

1GB  
215  
Pg 483

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE GEOLOGIA

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LA  
PRESA "EL SALTO"  
MUNICIPIO DE ELOTA, SINALOA

T E S I S

Que como requisito parcial para  
obtener el grado de

GEOLOGO

Presenta

FRANCISCO ANTONIO ESPARZA YANEZ



Hermosillo, Sonora

Junio de 1989

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

A MI ESPOSA ELIZABETH,  
POR SU APOYO Y COMPRENSION

A MI HIJO ALAN,  
POR LA INSPIRACION QUE  
CREA EN MI

A MIS HERMANOS,  
CON AFECTO

A MI MADRE,  
CON TODO MI AMOR  
Y RESPETO

A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS,  
LUZ Y MATEO . . . .

Julio 04. 1988.

Sr. ING. RICARDO AMAYA  
COORDINADOR DE LA ESCUELA DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
HERMOSILLO, SONORA  
P R E S E N T E.

Estimado Señor Ingeniero:

Por medio de la presente me permito enviarle a usted el titulo y tematica de la tesis que como requisito parcial para obtener su grado de Geologo presenta el señor FRANCISCO ANTONIO ESPARZA YANEZ.

De la manera mas atenta y con el debido respeto, ruego a usted inicie los tramites necesarios para la aprobacion, en su caso, de este tema y la designacion de sinodales y de director de tesis.

Aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e,



DR. GUILLERMO A. SALAS

ANEXO: Documento  
C.c.p. El interesado.



Departamento de Geología

Junio 16, 1989.

DR. GUILLERMO A. SALAS P.  
Asesor de Tesis  
P r e s e n t e

Por este conducto, me permito informar a usted  
que ha sido aprobado el tema de tesis:

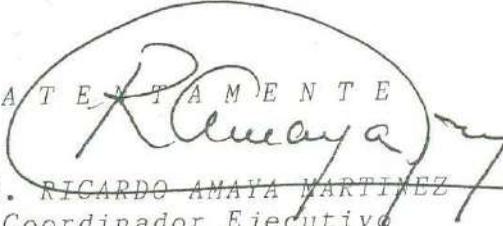
"GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LA PRESA EL SALTO,  
MUNICIPIO DE ELOTA, SINALOA".

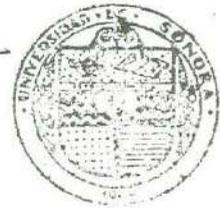
El cual será desarrollado por el pasante:

FRANCISCO ANTONIO ESPARZA YAÑEZ

Sin otro en particular, reciba usted. un saludo  
cordial.

A T E N T A M E N T E

  
ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ  
Coordinador Ejecutivo



RAM\*ag

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPTO. GEOLOGIA



Departamento de Geología



BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA

NOMBRE DE LA TESIS:

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LA PRESA EL SALTO, MUNICIPIO DE ELOTA, SINALOA"

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

FRANCISCO ANTONIO ESPARZA YAÑEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

*[Handwritten signature]*  
DR. GUILLERMO A. SALAS PIZA.

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

*[Handwritten signature]*  
GEOL. MANUEL IGNACIO GUERRA ROBLES.

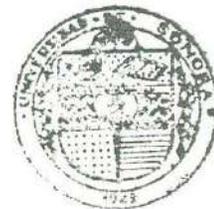
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

*[Handwritten signature]*  
GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO.

