografía 9*).

El espesor de esta unidad es de 350 m, sobreyace a la *Unidad Ignimbrita* y subyace a las *Tobas del Terciario Inferior (Tti)*.

No se tienen edades absolutas de la Unidad Volcano-Sedimentaria, pero por su posición estratigráfica, respecto a la unidad Ignimbrita y por haberse detectado un periodo de erosión entre ambas, se le asigna una edad tentativa Mioceno Tardío.

TOBA TERCIARIO INFERIOR (Tti)

Roca de color gris violáceo a gris claro al fresco y de color café rojizo a la intemperie, textura piroclástica, composición riódacítica en una matriz cuarzo feldespática, estructura masiva compacta y dureza alta.

Estructuralmente se comporta como un cuerpo estratiforme, que aflora en forma alargada con orientación N32°W y un echado de 28° al SW.

Su afloramiento tipo se localiza en la margen izquierda entre las cotas 425 a 575 m, cerca de la Falla Sobaco y en la margen derecha entre las cotas 525 a 600 m, entre la Falla Sobaquito y IIB ésta última fuera del área de estudio.

Descansa concordantemente sobre la unidad *Volcano-Sedimentaria (Tvs)* y subyace la cubierta de *Basalto Terciario (Tb)*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 8. Afloramiento en la margen izquierda (zona del manantial termal) Unidad Tic U3, se puede observar la textura piroclástica y líticos de tamaño menor a 5 cm.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 9. Afloramiento de la parte superior de la Unidad (Tvs), margen izquierda sobre el camino de acceso al campamento. Se puede observar la alternancia de materiales piroclásticos, los cuales forman pseudoestratos bien definidos.

DIQUE ANDESÍTICO (Tda)

Roca de color gris oscuro a gris verdoso, textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas de 0.5 a 2 cm en una matriz afanítica.

Se presenta como un cuerpo tabular en la secuencia volcano-sedimentaria, entre las cotas 380-435 en la margen izquierda, sus principales afloramientos se encuentran

en el camino de acceso al proyecto entre las cotas 400-500 m, fuera del área de estudio. Su espesor se calcula aproximadamente de 70 m, se orienta hacia el NW (Fotografía 10).

Tentativamente se le ha asignado una edad del Plioceno, y podría estar relacionado con el vulcanismo que dio lugar al basalto Terciario (Tb).



Fotografía 10. Dique andesítico (Tda), interestratificado en la unidad (Tvs). Afloramiento en la margen izquierda sobre el camino de acceso al campamento.

BASALTO TERCIARIO (Tb)

Roca de color gris oscuro a negro al fresco y amarillo ocre a la intemperie, con tonos verdes, textura equigranular a porfídica, en una matriz feldespática, estructura masiva y dureza alta.

Su distribución es amplia y aflora en ambas márgenes al S-SE con espesores de 100 m aproximadamente, pero su afloramiento tipo se observa en la margen izquierda a 800 m aguas abajo del Eje de la cortina sobre la elevación 450 m fuera del área de estudio, y en la margen derecha en la porción SW a la elevación 400-675 m, fuera del área de estudio. (Fotografía 11).

Sobreyace a la *Toba del Terciario Inferior (Tti)*, su edad se podría situar a mediados del Plioceno.



Fotografía 11. Afloramiento de la unidad (Tb), se puede observar que presenta un gran fracturamiento.

TOBA TERCIARIO SUPERIOR (Tts)

Roca de color violáceo-café al fresco y color café ocre-rojizo a la intemperie, de composición riodacítica, textura piroclástica y estructuras de corrientes de flujo. Presenta capas laminares de arena de grano fino con orientaciones N 20° W y 30° al SW.

Aflora en ambos márgenes; en la izquierda, en la porción S-SE entre las cotas 425 hasta la 650 m; en la derecha sobre la porción N distribuyéndose a lo largo aproximadamente 700 m, casi paralela a la Falla Sobaco, fuera del área de estudio.

El afloramiento tipo está localizado en la margen izquierda en las elevaciones 490 y 530 m, entre las Fallas Sobaquito y Sobaco fuera del área de estudio. Se le ha calculado un espesor aproximado de 100 m, cubre al *Basalto Terciario (Tb)*, por correlación estratigráfica se le asigna una edad del Plioceno Tardío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEPÓSITOS CONGLOMERÁTICOS (Tc)

Secuencia de color pardo, constituida por un material de boleos con diámetros de 10-30 cm, empacados en una matriz arcillosa poco cementada.

Aflora solo en la margen izquierda a lo largo del río Santiago y generalmente se encuentra rellenando antiguos cauces.

Su afloramiento tipo se encuentra cerca de la Falla Sobaco fuera el area de estudio, así como en el portal del socavón 1. (*Fotografía 12*).

Esta secuencia está cubierta por coladas basálticas (Qb) y los depósitos pumiciticos (Qlp), por lo que su edad estaría situada en la cima del Plioceno. Presenta espesores que varían de 5 a 10 m.

DIQUE DIABÁSICO (Qdd)

Roca de color verde oscuro a negro, textura afanítica, presentan fracturamiento con relleno de arcilla y en ocasiones calcita, comúnmente adopta formas tabulares, composición andesítico – basáltica. Sus espesores varían de 1 a 3 m llegando en ocasiones hasta 10 m.

Estos cuerpos son los más abundantes y se distribuyen con frecuencia tanto en la margen derecha, como en la izquierda (área de la Falla IV). (*Fotografía 13*).

Estos diques son los más jóvenes del área, e intrusionan a toda la secuencia litológica. Por correlación regional de campo se les asigna una edad del Pleistoceno.



Fotografía 12. Afloramiento de los depósitos conglomeráticos, zona del portal en el socavón 1, margen izquierda.



Fotografía 13. Afloramiento del dique diabásico, intrusionando a la unidad Tic U3.

BASALTO CUATERNARIO (Qb)

Roca de color gris oscuro a negro, textura afanítica, formas columnares y vesicular, (Fotografía 14).

Aflora en la margen izquierda agua abajo del eje, forma terrazas de 15 a 20 m de espesor entre las elevaciones 255 y la 280 m. Hacia aguas arriba del eje de la cortina cubre a la secuencia (Tvs), fuera del área de estudio.

Cubre a la secuencia de conglomerados del Terciario (Tc). Por lo que se le asigna una edad del Pleistoceno



Fotografía 14. Afloramiento del basalto cuaternario, sobre el Arroyo de la Falla IV, margen izquierda aguas abajo del eje, se observa la estructura columnar.

DEPÓSITOS LACUSTRES Y PUMICITAS (Qlp)

Secuencia de depósitos pumicitas, depósitos limo-arcillosos y fragmentos de pómez de color gris claro con tonalidades verdes, textura piroclástica, estratificación cruzada y gradada, presenta estratos de 1 a 3 m de espesor.

Afloran principalmente en la margen izquierda en el área del campamento, en las proximidades de la Falla IV y Falla Sobaco, fuera del área de estudio (*Fotografía 15*) en el mapa se encuentra en la margen izquierda cerca del barreno MI-8, la secuencia tiene un espesor que varía de 1 a 15 m según (datos de perforación).



Fotografía 15. Afloramiento de las tobas pumiciticas y depósitos limo-arcillosos, cerca de la Falla Sobaco margen izquierda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEPÓSITOS DE TALUD (Qdt)

Unidad de color pardo claro, constituida por fragmentos de rocas y grandes bloques contenidos en una matriz areno-arcillosa.

Los espesores de esta unidad no se conocen con exactitud, sin embargo se han registrado espesores de hasta 35 m, en obra directa (barrenos), aflora en la margen izquierda aguas arriba del eje de la cortina, su mayor expresión se observa en la margen izquierda. (*Fotografía 16*).



Fotografía 16. Afloramiento del depósito de talud, aguas abajo en la margen izquierda.

ALUVIÓN (Qal)

Secuencia constituida por arenas, gravas y boleos mal clasificados, producto de la desintegración de rocas distantes y locales, transportadas por el río Santiago y sus afluentes.

Forman playones en los meandros del río y en las desembocaduras de los arroyos principales, su espesor se ha registrado con prospección geofísica variando de 2 a 15 m y con obra directa el máximo espesor fue de 12 m (barreno DR-4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

III.2.1. MARCO TECTÓNICO REGIONAL

La región comprendida por los estados de Nayarit y Jalisco forman parte de la Placa Tectónica Norteamericana, en donde se han reconocido varios elementos tectónicos importantes en su porción continental, como son:

El Bloque Jalisco, La Sierra Madre Occidental y el Bloque Mazamitla como elementos positivos, limitados por fosas de naturaleza distensiva, donde ha imperado una gran actividad volcánica, como son los grabens de Tepic – Chapala, Chapala y Colima. (*Figura III.2*).

Las megaestructuras principales confluyen en una zona denominada Zacoalco, que se ubica dentro del Eje Neovolcánico Transmexicano, en donde se ha localizado actividad sísmica tipo enjambre, registrada en la red sísmológica de la cuenca del río Santiago de la CFE.

Las investigaciones que se han realizado en el occidente de México (área continental) (Luhr et al., 1985; Allan, 1986; Barrier et al., 1990; Allan et al., 1991) y en mar (Bourgeois et al., 1988), muestran que una reorganización cinemática regional se está llevando a cabo. Este modelo propone la separación de una porción continental de la placa Norteamericana y el bloque Jalisco (Luhr et al., 1985; Bourgeois et al., 1988).

Los trabajos que se han realizado están dirigidos a dilucidar la confluencia de los grabens de Chapala y Colima septentrional y la zona de extensión de Tepic Chapala que constituye el llamado " punto triple de Jalisco " (Luhr et al., 1985).

El análisis de las diferentes familias de fallas ubicadas a lo largo de estas fronteras han mostrado que la extensión se realiza siguiendo una dirección perpendicular a la orientación de los grabens (Barrier et al., 1990). Esto implica un movimiento relativo del bloque Jalisco en relación con el continente, que hace suponer la existencia de una frontera al NW de la zona de extensión de Tepic- Chapala.

Varias interpretaciones han surgido en cuanto a la localización, desplazamiento y significado geodinámico de la frontera septentrional del bloque Jalisco (Nieto-Obregón et al., 1985; Allan, 1986; Jonson, 1987; Allan et al., 1991). Esta frontera ha sido designada tradicionalmente en la literatura con el nombre de graben de "Tepic-Chapala" (Demant, 1981; Nieto Obregón et al., 1985; aunque Allan y colaboradores 1991), la denominan rift de Tepic-Zacoalco).

El lineamiento estructural que controla el curso del Río Santiago (*Figura III. 3*) ha sido representado como la traza de esta frontera. Evidencias de una deformación que se debió al desplazamiento lateral fueron señaladas en el sector de la presa Santa Rosa por (Nieto-Obregón y colaboradores 1985) y (Allan y colaboradores 1991).

Aunque las mediciones geodésicas realizadas muestran que existe actualmente una deformación en dirección NE-SW (Nieto-Obregón, 1989), esto se debe probablemente a la inestabilidad de bloques de la margen izquierda, donde ha habido desplazamientos de los mismos a lo largo de discontinuidades preexistentes (Ibarra y Maycotte, 1982)

El Río Santiago es un lugar geológico importante, situado en el extremo meridional de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental (Raisz 1962).

Los análisis estratigráficos y microtectónico realizados señalan que el régimen de compresión lateral (σ_1 y σ_3 horizontal) que afecto a las ignimbritas de 17 m.a, terminó en el Mioceno Tardío aspecto que discrepa con lo señalado en el sentido de que el Río Santiago está situado en una zona de falla activa de desplazamiento lateral diestro.

En el área de la presa Santa Rosa existe un cono volcánico datado entre 0.37 y 0.9 m.a según (Allan et al, 1991) y (Nieto -Obregón y colaboradores 1985) respectivamente, el cuál no ha sido afectado por esfuerzos cortantes laterales ni tensionales, por lo que el escarpe que domina al lecho del río corresponde al trabajo mecánico de erosión fluvial y no a un escarpe de falla normal.

Por lo anterior se infiere que la frontera septentrional activa del Bloque Jalisco puede ser entonces buscada más hacia el sur, a lo largo del lineamiento formado por la cadena de volcanes activos entre Tepic y Guadalajara.

En la porción continental no ha sido establecida la génesis del Eje Neovolcánico Transmexicano, que está caracterizado por la presencia del llamado punto triple Zacoalco, delimitado por el Graben de Tepic Chapala al NW-SE como una zona de transcurrencia, caracterizada por fallamiento de tipo extensional a lo largo de estructuras NW-SE. Esto concuerda con la presencia de lavas alcalinas, así como productos calcoalcalinos expuestos en esta área (Garduño, et al, 1991).

La prolongación de este graben hacia el Pacífico no es lo suficientemente clara, aunque pudiera ser la prolongación del Sistema Transforme del Golfo de California. En el Río Santiago se realizaron investigaciones microtectónicas, donde se observaron dos familias de fallas afectados por rocas del Mioceno; las fallas de orientación NW 20° a 75° SE con inclinaciones mayores a 70° y las fallas de orientación NW 20° a 25° SE con inclinaciones menores a 30°, encontrando que el 80% de las fallas transcurrentes son de tipo lateral derecho, y el resto son de tipo lateral izquierdo, los tensores de esfuerzos muestran que estas dos familias se

caracterizan porque los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 son horizontales (Garduño, et al, 1991).

La actividad volcánica que ha tenido lugar en el sur del Estado de Nayarit ha sido muy intensa durante el Plioceno y Cuaternario, y continua actualmente. Los sismos que afectaron a los poblados de San Pedro Lagunillas y Las Guásimas los días 4 y 16 de Septiembre de 1987 al parecer estuvieron relacionados, con el movimiento de magma justo por debajo del domo riolítico Los Ocotes, ubicado entre ambos poblados y que a su vez constituye el aparato volcánico mas reciente en la zona (Castillo y De la Cruz, 1992).

Durante los primeros meses de 1994 se registraron en todas las estaciones sismológicas del P. H El Cajón en la cuenca del río Santiago varios eventos sísmicos; el más notorio denominado tipo b, por su amplitud, duración y baja frecuencia (J Lermo, et al, 1993) el cual pudiera estar asociado con emisiones de gases volcánicos (González, et al, 1993 y Havskov, et al, 1983) que proponen un posible mecanismo como resultado de las intrusiones magmáticas y liberación de gases a una profundidad de 2 Km.

Los rasgos lineales interpretados a partir de imágenes de satélite reflejaron dos sistemas estructurales para esta zona y sus alrededores, siendo NW-SE y NE-SW

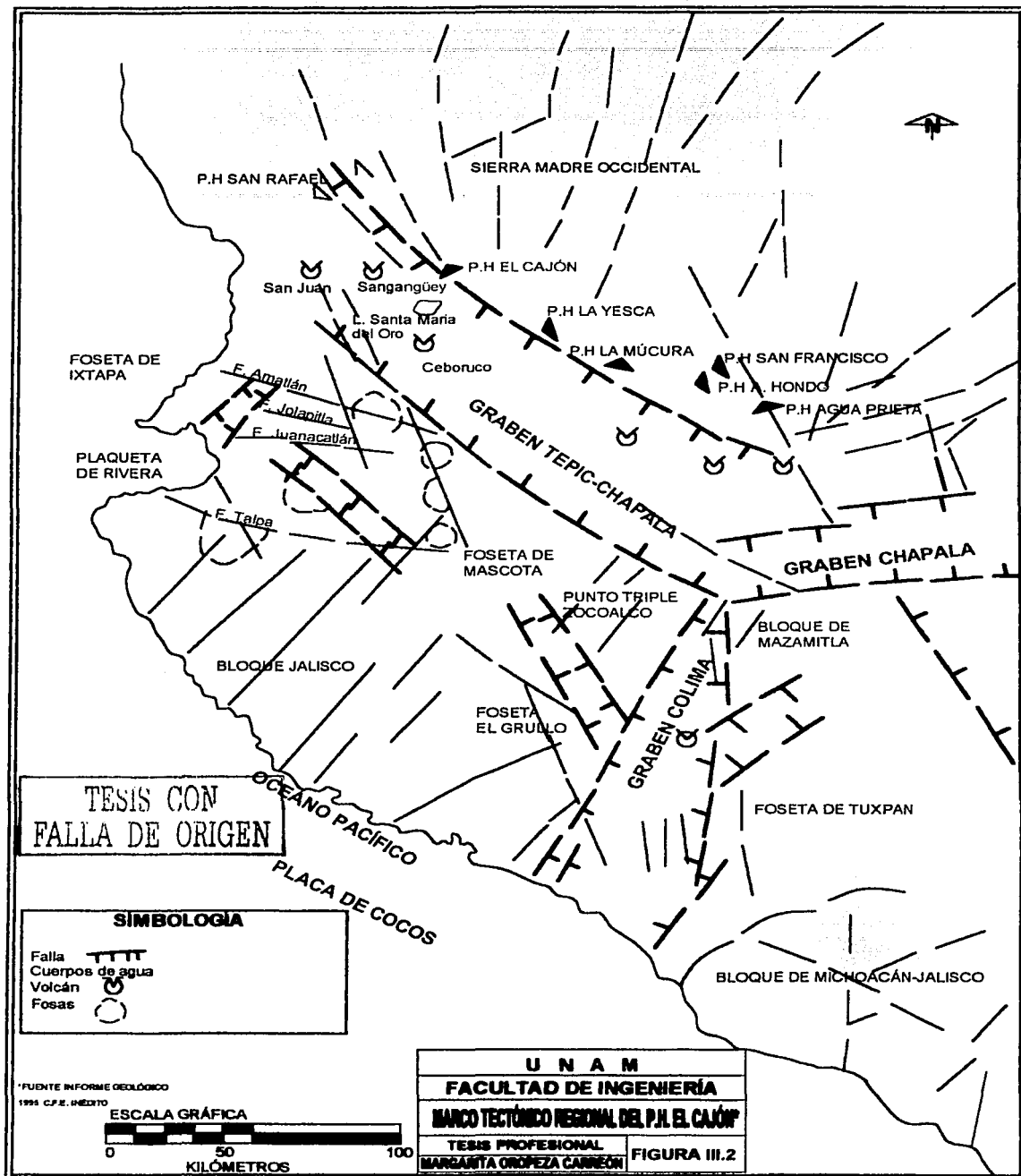
El sistema NW-SE pertenecen al graben Tepic-Chapala, que es la estructura más importante de la región, el cual se encuentra constituido por rocas volcánicas del Plio-Cuaternario y Reciente, cuyos centros de emisión se caracterizan por presentar lineamientos paralelos a este sistema, esto refleja zonas de debilidad cortical, lo que sugiere un control tectónico en el subsuelo, ejemplos de estos lineamientos se observan en la Caldera La Primavera, Volcán Tequila, Ceboruco, Tetepiltic, Sangangüey y San Juan.

El sistema NE-SW, se ve reflejado en los lineamientos de los cauces de los ríos y no es tan eminente como el anterior aunque en imágenes de satélite sus rasgos son evidentes y numerosos.

El graben Chapala tiene una orientación E-W y las rocas que lo conforman presentan una inclinación hacia el N o S. En el sector W y E se localiza la falla normal Zacoalco y la depresión Citala, relacionando las altitudes del Lago de Chapala (1520 m) con respecto a la de Citala (1360) y la depresión de Zacoalco (1350), muestran que sólo la parte W de dicho sector fue activa en tiempos recientes, lo que se corrobora con la aportación de los datos sísmicos registrados en la red sismológica de la cuenca del río Santiago. La tectónica reciente del oeste del Graben de Chapala está asociada con esfuerzos N-S σ_3 .

El graben de Colima está limitado por un tren de fallas normales a lo largo de una orientación NNE extendiéndose al norte del Océano Pacífico, los bloques fallados fueron inclinados hacia el E y W con una inclinación $>20^\circ$ por lo que el graben ha

sido afectado por algunas fallas transversas como la de Tamazula. El graben se hace mas ancho en correspondencia con dicha falla, la cuál cruza por debajo del volcán de Colima y separa al bloque de Mazamitla con el bloque de Tuxpan, esto hace que resalte el lineamiento de manantiales termales a lo largo de la falla. El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón es, por tanto susceptible a la acción de fenómenos tectónicos regionales y locales de tipo volcánico, dada la evolución del Bloque Jalisco.



III.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los estudios geológicos del área de estudio y su entorno, han permitido determinar y jerarquizar las estructuras que afectan a las unidades estratigráficas que conforman el macizo rocoso, tanto a nivel regional como a nivel local.

Los lineamientos interpretados regionalmente se agrupan en 3 sistemas principales de fallamiento.

El primero de orientación NW – SE lo que constituye un reflejo de la tectónica regional de bloques.

El segundo sistema tiene una orientación general E – W.

El tercero de orientación N – S siendo este el más joven.

Las fallas que afectan el área de estudio se presentan por lo general de forma paralela y escalonadas, todas son normales y forman una alternancia de horsts y grabens. Además afectan a las Unidades Tic U1, Tic U2, Tic U3 y Tvs; en la margen izquierda se intersectan, mientras que en la margen derecha se observa cierto paralelismo desde el Eje de la cortina hacia aguas abajo, con buzamientos predominantes hacia el NE.

La disposición espacial de estas estructuras permitió diferenciarlas en 3 bloques tectónicos denominados:

Manga Larga, El Cajón y Cantiles. (Figura III.4).

BLOQUE MANGA LARGA. (GRABEN LA GOLONDRINA)

Limita al Oeste con la Falla Caracol y Falla Palmillas, al Este con la Falla Golondrinas, la tendencia de los bloques caídos da lugar a la formación de una estructura de fosa (graben), es el más estrecho que los otros dos.

BLOQUE EL CAJÓN

Es el bloque central limita al Oeste con el sistema de fallas conjugadas La Brea-Cantiles, al Este limita con la Falla El Caracol y Palmillas. Dentro de este bloque se encuentran estructuras de menor jerarquía las cuales se subdividen en:

Sub-bloque Palmillas.- Limita al Oeste con la Falla Sobaco al Este con la Falla Palmitas.

Sub-bloque Limoncito.- Limita al Oeste con la Falla Guadalupe al Este con la Falla Cantiles.

Sub-bloque Boquilla.- Limita al Oeste con la Falla Cantiles al Este con la Falla Sobaco.

BLOQUE CANTILES.

Limita al Este con el sistema de Fallas Cantiles – La Brea y al Oeste con la Falla Guadalupe aquí afloran rocas precenozoicas (volcano-sedimentarias metamorfoseadas) afectadas por un complejo granítico que las metamorfizó, el cuál se considera como el basamento más antiguo de la secuencia litológica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2.3. FALLAS PRINCIPALES

A continuación se describen las características de cada una de las fallas encontradas en el área de estudio.

MARGEN IZQUIERDA

FALLA I.- Se localiza a 200 m aguas arriba del Eje de la cortina, presenta una orientación N 25° W / 75°-80° SW, forma parte de un pequeño graben, tiene una longitud visible de 250 m, a lo largo de ella aparece una zona de relleno de material cataclástico, siendo su zona de falla de 0.30 m y su desplazamiento entre 1 y 3 m.

FALLA II.- Está localizada a 250 m aguas arriba del Eje de la cortina, con una orientación de N15°E / 88° SE, presenta en superficie una capa de material brechoide y líticos de tamaños de 1.0 a 1.5 cm de formas subangulosas, bien consolidadas, el espesor de dicha capa es de 0.40 m.

A profundidad es cortada por los barrenos MI-4 (a 89.9 m donde se emplazó un dique diabásico), MI-6 (21 m) y MI-II (a los 35 m). El desplazamiento determinado para esta falla es de 4.0 m, tiene una longitud de 400 m, de los cuales 200 son inferidos.

FALLA II-A.- Se ubica entre 170 y 50 m aguas arriba del Eje de la cortina y entre las elevaciones 310 y 410 m, tiene una orientación de N38°E / 85° SE, se observa un cizallamiento con dos sistemas de fracturamiento (elevaciones 350 a 360 m), su longitud es de 250 m de los cuáles 130 son inferidos.

FALLA II-B.- Esta falla se localiza entre 200 y 100 m aguas arriba del Eje de la cortina, es también una de las discontinuidades más importantes de esta margen, con una orientación N6°E / 60°SE, en algunas zonas presenta relleno de material cataclástico hasta de 0.80 m de espesor y un fracturamiento secundario orientado al N15°E.

En base a los barrenos MI-14 y MI-18 se calcula su desplazamiento de 40 m, aproximadamente tiene una longitud de afloramiento de 200 m.

FALLA III.- Esta es una de las discontinuidades más importantes y se localiza entre 30 y 90 m aguas arriba del Eje de la cortina, presenta una orientación N-S, ésta ha sido la falla más explorada, ya que fue cortada por los socavones 1 y 3 y los barrenos MI-10, MI-5, MI-19 y SD-1, con variaciones hasta de N15°E / 80°-65° SE y NW respectivamente, tiene una longitud de 300 m.

FALLA IV.- Se localiza entre 160 y 200 m aguas abajo del Eje de la cortina, aflora en una longitud de 100 m y se le infieren 200 m más, con una orientación N10°W / 52°-70° NE, presenta relleno de material cataclástico con un espesor de 60 cm, en algunas zonas presenta oxidación. No fue posible determinar su desplazamiento debido a que no existen horizontes índice de pseudo-estratificación.