A T E N T A M E N T E  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

*[Handwritten signature]*

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ  
COORDINADOR EJECUTIVO



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPTO. GEOLOGIA

LISTA DE TABLAS .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	IV
LISTA DE GRAFICAS .....	V
RESUMEN .....	VI
INTRODUCCION .....	1
a) Localizacion y acceso .....	7
b) Objeto del estudio .....	10
c) Material y metodos de trabajo .....	11
d) Trabajos previos .....	15
e) Fisiografia y geomorfologia .....	17
f) Factores Climatologicos e Hidrometeorologicos..	19
g) Hidrografia .....	23
GEOHIDROLOGIA .....	27
MARCO GEOLOGICO REGIONAL .....	29
GEOLOGIA ESTRUCTURAL .....	35
TECTONICA .....	36
HISTORIA GEOLOGICA .....	40
SISMISIDAD .....	46
GEOLOGIA DE LA PRESA "EL SALTO" .....	51
GEOTECNIA .....	53
a) Boquilla "El Salto" .....	59
b) Dique "El Bajio" .....	77
c) Vertedor .....	82
d) Tunel "El Salto" .....	85
DISCUSION .....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
AGRADECIMIENTOS .....	99
BIBLIOGRAFIA .....	100

APENDICE A.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO .....	
A.1	Dique "El Bajio" .....	A/1
A.2	Vertedor de demasias .....	A/12
APENDICE B.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES CON DIAMANTE Y PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.	
B.1	Boquilla "El Salto" .....	B/15
B.2	Dique "El Bajio" .....	B/23
B.3	Vertedor de demasias .....	B/33
B.4	Obra de toma baja (tunel "El Salto")....	B/43
APENDICE C.	RESUMEN DE FRACTURAS .	
C.1	Tunel "El Salto" (Obra de toma baja)....	C/48
APENDICE D.	REGISTROS SISMICOS.....	D/51
APENDICE E.	M A P A S .....	BOLSA
E.1	Geologico regional	
E.2	Croquis Geologico y localizacion de Exploraciones.	
E.3	Corte geologico-estructural con pruebas de permeabilidad de la Boquilla.	
E.4	Tratamiento de cimentacion de la Boquilla El Salto.	
E.5	Tratamiento de cimentacion de la Boquilla El Salto (reinyectado).	
E.6	Levantamiento geologico Dique "El Bajio".	
E.7	Levantamiento estructural en el tajo de entrada del Tunel "El Salto".	
E.8	Levantamiento geologico estructural del Tunel "El Salto".	

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Localizacion del area de Estudio .....	8
2	Localizacion del area de Estudio .....	9
3	Provincias fisiograficas mexicanas .....	17
4	Tectonica de la Costa Pacifica de Mexico .....	39
5	Migracion del arco magmatico y paleogeografia de Mexico desde el Cretacico .....	45
6	Zonificacion sismica de la Republica Mexicana .	47
8	Epicentros de sismos ocurridos en el Golfo de California entre 1961 y 1967 .....	49
9	Ubicacion de los sismos registrados de 1922 a 1966 y de 1971 a 1982 .....	50

## LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA		PAGINA
1	Climograma segun el Metodo de Thornthwaite ....	20
2	Relaciones entre la precipitacion y la evapotranspiracion potencial .....	22
3	Histogramas de promedio de consumos general de cemento .....	73
4	Graficas de consumo de cemento segun Etapas ...	74
5	Histogramas de promedio de consumos general de cemento (reinyeccion) .....	75
6	Graficas de consumo de cemento segun Etapas (reinyeccion) .....	76