FALLA V.- Se localiza entre las elevaciones 220 y 360, a 500 m aguas abajo del Eje de la cortina, fuera del área de estudio, su longitud es de 360 m de los cuáles la mayor parte no es visible superficialmente y de su posible continuidad en la margen derecha tiene una orientación al N45°W / 85° NE, presenta relleno de material brechoide con espesor de 0.30 m, y en algunas zonas presenta alteración. En la elevación 345 se observó el emplazamiento de un dique diabásico, y un sistema de fracturamiento paralelo, siendo su desplazamiento de 5 m.

FALLA PUERTECITOS.- Aflora aguas arriba del Eje de la cortina, a la elevación 375 m, sobre el camino que conduce al campamento, su orientación es N70°E / 55°-75°SE

Esta discontinuidad es cortada por las Fallas I, II, II-A y II-B, ésta es importante ya que se encuentra afectando a la unidad Ignimbrítica, en el plano de falla se observan estrías casi verticales, tiene una longitud de 350 m.

MARGEN DERECHA

FALLA VI.- Esta falla se localiza entre 50 y 70 m aguas abajo del Eje de la cortina, observándose una bifurcación a nivel del camino en la elevación 340 m e infiriéndose su continuidad, su orientación es N35°W / 57°-60° NE, presenta relleno de material cataclástico de 0.30 m de espesor.

La zona adyacente al afloramiento se caracteriza por tener algunos sistemas de fracturamiento que forman bloques y cuñas falladas de diversas magnitudes.

Presenta 4 sistemas de fracturamiento:

- 1.- N40°W / 66°NE
- 2.- N-S / 80° W

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- N75°W / 50°SW

4.- N85°W / 88°NE

FALLA VII.- Se localiza en la margen derecha a 115 m aguas arriba del Eje de la cortina, con orientación N54°W / 73°NE, presenta relleno de material cataclástico con un espesor de 0.20 a 0.70 m, la orientación preferencial del fracturamiento es paralela a la misma, formando bloques con salida a la excavación (camino), al parecer cruza a la otra margen, por lo que su zona de falla se considera mínimo ya que en ambos lados el contacto no tiene desplazamiento y conserva su posición.

FALLA VIII.- Se localiza a 215 m aguas arriba del Eje de la cortina, con orientación N30°W / 65°-80° NE, y un fracturamiento preferencial al N42°W / 76°SW. Presenta relleno de material cataclástico con espesor de 0.10 a 0.20 m. Las discontinuidades que afectan al macizo rocoso en esta porción son predominantemente verticales, tiene una longitud de 280 m aproximadamente. Al parecer puede ser la continuidad de la conjugación de las Fallas I, II, IIA, y IIB.

FALLA PLAYÓN.- Se localiza a 70 m aguas arriba del Socavón 2 entre las elevaciones 220 y 325, con orientación N10°E / 67° al SW presenta relleno de material brechoide. En su extremo norte llega del contacto (Tic U2 y Tic U3), hacia el sur se acuña tal como pudo observarse en el barreno DR-6 tramo 24.70 a 25.80, en que presenta fractura parcialmente argilitizada y cloritizada. A la elevación 240 m la falla contiene relleno de material brechoide, siendo su zona de falla de 0.30 a 0.50 m.

FALLA BLOQUES.- Se localiza a 370 m aguas abajo del Eje de la cortina fuera del área de estudio, tiene una orientación N15°E / 46°SE, se caracteriza por ser cerrada y presencia de estrías, esta falla tiende a formar bloques que pretenden dar lugar a depresiones estructurales, como la localizada entre esta y la Falla X, presenta una longitud aproximada de 40 m, fuera del área de estudio.

FALLA CONTACTO.- Se localiza a 1 Km aguas abajo del Eje de la cortina fuera del área de estudio, se orienta al N35°W/70°NE, se calcula una longitud aproximada de 250 a 270 m, fuera del área de estudio.

FALLA ARROYO 1 y 2.- Se localizan en la elevación 400 sobre el eje de la cortina, tienen una orientación N-S/60°E, presentan un espesor de brecha de falla de 0.30 m observándose estrías casi verticales, se le ha determinado un desplazamiento de aproximadamente 30 m, presenta una longitud de 200 m.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FALLA SOBACO. - Esta es una de las discontinuidades más importantes del proyecto se localiza a 670 m aguas arriba del Eje de la cortina, la zona donde aflora muestra una gran cantidad de estrías. En la margen derecha se localiza en el arroyo el Limón, predominando una orientación N20°W/65°-85°NE, tiene una longitud aproximada de 3 Km, se le calculó un desplazamiento de 300 m.

En la Tabla III.1. Resumen las características de las fallas mas importantes que se detectaron tanto en superficie como en barrenos.

FALLA	MÁRGEN	ORIENTACIÓN	ZONA DE FALLA (m)	RELLENO	DESPLAZAMIENTO (m)	LONG APROX
I	Izquierda	N25°W/75-80°SW	0.30	Cataclásitas	1-3	250
II	Izquierda	N15°E/88°SE	0.40	Cataclásitas	4.0	400
III	Izquierda	N15°E/80-65°SE	1.50-3.0	Cataclásitas	15-20	290-300
IV	Izquierda	N10°W/52-70°NE	0.6	Cataclásitas	35	100-200 inferidos
V	Izquierda	N40-50°W/85°NE	0.30	Brecha	< 5	360
II-A	Izquierda	N38°E/60°SE	-----	-----	40	250
II-B	Izquierda	N6°E/85°SE	0.30-0.80	Cataclásitas	40	200
Puertecitos	Izquierda	N70°E/55-75°SE	-----	-----	-----	>350
VI	Derecha	N35°W/57°-60°NE	0.30	Cataclásitas	-----	-----
VII	Derecha	N54°W/73°NE	0.20-0.70	Cataclásitas	?	160
VIII	Derecha	N30°W/65-80°NE	0.10-0.20	Cataclásitas	-----	280
Playón	Derecha	N10°E/67°NW	0.30-0.50	Frag. líticos	6	200
Bloques	Derecha	N15°E/46°SE	-----	Sin relleno	-----	40
Sobaco	Derecha	N20°W/65-80°NE	30-40	Cataclásitas	300	3000
Contacto	Derecha	N35°W/70°NE	-----	-----	?	250-270
Arroyo 1 y 2	Derecha	N-S/60°E	0.30	Cataclásitas	30	200

Tabla III.1. Características de las fallas que afloran en el área de estudio

III.2.4. FRACTURAS

Se identificaron 795 discontinuidades, las cuáles fueron analizadas mediante la red estereográfica de Schmidt, cuyos resultados guardan estrecha relación con las estructuras regionales sobre todo con el Bloque El Cajón al cuál afectan.

Estas fracturas se agruparon en familias según su orientación y a continuación se describen por márgenes y unidades litológicas.

MARGEN IZQUIERDA

UNIDAD IGNIMBRÍTICA (Tic U1)

Aflora aguas arriba del Eje de la cortina; cuyo límite estructural es la Falla Sobaco, se evaluaron 51 datos, determinándose 3 sistemas principales en base a los rumbos preferenciales. (Figura III.5).

SISTEMA 1 N28°E/55°SE

Es el más importante, su longitud varía de 1 a 10 m, su densidad es de 3 fracturas por metro, las cuáles se presentan cerradas a ligeramente abiertas, hasta 1 cm.

SISTEMA 2 N39°W/68°NE

Este es un sistema de fracturamiento secundario que aumenta su frecuencia cerca de la Falla Sobaco, su comportamiento es de continuo a sub-continuo, longitudes de 5 a 20 m y densidad de 4 fracturas por metro.

SISTEMA 3 N5°W/70°NE

Este sistema es poco continuo, con densidad de 2 a 4 fracturas por metro, se presentan ligeramente abiertas y superficies rugosas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD IGIMBRÍTICA (Tic U2)

Esta unidad aflora en la zona del Eje de la cortina, subyaciendo a la Tic U3, sobre el camino que conduce a los barrenos MI-8, MI-11 y MI-10. se identificaron en esta unidad 117 fracturas y se definieron 4 familias, las cuáles fueron analizadas mediante la red estereográfica de Schmidt. (Figura III.6).

SISTEMA 1 N20°-39°W/82°NE

SISTEMA 2 N-S/70°W ó E

El sistema 1 y 2 presenta características similares, solo variaciones en cuanto al rumbo, generalmente su comportamiento no es tan continuo sus longitudes van de 1 a 10 m, con densidades de 3 fracturas por metro, superficie rugosa. Pero el sistema 2 es secundario y de escasa continuidad, longitudes de 1 a 5 m y densidad de 1 a 4 fracturas por metro.

SISTEMA 3 N18°E/70°SE

Es un sistema secundario ligeramente abierto a cerrado y continuo, con longitudes de 2 a 5 m y densidad de 1 a 3 fracturas por metro.

SISTEMA 4 N65°E/75°NW

Es también secundario, continuo y cerrado, longitud de 1 a 3 m y densidad de 1 a 2 fracturas por metro.

UNIDAD IGIMBRÍTICA (Tic U3)

Esta unidad tiene amplios afloramientos tanto en la margen izquierda como en la derecha.

Se analizaron 238 datos de fracturas en la red estereográfica de Schmidt, los cuáles se agruparon en 4 sistemas. (Figura III.7).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SISTEMA 1 N25°-31°W/65°-72°NE

Es el sistema más representativo de esta unidad, ya que es bastante continuo y ligeramente abierto de 0.1 a 0.5 cm, superficies rugosas y longitudes de hasta 20 m. en algunas zonas presenta rellenos de arcilla, su densidad es de 1 a 3 fracturas por metro.

SISTEMA 2 E-W/85°N y S

Este sistema se caracteriza por su posición casi vertical, formando comúnmente cantiles, su continuidad varía de 3 a 20 m con densidad de 1 a 4 fracturas por metro.

SISTEMA 3 N15°E/75°SE**SISTEMA 4 N65°W/72°NE**

El sistema 3 y 4 son secundarios y se manifiestan ampliamente, el fracturamiento en la Unidad Ignimbrítica está relleno o presenta películas ligeras de arcilla color café-rojizo, la cuál fue analizada por difracción de rayos "X" y se clasificó como halloysita.

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta unidad se encuentra distribuida ampliamente en la margen izquierda, sobreyaciendo a la Unidad Ignimbrítica. Se presenta pseudoestratificada y buzando al S30°W, se identificaron 84 fracturas y se agruparon en 3 sistemas. (Figura III.8)

SISTEMA 1 N25°-49°W/65-72°NE

Este sistema es continuo con longitud de 1 a 2 m , no presenta ningún relleno densidad de 2 fracturas por metro.

SISTEMA 2 E-W/81°N

Es un sistema que manifiesta una continuidad promedio de 3 m, presenta un ligero relleno de arcilla, densidad de 2 a 3 fracturas por metro.

SISTEMA 3 N7°E/65°-80°SE

Este sistema se caracteriza como secundario y no muestra una clara concentración.

Al definir el análisis general de esta margen se obtuvieron los siguientes sistemas principales:

- 1.- N20°-49°W/62°-82°NE
- 2.- N5°-10°W/70°-86°NE
- 3.- N18°-28°E/55°-70°SE

MARGEN DERECHA

En esta margen aflora la Unidad Ignimbrítica 1 y 2 y en mayor proporción la Unidad Ignimbrítica 3, observándose que el fracturamiento predominante es subvertical.

UNIDAD IGNIMBRÍTICA (Tic U1)

Esta unidad es la que tiene menos superficie de afloramiento, por los escarpes del terreno sólo se tomaron 48 datos, los cuáles se graficaron en la red de Schmidt. (Figura III.9).

Como resultado de este análisis. Se obtuvieron las siguientes sistemas:

- SISTEMA 1 N15°-26°W/73-75°NE
- SISTEMA 2 N45°W/69°NE
- SISTEMA 2' N45°W/45°SW
- SISTEMA 3 N26°-49°E/60°-70°SE

Las orientaciones de los sistemas 1 y 2 son similares, siendo la primera la más importante.

Es un sistema cerrado con longitud de 5-20 m, densidad de 1 a 3 fracturas por metro, incrementándose hasta por 5 m, hacia la Falla Sobaco, no presentan relleno de ningún material y la superficie es rugosa.

El sistema 2' es relevante por su inclinación, por lo que puede ocasionar problemas de inestabilidad en la parte superior de la margen derecha. El sistema 3 está poco definido.

UNIDAD IGNIMBRÍTICA (Tic U2)

En esta unidad se obtuvieron 81 datos y se graficaron en la red de Schmidt.
(Figura III. 10).

SISTEMA 1 N33°W/75°NE

Este sistema es el más importante y aparece principalmente en cañadas con rumbo paralelo a las discontinuidades mayores (fallas), incrementándose hasta 8 fracturas por metro, no presenta relleno y densidad de 1 a 3 por metro.

SISTEMA 2 N70°E/83°NE y SISTEMA 2' N72°W/85°SW

Consiste en sistemas de fracturas casi verticales (E-W promedio) cerradas, longitud de 5 a 10 m, no presentan relleno y su densidad es de 1 a 2 por metro.

SISTEMA 3 N6°E/75°SE y SISTEMA 3' N18°E/75°SE

Estos sistemas se presenta en menor proporción.

UNIDAD IGNIMBRÍTICA (Tic U3)

En esta unidad se obtuvieron 260 datos, que fueron analizados en la red.
(Figura III. 11).

SISTEMA 1 N37°-43°W/68°-73°NE

SISTEMA 2 E-W/85°N y S

SISTEMA 3 N6°E/67°NW y SE

El sistema 1 es el de mayor importancia, presenta longitudes de 3 a 20 m continuo, densidad de 1 a 4 fracturas por metro.

El sistema 2 varía de 5 a 20 m, no es continuo, densidad de 1 a 3 fracturas por metro.

El sistema 3 no está tan bien definido

Al definir el análisis general de está margen se obtuvieron las siguientes direcciones de fracturamiento principal.

- 1.- N15°-43°W/73°-75°NE
- 2.- E-W/85°N y S
- 3.- N70°W/85°NE

En las configuraciones se observa una mayor concentración del sistema NW, que presenta ligeras variaciones en rumbo y echado, definiéndose como el más importante en la margen derecha.

RESUMEN DE AMBAS MÁRGENES

En base a los datos analizados, se observó que el fracturamiento de orientación NW es el más importante en el macizo rocoso, el cuál constituye un reflejo de la tectónica regional.

A continuación en la Tabla III.2 se presenta el análisis de la tendencia estructural en ambas márgenes.

SISTEMA	MARGEN IZQUIERDA	MARGEN DERECHA
1	N20°49'W/62°-72°NE	N15°-43°W/73°-75°NE
2	N5°-10°W/70°-86°NE	E-W/85°N y S
3	N18°-28°E/55°-70°SE	N70°W/85°NE

Tabla III.2. Análisis del fracturamiento preferencial del P. H. El Cajón en ambas márgenes

Se concluye que el fracturamiento predominante es el mismo para ambas márgenes, por lo que se considera al área del proyecto como un macizo rocoso uniforme.

III.2.5. PSEUDOESTRATIFICACIÓN

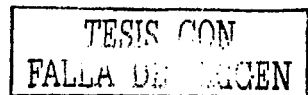
Dentro de las características estructurales se encuentra otro rasgo importante que es la pseudoestratificación, debido a que esta presente en la Unidad Ignimbrítica y en la Unidad Volcano – Sedimentaria. Esta presenta las siguientes características para cada formación rocosa:

UNIDAD IGNIMBRÍTICA

La pseudoestratificación en la Unidad Ignimbrítica forma paquetes con espesores variables 0.20-2.00, m sus planos de pseudoestratificación están compactos y continuos, sin relleno, solo se hallan bisectados por estructuras mayores, conservando el rumbo y echado regional en la mayor parte de los afloramientos; para la interpretación se tomaron en cuenta los cierres estructurales de las unidades a nivel del río y con los datos obtenidos se elaboró un estereograma, (*Figura III.12*) determinándose una dirección preferencial N18°W/22°SW.

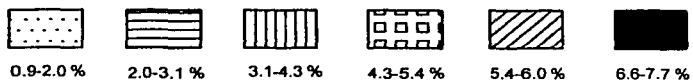
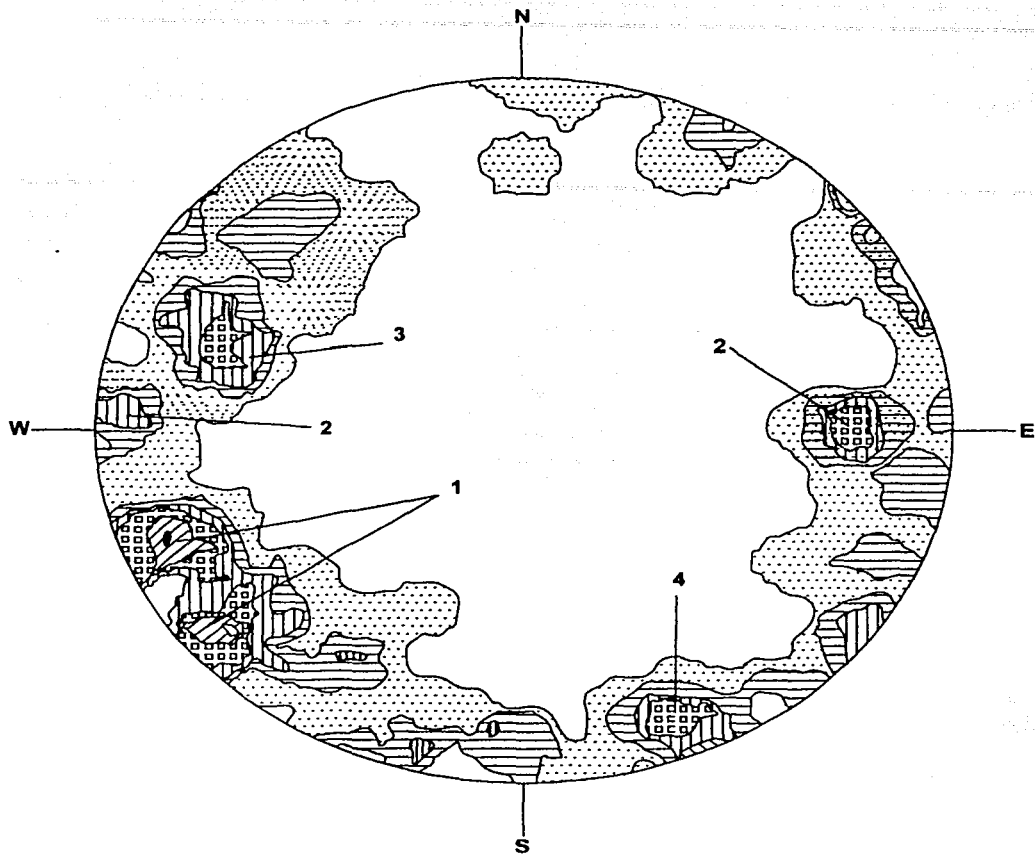
Tanto en la margen derecha como la margen izquierda las características de pseudoestratificación son similares, excepto en las zonas donde se emplazan los diques.

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA



En esta unidad la pseudoestratificación tiene espesores que varían de 0.02 a 1.5 m con cambios graduales y alternantes de sus fragmentos líticos, desde granos finos hasta bloques.

Para el análisis estructural se elaboró un estereograma (*Figura III.13*), y se obtuvo una orientación preferencial de N26°W/18°-25°SW.

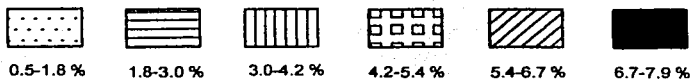
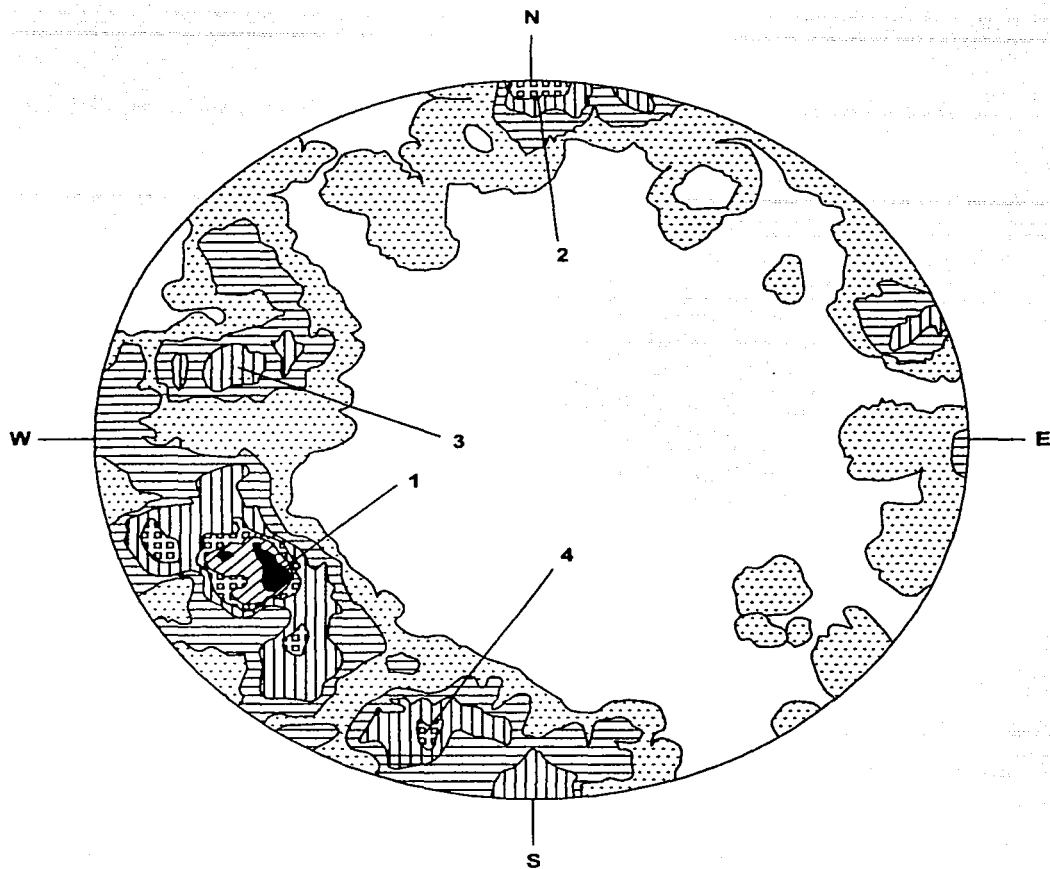


ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN IZQUIERDA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUENTE INFORME GEOLOGICO
1995 CFE INEDITO

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIDAD IGIMBRITICA (Tic U2)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.6
MARGARITA OROPEZA CARREON	

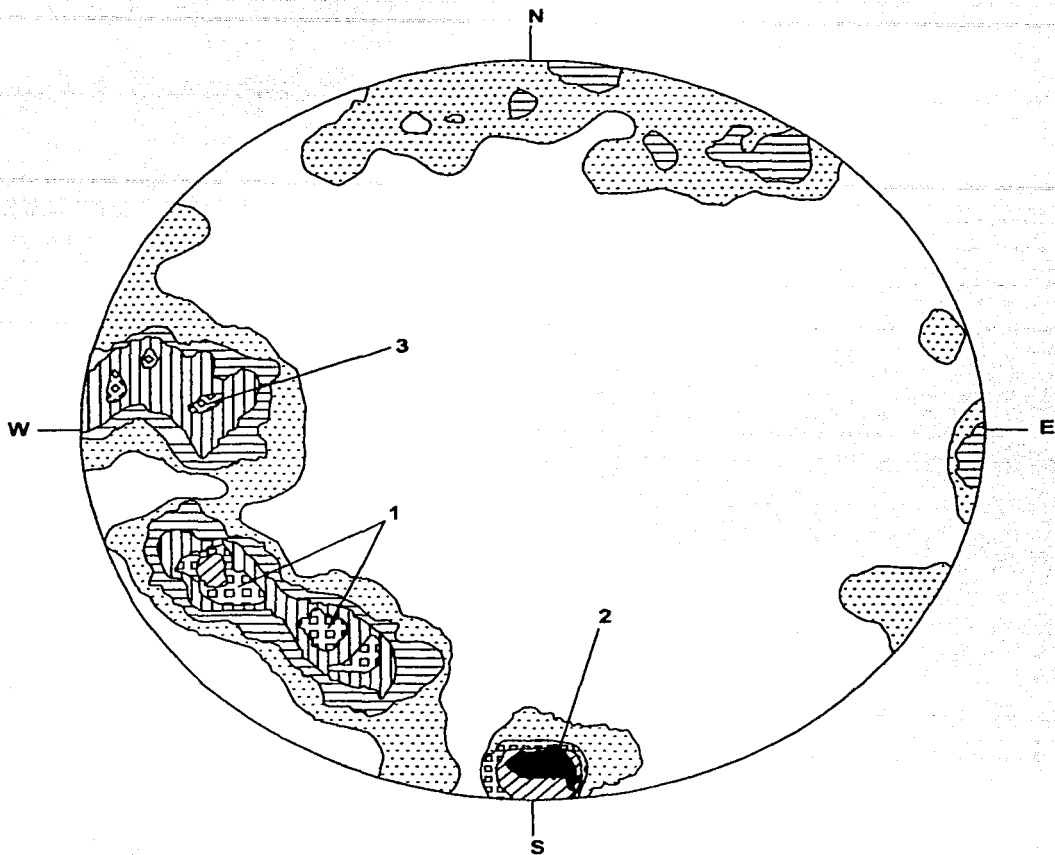


ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN IZQUIERDA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIDAD IGIMBRITICA (Tic U3)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.7
MARGARITA OROPEZA CARREON	