## RESUMEN

La Presa Almacenadora "El Salto", se construyó sobre el Río Elota en la parte noroeste de México, a unos 105 km al sur-este de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Junto con la Derivadora Piaxtla, en vías de construcción, forman parte del Proyecto "Elota-Piaxtla". Su construcción se inició en 1981 faltando, a la fecha, ciertos detalles por culminar. Las obras incluyen la construcción de una cortina de enrocamiento de 72 m de altura, con un volumen de 1'614,200 m<sup>3</sup>, la cual creará un embalse de 3,097 Has. de superficie a la elevación de 155.00 m.s.n.m., dando un gasto máximo, para la estructura vertedora y obras de toma, de 3,655 m<sup>3</sup>/seg. Con el fin de definir el sitio para la construcción de la Presa, personal técnico de la S.A.R.H. realizó una serie de exploraciones en tres áreas o alternativas, seleccionándose la alternativa II. Las unidades geológicas que afloran en la región están constituidas principalmente de rocas volcánicas, representadas por riolitas, tobas, basaltos y brechas, además de un conglomerado y un cuerpo granítico. En base a los registros históricos, geológicos y tectónicos se considera que el área de la Presa "El Salto" está ubicada en una zona de BAJA SISMICIDAD (bajo riesgo sísmico). El cañón donde se construyeron las obras de la Presa, fue formado por la erosión fluvial del Río Elota, en rocas de composición basáltica. En general, las unidades litológicas, tienen un basculamiento hacia el oeste, no encontrándose evidencias de esfuerzos compresionales. Se detectaron tres patrones de fracturamiento. Se observó fallamiento normal en la zona de desplante del Dique "El Bajío" y en dos tramos de la obra de toma baja (Túnel "El Salto"). Se estudiaron las características geológicas y geotécnicas de tres ejes para la construcción de la cortina dentro del curso del río, mediante exploraciones con máquina rotaria, con el fin de determinar las características de la roca así como el espesor de acarreo. Posteriormente, una vez seleccionada la alternativa II, se emprendió otro programa de perforación para estudiar detalladamente las obras complementarias como son túnel, dique y vertedor.

## INTRODUCCION

En todo proyecto para la construcción de una presa es necesario realizar varios estudios que por su importancia influyen en la correcta terminación de la misma.

Anteriormente, las obras hidráulicas, particularmente las presas, se realizaban empíricamente, ajustándose las técnicas en la construcción de la obra misma, tomándose experiencia tras experiencia (a prueba de aciertos y error). En la actualidad toda construcción de cualquier tipo de presa se rige por toda una serie de estudios encaminados a su diseño, construcción, conservación y mantenimiento, interviniendo en ello una amplia gama de profesionales (Ing. civil, Ing. en hidráulica, Ing. topógrafo, etc.), tomando una mayor importancia la colaboración del Geólogo, a través de la GEOTECNIA o de la GEOLOGIA APLICADA. Ya que se consideraba que la actividad del geólogo se remitía únicamente en la búsqueda de yacimientos minerales, y otras actividades relacionados con el ramo de exploración con fines mineros.

En la actualidad, el campo de la geología es muy amplio y versátil, existiendo especialización para cada una de las diferentes ramas que la conforman. La geología aplicada, y la geotecnia son dos ramas de especialización, en la cual el papel del geólogo es primordial, adquiriendo cada vez más fuerza por lo sofisticado de las construcciones de las obras civiles (sean edificios, túneles, carreteras, presas, etc.), estudiándose desde la geología del area, punto de vista meramente geológico, antes de

decidir si es factible su construcción, hasta en el momento y durante la construcción de las mismas.

Han sido muchas las personas que se han encargado de estudiar todos los factores geológicos desde el punto de vista de la ingeniería, por citar ejemplos diremos de las características de las rocas, su calidad (fracturamiento y alteración), su resistencia a los distintos esfuerzos de deformación, su comportamiento al someterlas a condiciones diferentes de esfuerzos, etc., creándose laboratorios de análisis especiales para determinar todas las condiciones que presentan las rocas en su estado natural, haciendo experimentos a través de modelos a escala con el fin de establecer su posible comportamiento y poder diseñar el factor de seguridad que requiere la obra en si.

El estudio de la geotecnia aplicada en presas comenzó a tomar fuerza debido a que se fueron agotando los "sitios naturales propicios" para la construcción de las mismas, reflejados por una mala calidad de la roca de desplante, de permeabilidades relativamente altas, motivado por el fracturamiento del macizo rocoso, de un considerable aumento en los asentamientos humanos aguas abajo, razón por la cual se hicieron necesarios estudios mas detallados sobre la geología de los sitios donde se desplantarían estas. De tal modo que el incremento en las necesidades de urbanización, de los objetivos y de la complejidad de las condiciones geológicas, dieron la pauta para la construcción de más grandes y sofisticadas presas.