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1995 C.F.E. INEDITO



1.3-31 %



3.1-5.0 %



5.0-6.9 %



6.9-8.8 %



8.8-10.6 %



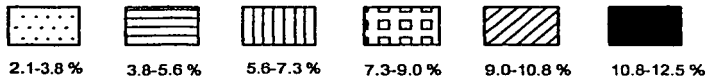
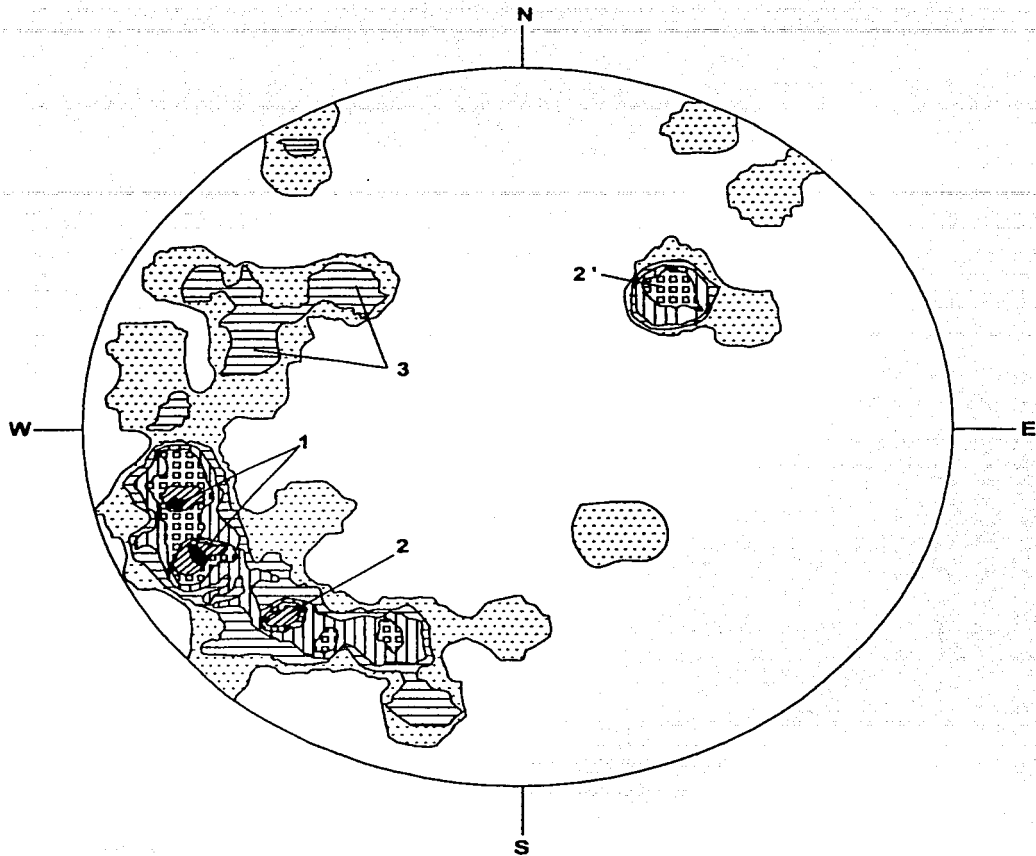
10.6-12.5 %

ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN IZQUIERDA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1995 C.F.E. INEDITO

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.8
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	

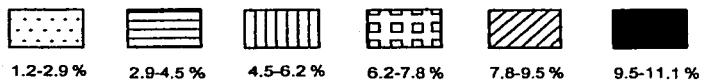
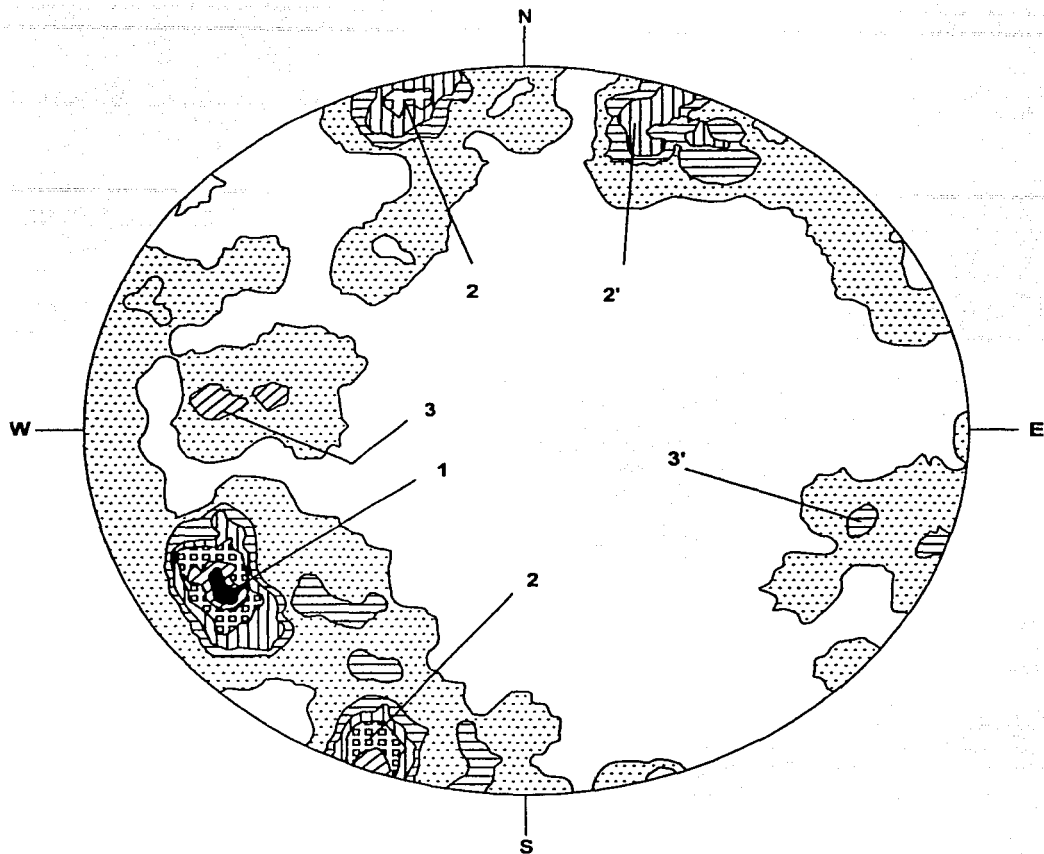


ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN DERECHA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
UNIDAD IGNI-MBRÍTICA (Tic U1)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.9
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1993, C.F.E. INEDITO

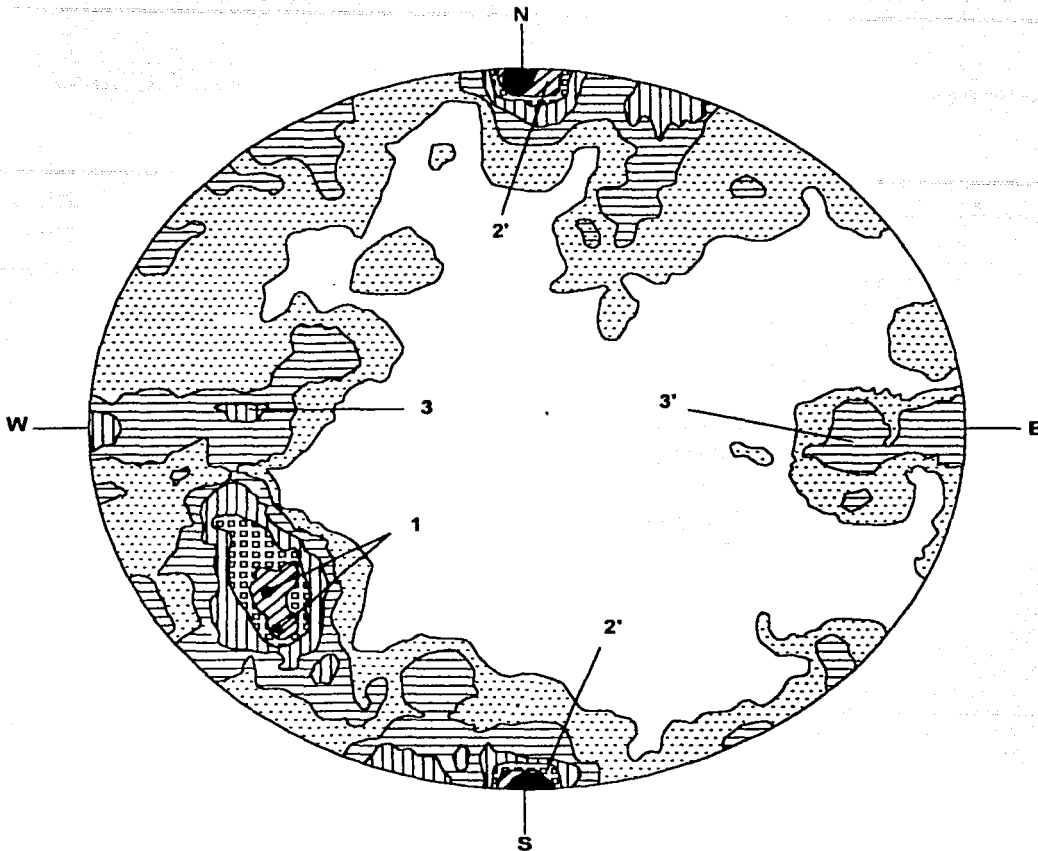


ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN DERECHA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
UNIDAD IGNI-MBRÍTICA (Tic U2)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.10
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	

*FUENTE INFORME GEOLÓGICO
1983, C.F.E. INEDITO.



0.4-1.7%



1.7-2.9%



2.9-4.2%



4.2-5.5%



5.5-6.8%



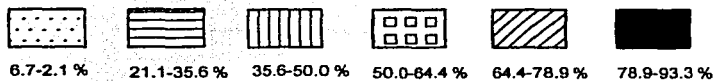
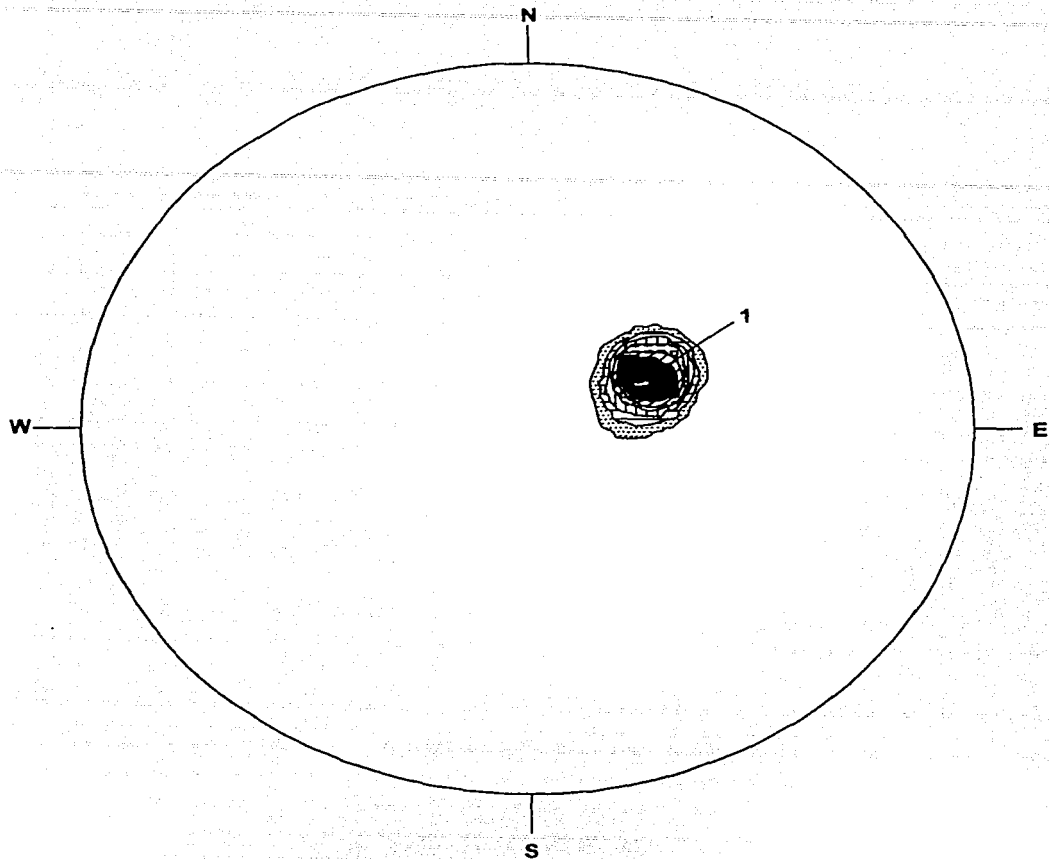
6.8-8.1%

ESTEREOGRAMA DE FRACTURAS (MARGEN DERECHA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
UNIDAD IGIMBRÍTICA (Tic U3)*	
TESIS PROFESIONAL	
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	FIGURA III.11

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1995. C.F.E. INEDITO



PSEUDOESTRATIFICACIÓN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)*	
TESIS PROFESIONAL	FIGURA III.13
MARGARITA OROPEZA CARREÓN	

*FUENTE INFORME GEOLOGICO
1993 C.F.E. INEDITO

IV. GEOFÍSICA

IV.1. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

MÉTODOS UTILIZADOS

MÉTODO SÍSMICO DE REFRACCIÓN

El método sísmico de refracción consiste en generar ondas sísmicas en superficie y registrar las que experimentan refracción total a lo largo de los contactos de velocidades en los diferentes medios del subsuelo.

Estas ondas se generan mediante una detonación de una carga explosiva enterrada en el subsuelo, se utilizan explosivos de gran velocidad de propagación, tales como las dinamitas gomas, la explosión puede ocurrir en un tiempo de micro o milisegundos, dependiendo de la naturaleza, cantidad de explosivo y tipo de material, esta carga se sitúa en el fondo de un sondeo perforado a poca profundidad por medio de una sonda portátil.

Cuando el medio en que se propagan las ondas sísmicas no es homogéneo, como ocurre en la tierra, se producen los fenómenos principales de refracción, reflexión, difracción, dispersión y scattering.

El método sísmico consiste en esencia en producir un sismo artificial y medir los tiempos de llegada de la onda sísmica a unos receptores superficiales o geófonos, la gráfica de los tiempos de llegada de las diversas ondas registradas desde el momento de la explosión se le llama sismograma.

MÉTODO ELÉCTRICO

La técnica del sondeo eléctrico vertical consiste en la inyección de corriente eléctrica al subsuelo mediante dos electrodos (de emisión) que son colocados simétricamente a una serie de distancias desde cada punto de referencia o estación, mientras que por medio de otros dos electrodos (de recepción) que se colocan relativamente cerca de la estación se llevan a cabo medidas del potencial eléctrico.

La profundidad de penetración o investigación varía en forma directa con la distancia entre los electrodos de emisión. A partir de las medidas de corriente y potencial, obtenidas con los dos pares de electrodos y de un factor geométrico que depende de las distancias entre los electrodos, se genera una curva de la resistividad aparente contra la semi-distancia entre los electrodos de corriente, información que

posteriormente es procesada en forma manual y con un programa de cómputo para determinar modelos de capas horizontales.

La interpretación de los datos geofísicos, en combinación con la información geológica superficial y del subsuelo, dieron como resultado cuatro unidades geofísicas que se describen a continuación:

UNIDAD GEOFÍSICA 1

Se asocia con los depósitos de baja compacidad que incluye a los depósitos de talud (Qdt), aluvión (Qal) y depósitos lacustres pumicíticos (Qlp), que cubren parcialmente en ambas márgenes a la ignimbrita El Cajón (Tic), el volcano-sedimentario (Tvs), a los depósitos conglomeráticos (Tc) y al basalto (Qb); se divide en tres subunidades.

SUBUNIDAD A { ALUVIÓN (Qal) }

Las velocidades compresionales de estos materiales van desde 330 m/s cuando son arenas finas sueltas y secas, hasta los 1700 m/s en arenas y boleos saturados. Presenta espesores de 24 m en el centro del cauce.

SUBUNIDAD B { DEPÓSITO DE TALUD (QDT) }

En su parte superior muestra velocidades bajas y resistividades variables, lo cuál se relaciona con su baja compacidad y heterogeneidad.

Debajo de los 15 m se tienen velocidades de 1500 m/s y resistividades de 30 Ω /m, lo cual indica que este material esta constituido por bloques de gran tamaño, y es de mala calidad. Alcanzan un espesor de 34 m.

SUBUNIDAD C { TOBA LACUSTRE PUMICÍTICA (Qlp) }

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Presenta velocidades de 800 m/s y resistividades de 10 - 30 Ω/m , lo cual se relaciona con cierto grado de humedad y arcillosidad, ésto indica que el material es de mala calidad, presenta espesores de hasta 22 m.

UNIDAD GEOFÍSICA 2

SUBUNIDAD A {BASALTO (Qb)}

Presenta velocidades de 600 - 2000 m/s y resistividades de 12 - 300 Ω/m , dichos parámetros reflejan un gran fracturamiento y alteración, lo cual indica que es una roca de mala calidad, alcanza espesores de 19 m.

SUBUNIDAD B {DEPÓSITOS CONGLOMERÁTICOS (Tc)}

Su mayor expresión se presenta en la entrada del Socavón 1, presenta velocidades de 600 m/s, por sus características es un material de mala calidad, alcanza espesores de 6m.

UNIDAD GEOFÍSICA 3

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)

Esta unidad presenta un gran contraste en sus valores de velocidad y resistividad por lo que se dividió en 2 subunidades:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SUBUNIDAD 3 A**MIEMBRO INFERIOR**

Presenta velocidades que van de los 650 m/s las cuáles corresponden a la parte superficial asociado a roca fuertemente alterada, y a los 30 m de profundidad presenta

velocidades de 1600 - 2000 m/s y resistividades de 20-345 Ω /m, en la zona donde confluyen las Fallas II, IIA, III y Puertecitos presenta gran alteración y fracturamiento con un alto contenido de arcillas por lo que las resistividades son de 60 Ω m.

Por sus características de velocidad y resistividad este material es de mala calidad.

SUBUNIDAD 3 B**MIEMBRO SUPERIOR**

Presenta velocidades que van de 2500 - 2900 m/s y resistividades de 300 Ω /m, esta unidad constituye una roca de mayor compacidad, alcanza espesores de hasta 82 m.

UNIDAD GEOFÍSICA 4**UNIDAD IGIMBRÍTICA (Tic)**

Los valores de velocidad y resistividad que presentan los 3 miembros no manifiestan un gran contraste lo suficientemente irregular, para caracterizarlos por separado.

En base a los valores geofísicos presentados se dividió en las siguientes subunidades:

SUBUNIDAD A

Presenta valores de velocidad de 600 – 1900 m/s con variaciones tanto laterales como verticales, lo cuál se atribuye a las fallas que se encuentran en esta unidad y en menor grado a la alteración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los mayores espesores que se alcanzan son hasta los 24 m, y se tiene en la parte alta de la margen izquierda, debido a la influencia de las Fallas II, IIA, IIB, III y Puertecitos, muestran resistividades de 10 – 600 Ω/m , lo cuál se asocia con un RQD* menor al 70 %, fracturamiento intenso y abierto con bajo contenido de arcilla y permeabilidad mayor 12 U.L.* por lo que se considera que a esta profundidad la roca es de mala calidad.

SUBUNIDAD B

Se obtuvieron velocidades de 2180 – 3000 m/s y resistividades de 50 Ω/m , esto implica cierto contenido de arcilla en las fracturas.

Hacia el cauce se tienen resistividades mayores a los 65 Ω/m y velocidades mayores a los 3000 m/s lo que corresponde con un RQD mayor 70 %, fracturamiento cerrado y baja permeabilidad.

Lo que indica que es una roca de calidad buena y poco permeable.

La Tabla IV.1 resume las características de cada una de las unidades

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*RQD Índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation) es el porcentaje de recuperación de los núcleos de roca mayores de 10 cm de longitud.

*U.L. Unidades Lugeon. Absorción de 1.0 (l/min)/m de agua inyectada a una presión efectiva de 0.981 Mpa.

UNIDAD GEOFÍSICA	SUB UNIDAD	LITOLOGÍA	VELOCIDAD (m/s)	RESISTIVIDAD Ω/m	ESPESOR (m)	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS
1	A	Qal	330-1700	—	24	Calidad mala Calidad mala Calidad mala
	B	Qdt	1500	30	34	
	C	Qlp	800	10-30	22	
2	A	Qb	600-2000	12-300	19	Calidad mala a regular Calidad mala
	B	Tc	600	—	6	
3	A	inferior	650-2000	20-345	30	Calidad mala muy fracturada y alterada
	B	Tvs superior	2500-2900	20-60	82	
4	A	U1	600-1900	50		Calidad mala a regular Calidad buena Presenta fracturas rellenas de arcilla
	B	U2 U3	y 2180-3000	y 10-600		

Tabla IV.1 Características de las unidades geofísicas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

IV.1. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En base al análisis de la información se zonificó al área de estudio, en unidades geotécnicas tomando en cuenta propiedades de permeabilidad, RQD*, velocidades de propagación de ondas sísmicas y resistividad eléctrica.

Cada unidad se clasificó de manera muy general, ya que en las zonas donde se ven afectadas por discontinuidades (fallas y fracturamiento) las condiciones geomecánicas varían sustancialmente.

En las *secciones geotécnicas (Anexo B)*, se puede observar con mayor detalle, cuál es el comportamiento que presenta tanto la margen izquierda, como la margen derecha, además las estructuras presentes y cómo éstas pueden afectar al macizo rocoso.

En base a todo esto se obtuvieron las siguientes unidades geotécnicas:

NOTA: Estas unidades geotécnicas pueden ubicarse con mayor precisión si se sobrepone la Carta Geotécnica (Anexo C), sobre el Plano Geológico (Anexo A)

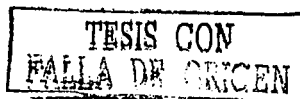
MARGEN IZQUIERDA

UNIDAD GEOTÉCNICA 1 (UG1)

Está integrada por las unidades:

DEPÓSITO DE TALUD (QDT), DEPÓSITOS LACUSTRES Y PUMICITAS (QLP), TOBA INFERIOR Y TOBA SUPERIOR (Tti Y Tts).

Esta unidad presenta valores de RQD* del 0-20 % y de 30-40 U.L* por lo que es de *muy mala calidad y muy permeable*, presenta velocidades de 330-1700 m/s y resistividad



de 30 Ω/m ; se encuentra presente tanto en la rivera del río como a la elevación 250-275 m. Parte de la cortina, se desplantará en ésta unidad, por lo que deberá ser removida.

UNIDAD GEOTÉCNICA 2 (UG2)

Esta integrada por:

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)

Esta unidad en la parte superior presenta gran alteración de acuerdo a datos geofísicos ya que presenta velocidades de 650 m/s que corresponden a roca fuertemente alterada; sin embargo a los 30m de profundidad, presenta velocidades de 1600-2000 m/s y resistividades de 20-345 Ω/m que indican que la roca es competente.

Presenta 3 sistemas de fracturamiento con tendencias E-W, continuo, longitudes de 1-2 m, densidades de 2-3 fracturas por metro y rellenas de arcilla.

Se encuentra distribuida a la elevación 375 m, y esta afectada por algunas discontinuidades, de acuerdo a información de barrenos presenta valores de RQD de 20-25 % y de 25 -40 U.L por lo que se le clasificó como una roca de *mala calidad y muy permeable*, aquí no se desplantará algún tipo de obra.

UNIDAD GEOTÉCNICA 3 (UG3)

Esta integrada por:

UNIDADES DE BASALTO (Qb) y (Tb)

Son unidades muy compactas, presentan fracturamiento moderado, velocidades de 600-2000 m/s y resistividades de 12-300 Ω/m .

Se encuentran presentes en la cota 275, cerca del barreno MI-8. Aquí se ubicarán los portales de salida de los túneles de desvío.

Presenta valores de RQD de 70-80 % y de 15-25 U.L por lo que ésta unidad se clasificó como de *buena calidad y permeable*, por lo tanto el material no deberá ser removido, solo se le dará un tratamiento adecuado de impermeabilidad.

*RQD Índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation) es el porcentaje de recuperación de los núcleos de roca mayores de 10 cm de longitud.