En México, durante el siglo XV se iniciaron las construcciones de presas pequeñas (o bordos) con fines de almacenamiento o prevención de inundaciones, las cuales satisfacían esas necesidades por lo reducido de las comunidades. Con el crecimiento demográfico y el considerable desarrollo industrial, fué necesario no solo aumentar el número de ellas, sino que los objetivos también fueron modificados entre ellos, creándose la necesidad de un mayor volumen de abastecimiento en agua potable producido por el ya mencionado incremento. Asimismo, debido a esto, fué necesario pensar en presas de retención de azolves para reducir al mínimo el aporte de sedimentos al área de captación, prolongando con esto la vida útil de las mismas; en las zonas donde existe sobre-explotación de agua, sea para uso urbano, agrícola, ganadero ó industrial, se requiere de la construcción de presas con fines de recargar el acuífero, evitándose problemas en los diferentes sectores públicos y de servicios a la comunidad a la cual sirve. Debido a la existencia de precipitaciones extraordinarias que se presentan en zonas de ciclones, tornados, chubascos, huracanes, etc., las cuales ocasionan pérdidas humanas y materiales al no tener defensa contra éstos fenómenos naturales, se genera la necesidad de construcción de presas para control de avenidas. Sumándose a las necesidades ya mencionadas de una comunidad, existen también las presas con fines de recreo; todas con miras a satisfacer necesidades de una población, dentro de los más estrictos controles de seguridad, economía y calidad de los materiales utilizados para su construcción.

Actualmente es imperante en nuestro país aprovechar

adecuadamente los recursos hidráulicos, especialmente en aquellos estados de climas áridos y semiáridos donde el control de este líquido, es vital para su desarrollo. De acuerdo a lo anterior el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Recursos Hidráulicos tiene contemplado la implementación de una red de interconexión de presas en la porción noroeste del País, aprovechándose los sobrantes de agua y apoyando así el avance de la región. Esta se inicia en el Estado de Nayarit, continúa por Sinaloa y culmina en Sonora.

Sinaloa, lugar donde se localiza la Presa "El Salto", motivo del presente trabajo, se caracteriza por presentar un régimen pluviométrico alto, comparándolo con el de Sonora, contando con una amplia red de ríos distribuidos a todo lo largo del mismo, los cuales se pretende aprovechar de una manera más productiva con la construcción de una serie de presas, tecnificando e incrementándose el sector agroindustrial.

La Presa de Almacenamiento "EL SALTO" forma parte del Sistema Hidráulico del Noroeste (SHINO), cuyo objetivo es aprovechar y controlar los escurrimientos naturales del Río Elota, que junto con la construcción de la Presa Derivadora Piaxtla, proporcionarán riego a 65,000 Ha de tierras de buena calidad que han sido precariamente explotadas por falta de obras de infraestructura hidráulica, limitándose únicamente a los períodos de lluvia para su aprovechamiento.

La presa está ubicada sobre el Río Elota, 18 Km aguas arriba

del poblado del mismo nombre, y consta de dos diques para evitar derrames del embalse a traves de los puertos "El Salto Grande" y "El Bajio", obras de toma alta y baja (Túnel "El Salto") respectivamente. La obra de toma alta formara parte del cuerpo de la cortina, es decir se construira una estructura especial que cortara normalmente a la cortina, la cual contara con un sistema de compuertas para su utilizacion en caso de presentarse una avenida extraordinaria sobre el rio Elota, existiendo junto con la obra de toma baja y el vertedor, una mayor capacidad de desfogue y por consiguiente mayor seguridad de la obra. La tabla 1 muestra las caracteristicas mas importantes.