*U.L Unidades Lugeon. Absorción De 1.0 (l/min)/m de agua inyectada a una presión efectiva de 0.981 Mpa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD GEOTÉCNICA 4 (UG4)

Esta integrada por:

UNIDAD IGNI-MBRÍTICA TIC U3

Esta unidad presenta 4 sistemas de fracturamiento principal con tendencia al NW, longitudes de hasta 20 m, continuo, densidad de 1-3 fracturas por metro y presentan relleno de arcilla.

Sus velocidades van de 2180-3000 m/s y resistividades de 10-600 Ω/m , se encuentra distribuida en la zona donde confluyen una gran cantidad de Fallas (II, IIB, IIA, O y Puertecitos).

Esta unidad en general presenta valores de RQD de 60-85 % y de 3-10 U.L, por lo que se le clasifica como una unidad de *regular a buena calidad e impermeable a poco permeable*, las condiciones geomecánicas mejoran a profundidad.

Las fracturas y fallas disminuyen la calidad, por lo que se deberá dar una limpieza y un tratamiento adecuado, ya que aquí se excavarán los túneles de desvío.

UNIDAD GEOTÉCNICA 5 (UG5)

Esta integrada por:

UNIDAD IGNI-MBRÍTICA TIC U1

Esta unidad presenta 3 sistemas de fracturamiento principal con tendencia al NW, longitudes de 1-10 m, densidad de 3 fracturas por metro, presentan relleno y superficies rugosas.

Tienen velocidades de 600-1900 m/s y resistividades de Ω/m ; se encuentra distribuida aguas arriba del eje de la cortina cerca de la Falla II B.

Esta unidad se clasificó como de *regular a buena calidad y poco permeable a permeable* ya que presenta valores de RQD de 70-90 % y de 11-25 U.L.

UNIDAD GEOTÉCNICA 6 (UG6)

Esta integrada por:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD IGNIMBRÍTICA TIC U2

Esta unidad presenta 4 sistemas de fracturamiento con tendencia preferencial hacia el NW, semi-continuo, densidad de 3 fracturas por metro, superficies rugosas.

Las velocidades son mayores a los 250 m/s y resistividades mayores a 65 Ω m; se encuentra distribuida aguas arriba del eje de la cortina, presenta valores de RQD de 78-92 % y de 3-10 U.L.

En general esta unidad es de *calidad buena a excelente e impermeable a poco permeable*; aquí se desplantará parte de la cortina.

CAUCE**UNIDAD GEOTÉCNICA (UGAL)**

Esta integrado por:

Aluvión (Qal)

Esta unidad se encuentra distribuida en todo el cauce, presenta velocidades de 330 m/s, es de *muy mala calidad y altamente permeable*, de acuerdo a información de barrenos presenta espesores promedio de 12 m, pero en el centro del cauce presenta espesores de hasta 24 m.

MARGEN DERECHA**UNIDAD GEOTÉCNICA 1 (UG1)**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Está integrada por las unidades:

DEPÓSITO DE TALUD (QDT), DEPÓSITOS LACUSTRES Y PUMICITAS (QLP), TOBA INFERIOS Y TOBA SUPERIOR (Tti Y Tts).

Esta unidad presenta valores de RQD del 0-20 % y de 30-40 U.L por lo que es de *muy mala calidad y muy permeable*, presenta velocidades de 330-1700 m/s y resistividad

de 30 Ω/m ; se encuentra presente en la totalidad de la rivera del cauce tanto aguas abajo como aguas arriba, del eje de la cortina y en las cota 450-475 cerca de la Falla Sobaco.

Parte de la cortina, se desplantará en ésta unidad, por lo que deberá ser removida.

UNIDAD GEOTÉCNICA 2 (UG2)

Esta integrada por:

UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA (Tvs)

Esta unidad en la parte superior presenta gran alteración de acuerdo a datos geofísicos ya que sus velocidades de 650 m/s que corresponden a roca fuertemente alterada; pero a los 30m de profundidad, presenta velocidades de 1600-2000 m/s y resistividades de 20-345 Ω/m que indican que la roca es competente.

Se encuentra distribuida a la elevación 375 m, en la intersección con la Falla Sobaco de acuerdo al análisis de información de barrenos presenta valores de RQD del 20-25 % y 25-40 U.L por lo que se clasificó como una roca de *muy mala calidad y muy permeable*. Aquí no se desplantará algún tipo de obra.

UNIDAD GEOTÉCNICA 3 (UG3)

Esta integrada por:

UNIDADES DE BASALTO (Qb) y (Tb)

Son unidades muy compactas, presentan fracturamiento moderado, velocidades de 600-2000 m/s y resistividades de 12-300 Ω/m .

Se encuentran presentes en la cota 475, cerca de la Falla Sobaco; no se desplantará alguna obra.

Presenta valores de RQD de 70-85 % y de 15-25 U.L por lo que ésta unidad se clasificó como de *buena calidad y permeable*, por lo tanto el material no deberá ser removido, solo se le dará un tratamiento adecuado de impermeabilidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD GEOTÉCNICA 4 (UG4)

Esta integrada por:

UNIDAD IGNIMBRÍTICA TIC U3

Esta unidad presenta 3 sistemas de fracturamiento principal con tendencia al NW, longitudes de 3-20 m, continuo, densidad de 1-4 fracturas por metro.

Presenta velocidades que van de 2180-3000 m/s y resistividades de 10-600 Ω/m , se encuentra distribuida prácticamente en toda la margen y se ve afectada por discontinuidades como son la Falla Sobaco, Arroyo 1, Arroyo 2, VII y VIII y además la zona de diques.

Esta unidad en general presenta valores de RQD de 65-85 % y de 3-25 U.L, por lo que se le clasifico como una unidad de *regular a buena calidad e impermeable a poco permeable*, las condiciones geomecánicas mejoran a profundidad.

Las fracturas y fallas disminuyen la calidad, por lo que se deberá dar una limpieza y un tratamiento adecuado.

Aquí se desplantarán la obra de excedencias, casa de máquinas, obra de toma, canal de llamada y parte del PLINTO.

UNIDAD GEOTÉCNICA 5 (UG5)

Esta integrada por:

UNIDAD IGNIMBRÍTICA TIC U1

Esta unidad presenta 4 sistemas de fracturamiento principal con tendencia al NW, longitudes de 5-20 m, densidad de 1-3 fracturas por metro, presentan relleno y superficies rugosas.

Presenta velocidades de 600-1900 m/s y resistividades de Ω/m ; se encuentra distribuida aguas arriba del eje de la cortina cerca de la Falla VIII.

Esta unidad se clasificó como de *calidad regular a buena y poco permeable a permeable* ya que presenta valores de RQD de 70-90 % y de 4-20 U.L.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD GEOTÉCNICA 6 (UG6)

Esta integrada por:

UNIDAD IGIMBRÍTICA TIC U2

Esta unidad presenta 3 sistemas de fracturamiento con tendencia preferencial hacia el NW, densidad de 1-3 fracturas por metro, fracturamiento cerrado con bajo contenido de arcilla.

Presenta velocidades mayores a los 250 m/s y resistividades mayores a 65 Ω m; se encuentra distribuida aguas arriba del eje de la cortina, está afectada por las Fallas Playón y VIII en donde su *calidad es muy mala y altamente permeable*, ya que presenta valores de RQD de 75-92 % y de 3-10 U.L.

En general esta unidad es de *calidad buena a excelente e impermeable a poco permeable*; aquí se desplantará parte de la cortina.

En base a la caracterización geotécnica del área de estudio se elaboró la Carta Geotécnica del P. H. El Cajón, (**Anexo C**) la cuál nos permite tener información de detalle de las condiciones mecánicas que presenta el macizo rocoso, así mismo nos permite saber en donde están ubicadas las obras civiles del proyecto Plano de Obras Civiles de P. H. El Cajón Nayarit. (**Anexo C**).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. CARTA GEOTÉCNICA

En base al análisis de la información geológica, geofísica y sondeos se zonificó al área de estudio, en unidades geotécnicas tomando en cuenta propiedades mecánicas (permeabilidad y RQD) y propiedades geofísicas (velocidades de propagación de ondas sísmicas y resistividad eléctrica), esto nos dio como resultado la Carta Geotécnica del P. H El Cajón Nayarit. (**Anexo C**).

Esta zonificación se realizó de manera muy general, ya que en las zonas en donde se encuentran discontinuidades disminuye la competencia del macizo rocoso.

Presenta valores promedio de índice de calidad de roca (RQD):

En tramos de roca poco fracturada tiene un RQD de 76%-100% que la definen de buena a excelente calidad; en roca afectada por discontinuidades el promedio de RQD es <50%, lo que indica que es una roca de mala calidad.

La permeabilidad se evaluó por medio de 26 pruebas tipo Lugeon de las cuáles el 52%-65% caen en el rango de impermeables a poco permeables, entre el 6%-36% resultaron permeables y del 1%-5% altamente permeables.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El objetivo fundamental de este trabajo consistió en realizar una carta geotécnica, cuya información sea la base de la consulta para trabajos futuros de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Mecánica de rocas, Mecánica de suelos o de cualquier estudio con finalidad constructiva. Así mismo, el establecimiento de un acervo de este tipo de información en Comisión Federal de Electricidad y la Universidad Nacional Autónoma de México
2. El Proyecto Hidroeléctrico el Cajón se localiza a 47 Km al SE de la Ciudad de Tepic, localizado en las coordenadas geográficas 21°25'43" de Latitud Norte y 104°27'08" de Longitud Oeste.
3. Se localiza al sur de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, cerca del límite con la Provincia del Eje volcánico Transmexicano.
4. Se caracteriza por encontrarse en un relieve de cerros con cimas redondeadas y laderas de fuertes pendientes, en algunas zonas los escarpes terminan en mesetas constituidas por rocas volcánicas recientes.
5. Se encuentra en la región hidrológica Lerma-Santiago, con régimen rectangular, que han cortado profundamente la topografía del terreno. El caudal del río Santiago es torrencial, con grandes avenidas en época de lluvias.
6. El área de estudio se encuentra enmarcada por rocas de diversas litologías cuya edad fluctúa del Mesozoico al Cenozoico, las cuáles comprenden: rocas volcano-sedimentarias metamorfoseadas, andesitas, ignimbritas, depósitos volcano-sedimentario, tobas, conglomerados, basaltos, granitos, diques, depósitos lacustres-pumiciticos, depósitos de talud y aluvi6n.
7. Con relación a los procesos tect6nicos, se concluye que el 6rea del proyecto es susceptible a la acci6n de fen6menos tect6nicos regionales y locales de tipo volc6nico, dada la evoluci6n del bloque Jalisco. Sin embargo el proyecto se ubica en la zona Penes6mica de acuerdo a la Carta S6smica de la Rep6blica Mexicana. Estructuralmente se encuentra delimitado por fallamiento de tipo regional que permiti6 la definici6n de bloques y sub-bloques. La mayoría de las fallas en el proyecto siguen esta tendencia de orientaci6n regional y afectan, a la Unidad Ignimbritica y Volcano-Sedimentaria; en la margen izquierda se intersectan algunas de ellas mientras que en la margen derecha 6stas presentan cierto paralelismo. Se definieron 10 sistemas de fracturamiento para la margen derecha y 14 sistemas para la margen izquierda, siendo la orientaci6n preferencial hacia el NW y E-W.

8. El estudio geofísico concluyó que en el área existen 4 unidades geofísicas en función de los valores de velocidad de onda sísmica y resistividad eléctrica. Cada unidad fue dividida en sub-unidades, relacionándolas a las características litológicas del subsuelo.

La finalidad de tipificar por unidades al macizo rocoso, fue determinar la calidad geotécnica de éstas.

9. El macizo rocoso presenta valores promedio de índice de calidad de roca (RQD): En tramos de roca poco fracturada tiene un RQD de 76%-100% que la definen de buena a excelente calidad; en roca afectada por discontinuidades el promedio de RQD es <50%, lo que indica que es una roca de mala calidad.

La permeabilidad se evaluó por medio de 26 pruebas tipo Lugeon de las cuáles el 52%-65% caen en el rango de impermeables a poco permeables, entre el 6%-36% resultaron permeables y del 1%-5% altamente permeables.

Para la margen derecha las características topográficas, litológicas y geotécnicas son favorables para el emplazamiento de cualquier obra, en tanto la margen izquierda suponemos que presenta problemas geotécnicos importantes dadas sus características litológicas, calidad de roca y permeabilidad estos problemas llevarán probablemente a la inestabilidad de la ladera, para el cauce el espesor de aluvión se estimó en promedio de 12 m.

Los resultados de los estudios geofísicos y geotécnicos, dieron una mejor interpretación del macizo rocoso, así mismo determinaron en donde se encontrarán las obras del proyecto.

Las obras civiles que se alojaran en la margen derecha serán; parte de cortina, plinto, obra de toma, obra de excedencias y casa de máquinas; en la margen izquierda parte de cortina, plinto y túneles de desvío; en el cauce se desplantarán; cortina (una porción), plinto y las ataguías que dejara el recinto seco.