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

EL SABER DE MIS HEROS  
TARA MI GRANDEZA

TABLA No. 1

PRESA "EL SALTO"

CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES

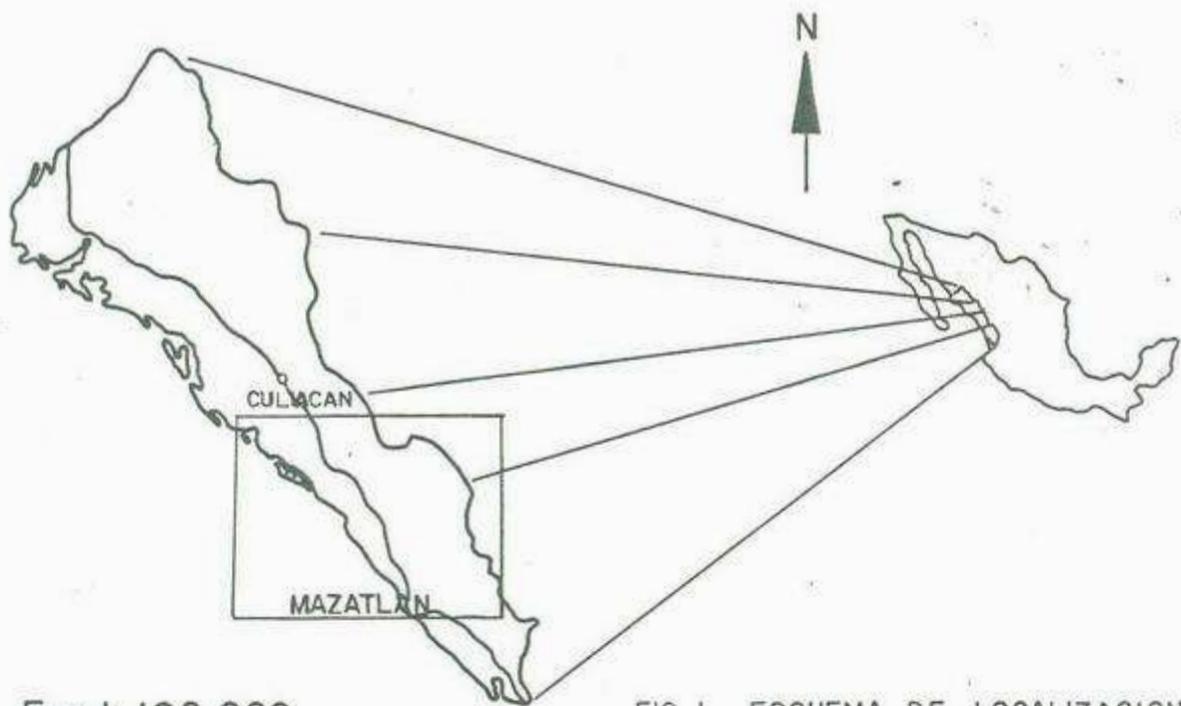
<u>Cortina</u>	
Almacenamiento .....	748 Hm <sup>3</sup> .
Elev. N.A.M.E .....	163 msnm.
Altura Máxima .....	72 m
Longitud .....	364 m
<u>Toma Alta</u>	
Capacidad .....	45 m <sup>3</sup> /seg
Elev. Umbral .....	125 msnm.
<u>Toma Baja</u>	
Capacidad .....	8 m <sup>3</sup> /seg
Elev. Umbral .....	120 msnm.
<u>Vertedor</u>	
Gasto Máximo .....	4,820 m <sup>3</sup> /seg
Longitud Cresta .....	100 m

## LOCALIZACION Y ACCESOS

El area de estudio se localiza en la porción sur del Estado de Sinaloa aproximadamente a 100 Km en línea recta y en dirección de 46 grados al SE de la Ciudad de Culiacán con coordenadas de 106 grados 40' Longitud Oeste y 24 grados 01' Latitud Norte (Figs. 1 y 2).

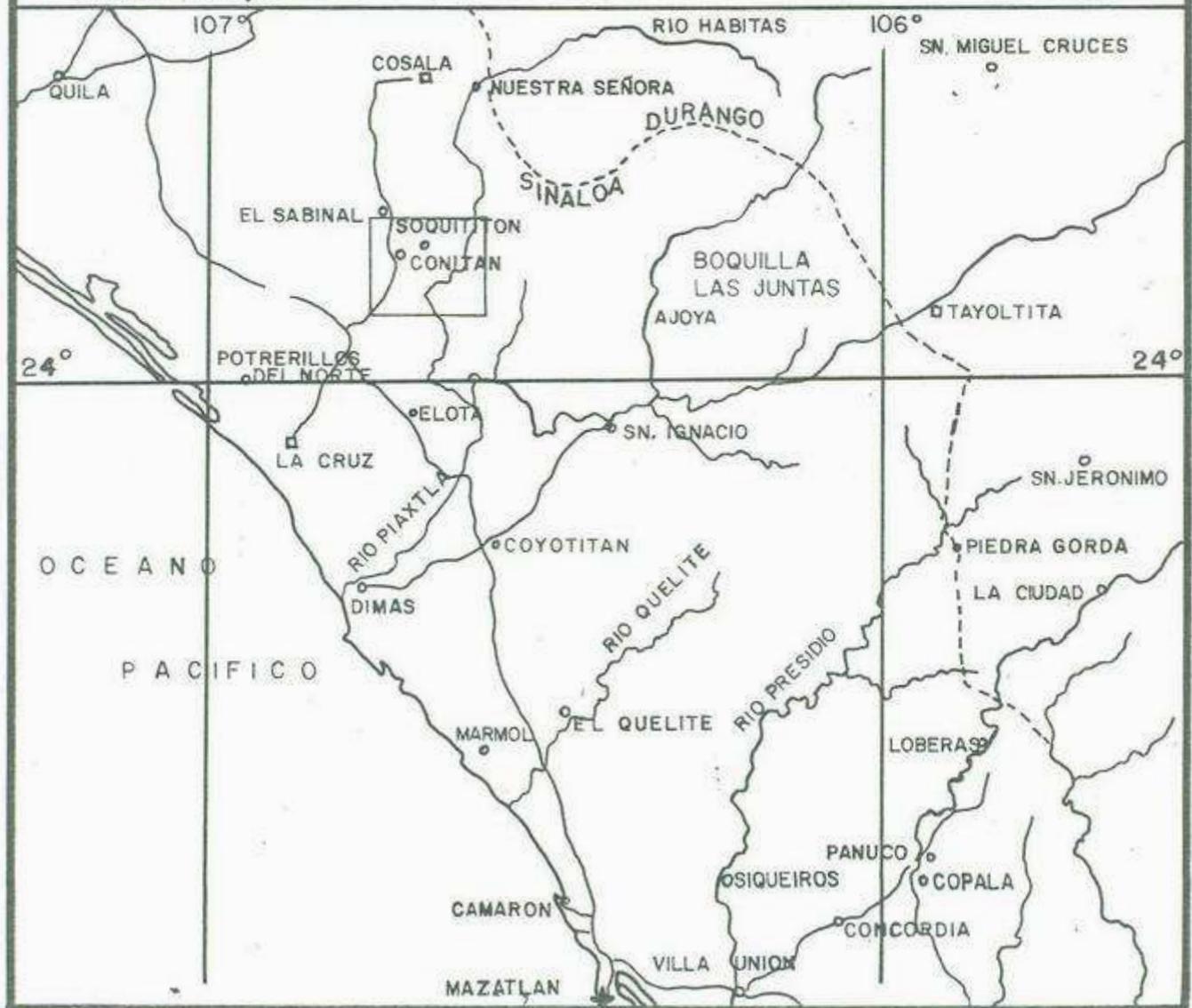
El acceso a la presa se realiza partiendo de la Ciudad de Mazatlán hacia el norte por la Carretera Internacional No.15 (MEXICO-NOGALES) recorriendo 111 Km hasta llegar al entronque con la carretera que conduce al poblado de Cosalá, recorriendo 12 Km, tomando despues el camino directo a la obra, transitando 15 Km. De igual modo es posible llegar al area de estudio recorriendo 95 Km por la Carretera Internacional No. 15 de Mazatlán rumbo a Culiacán, hasta llegar al entronque que conduce al poblado de Elota. Se continúa durante 2 km hasta el poblado, para posteriormente tomar un camino de terracería de 18 Km, mismo que da acceso directo al Proyecto.