10. El análisis de todos los estudios anteriores, dieron como resultado la elaboración de la Carta Geotécnica del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, la cuál presenta las siguientes unidades geotécnicas:

UNIDAD GEOTÉCNICA 1 (UG1)

Esta unidad esta representada por rocas que presentan valores de RQD 0-20 % y de 30-40 U.L lo que indica que son de *muy mala calidad y muy permeables*, se encuentran en la totalidad en la margen izquierda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD GEOTÉCNICA 2 (UG2)

Son rocas con valores de RQD 20-25 % y de 25-40 U.L lo que representa que son de *mala calidad y muy permeables*, se presentan en ambas márgenes en la parte superior y muy alterada.

UNIDAD GEOTÉCNICA 3 (UG3)

Esta constituida por rocas con valores de RQD 70-85 % y de 15-25 % U.L lo que indica que es de *buena calidad y permeables*, esta unidad se presenta muy compacta con fracturamiento moderado.

UNIDAD GEOTÉCNICA 4 (UG4)

Presenta valores promedio de RQD 60-85 % y 3-25 U.L, lo que representa que son rocas de *regular a buena calidad e impermeables a permeables*, se encuentra distribuida en ambas márgenes, en zonas afectadas por fallas; su calidad es de buena a regular y son permeable; en la margen izquierda el macizo rocoso se encuentra afectado por un mayor fracturamiento y por la presencia de discontinuidades lo que influye en sus propiedades geomecánicas.

UNIDAD GEOTÉCNICA 5 (UG5)

Presenta valores de RQD 70-90 % y 4-25 U.L, esto indica que es una unidad de *regular a buena calidad y poco permeables a permeables*. En el área donde se ve afectada por la presencia de diques, fallas y fracturamiento la calidad es regular y muy permeable; se encuentra distribuida en ambas márgenes.

UNIDAD GEOTÉCNICA 6 (UG6)

Esta constituida por rocas que presentan valores de RQD 75-92 % y 3-10 U.L lo que significa que son de *buena a excelente calidad e impermeables a poco permeable*, se encuentran distribuidas en ambas márgenes, con características de alta compacidad y poco fracturamiento. Se concluye que es la unidad que presenta mejores condiciones geomecánicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIDAD GEOTÉCNICA (UGAL)

Esta representada por depósito de aluvión, el espesor máximo detectado con los sondeos fue de 12 m, pero de acuerdo a resultados geofísicos las mayores profundidades del mismo se registraron entre 20 y 24 m, esta unidad se caracteriza por ser de *muy mala calidad y altamente permeable*.

RECOMENDACIONES

MARGEN IZQUIERDA

1. Esta margen se caracteriza por presentar problemas geotécnicos importantes de permeabilidad y estabilidad de bloques; en la parte superior presenta depósitos de talud y depósitos lacustres-pumiciticos, que en base a sus características geotécnicas, este material deberá ser removido.

2. Subyaciendo al Depósito de Talud, se encuentra la Unidad Ignimbrítica (Tic U3), la cuál presenta características geotécnicas de *regular a buena calidad e impermeable a poco permeable*, en donde se ve afectada por discontinuidades, disminuye su calidad. Esta característica estructural deberá causar problemas de inestabilidad, por lo que se recomiendan, estudios de mayor detalle, que determinen las características de estas discontinuidades, por ejemplo su profundidad, etc.

Sin embargo debido a la calidad de esta unidad deberá ser suficiente un tratamiento de inyección y de estabilidad de bloques, para mejorar la competencia del macizo rocoso.

3. Los túneles de desvío se excavarán en la Unidad Ignimbrítica (Tic U2 y Tic U3) estas unidades presenta características geotécnicas favorables, pero deberá tomarse en cuenta la formación de bloques debido a la conjugación de las fallas, por lo que se le deberá dar un tratamiento adecuado de estabilidad, tal como colocación de pernos de anclaje.

CAUCE

1. Se recomienda la remoción de los 12 metros promedio de aluvión, debido a sus características de *muy mala calidad y altamente permeable*, hasta llegar a la Unidad Ignimbrítica (Tic U2) subyacente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MARGEN DERECHA

1. La parte superior de esta margen esta constituida por depósitos de talud basándose en sus características geotécnicas, este material deberá ser removido, para llegar a la roca sana y competente.
2. Subyaciendo al depósito de talud, se encuentra la Unidad Ignimbrítica, la cuál presenta características de *regular a excelente calidad y permeable a impermeable*, con fracturamiento relleno de arcilla. Las zonas donde se ve afectada por discontinuidades disminuyen la calidad del macizo rocoso, por lo que se deberá tomar en consideración.

La recomendación para las obras que se deseen colocar en ésta, es realizar tratamientos por medio de algún tipo de inyección para la impermeabilización de las discontinuidades, que aumentarán su competencia para la construcción.

En cuanto a la Carta Geotécnica las recomendaciones son:

1. Para la elaboración de un Carta Geotécnica futura, se deberá considerar un número mayor de parámetros mecánicos.
2. Los sondeos deberán ser elaborados siguiendo una metodología para su descripción correcta, por ejemplo no omitir ninguna característica de las discontinuidades como son espaciamiento, orientación, continuidad, estado de las fisuras, relleno etc; reportar con detalle todo lo que se observe en los núcleos.
3. Las instituciones que lleven a cabo proyectos de ingeniería aplicada, deberán publicar este tipo de trabajos, aunque sean puntuales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Allan, James. F. 1986, Geology of the northern Colima and Zocoalco Grabens, southwest Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt, Geological Society of America Bulletin, v. 97, p. 473-485.

Allan, James. F., Nelson, S., Lurh, J., Carmichael, I., Wopat, M y Wallace, P. 1991, Pliocene recent rifting in SW Mexico and associated volcanism: An exotic terrain in the making; In Dauphin, J and Simmoneit, B. Eds Gulf and the Peninsular Province of the California. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem 47, p.425-445.

Barker Meléndez, J., Rosales Espinoza, J., Rojas G. M y González Jiménez, L. 1981, Informe geológico preliminar del área de Cajones Municipios de Santa María del Oro y del del Nayar, Edo. de Nayarit. Informe SEPZPN, CFE.

Barrier, Eric., Bourgois, Jacques y Michaud, Francois. 1990, Le Systeme de rifts actifs du point triple Jalisco: vers un proto-golfe de Jalisco: Comptes rendus de l' Academie desciences (Paris), v. 307, ser 2, p. 1513-1520.

Bourgois, Jacques., Renard, V., Aubin, J., Bandy, W., Calmus, T., Carfantan, J.C., Guerrero, J., Mammerickx, J., Mercier de Lepinay, B., Michaud, F and Sosson, M. 1988, Fragmentación en cours du bord ouest du conent Nord American: Les frontieres sous-marines du Bloc Jalisco (Mexique): Comptes rendus del l' Académie des Sciences (Paris), v. 307, ser 2, p. 1121-1130.

Castillo H, D y De la Cruz M, V. 1992, Reconocimiento estructural y volcanológico en la zona termal del Domo San Pedro Lagunillas, Nayarit. México, Geofísica Internacional, v.31, n.4, p. 407-415.

Damon, Paul. Edward y Nieto Obregon, Jorge., 1979, Un plegamiento neogénico en Nayarit y Jalisco y evolución geomórfica del Río Santiago, Memoria XII Convenció Nacional. A.I.M.M.G.M.

Demant, Alain. 1979, Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v.3, n.1, p. 39-57.

Ferrari, Luca., Pasquaré, Giorgio., Venegas, Saúl., Castillo, Daniel y Romero, Francisco. 1994, Regional tectonics of western México and its implications for the norther boundary of the Jalisco Block, Geofísica Internacional, v.33, n. 1, p. 139-151.

Ferrari, Luca., Pasquaré, Giorgio., Venegas, Saúl., Castillo, Daniel y Romero, Francisco. 1993, Estudio Geológico Estructural del área Ceboruco-San Pedro del sector Noroccidentañl del rift de Tepic, Geotermia, Rev. Me. De Geoenergía, v.9, n.1, p. 93-116.

Garduño, V.H., Tribaldi, A., 1991, Cinematic Evolution of continental active triple junction of the western Mexican Volcanic Belt C.R. Acad. Sci. Part 312

Garrido Uribe, José Luis., Moreno Garnica, Salvador y Sánchez de la Vega B, Alberto. 1994, Síntesis geológica para la factibilidad y preconstrucción del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Informe SEZPN, CFE.

Gastil Gordon, Krummenacher D., Jensky II, W.A., 1978, Reconnaissance geology of west-central Nayarit, México. Departamento of Geological Sciences, San Diego State University, Bulletin.

Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil, Superintendencia de Estudios Zona pacífico-norte. 1995, Informe geológico en la etapa de preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Informe CIEyC, CFE.

Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil, Superintendencia de Estudios Zona pacífico-norte. 1995, Informe geológico en la etapa de preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. (Anexo F socavones), Informe CIEyC, CFE.

González Pomposo, G.J., Martín del Pozzo, A.L., Panohaya, Analco J y De Gante González, J. 1993, Estudio de la sismicidad y deformación del Volcán de Colima durante la crisis de abril de 1991, Geofísica Internacional, v. 32, N. 4, p. 671-682.

Havskov, J and M, Macias. 1983, A coda-length magnitude scale for some Mexican stations, Geofísica internacional, v.22, n.3, p.205-213.

Hoek, E., Brown, E.T. 1980, Excavaciones subterráneas en roca, Edit Mc Graw Hill, BookCo, U.S.A.

Ibarra, Maycotte., Navarro, C., Ortega, M., Álcala Aguilar, A y Briones, J.J. 1984, P.H. Aguamilpa, Nayarit. Factibilidad geotécnica del proyecto Alternativa Colorines, Río Santiago, Informe SEZPN, CFE.

Lermo, J., Cuenca, J., Monfret, T., Hernández, F y Nava, E. 1993, Algunas características espectrales de la sismicidad asociada a la actividad del Volcán de Colima, Geofísica Internacional, v. 32, N. 4, p. 683-697.

Lobeck, A., 1938, Geomorphology. An introduction to the study of landscapes, Ed. Mc Graw Hill, New York and London.

Luhr, F., James, Nelson. A., Stephen, Allan F y James, Crmichael E. Ian. 1985, Active rifting in southwestern Mexico: Manifestationn of an incipient eastward spreading-ridlge jump, Geology, v. 13, p. 54-57.

TESIS CON
FALLA DE ORICEN

Moreno Garnica, S., Rivapalacio CH, R., Garrido Uribe, J.L y Herrera Castañeda, S. 1995, Definición del área para la ubicación de las obras de generación subterráneas del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón Nayarit. Informe 9341-GR. CIEyC, CFE.

Nieto Obregón, J., Delgado Argote, L.A y Damon, P.E. 1985, Geochronologic petrologic and structural data related to large morphologic features between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt, Geofísica Internacional, v. 24, n.4, p. 623-663.

Ortega M,J.G., González, J.L y Barker, M.J. 1982, Obras de Excavación del estrechamiento Cajones, Proyecto Hidroeléctrico Cajones, Nayarit. Informe E2-02-03-05, SEZPN, CFE.

Parra Barrera, Ángel. 1994, Segundo estudio sismoacústico en el área de la boquilla del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Informe SEZPN, CFE.

Raisz, E.1964, Provincias fisiográficas de la República Mexicana, Burec of Naval Research, Cambridge Mass.

Ruvalcaba, M. 1995, Informe geológico en la etapa de preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Anexos D y E, Informe SEZPN, GEIC, CFE.

Sánchez de la Vega A Alberto., Garrido Uribe, José Luis., Moreno Garnica, Salvador., Alcalá Aguilar, Alberto y Cepeda Dávila, Leovigildo. 1995, Informe geológico en la etapa de preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Informe SEZPN, GEIC, CFE.

Sánchez de la Vega, A, Moreno Garnica, Salvador., Garrido Uribe, José Luis y Herrera Castañeda, S. 1995, Condiciones geológicas y geotécnicas en la zona de cimentación de la presa de doble arco del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.. Informe 95-06-GR. GIEyC, CFE.

Soto Gutiérrez, M.A., Ramos S., Vera Ramos y Rojas G, Manuel. 1980, Geología regional y local de los estrechamientos La Múruca, La Yesca y Cajones localizados sobre el Río Santiago, estados de Jalisco y Nayarit. Informe E2-08-20-07, SEZPN, CFE.

Quintero Legorreta, O y Michaud, F., Barrier, E. 1992. Evolución de la frontera septentrional del Bloque Jalisco, México desde hace 17 m.a, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v.10, n.2, p. 111-117.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN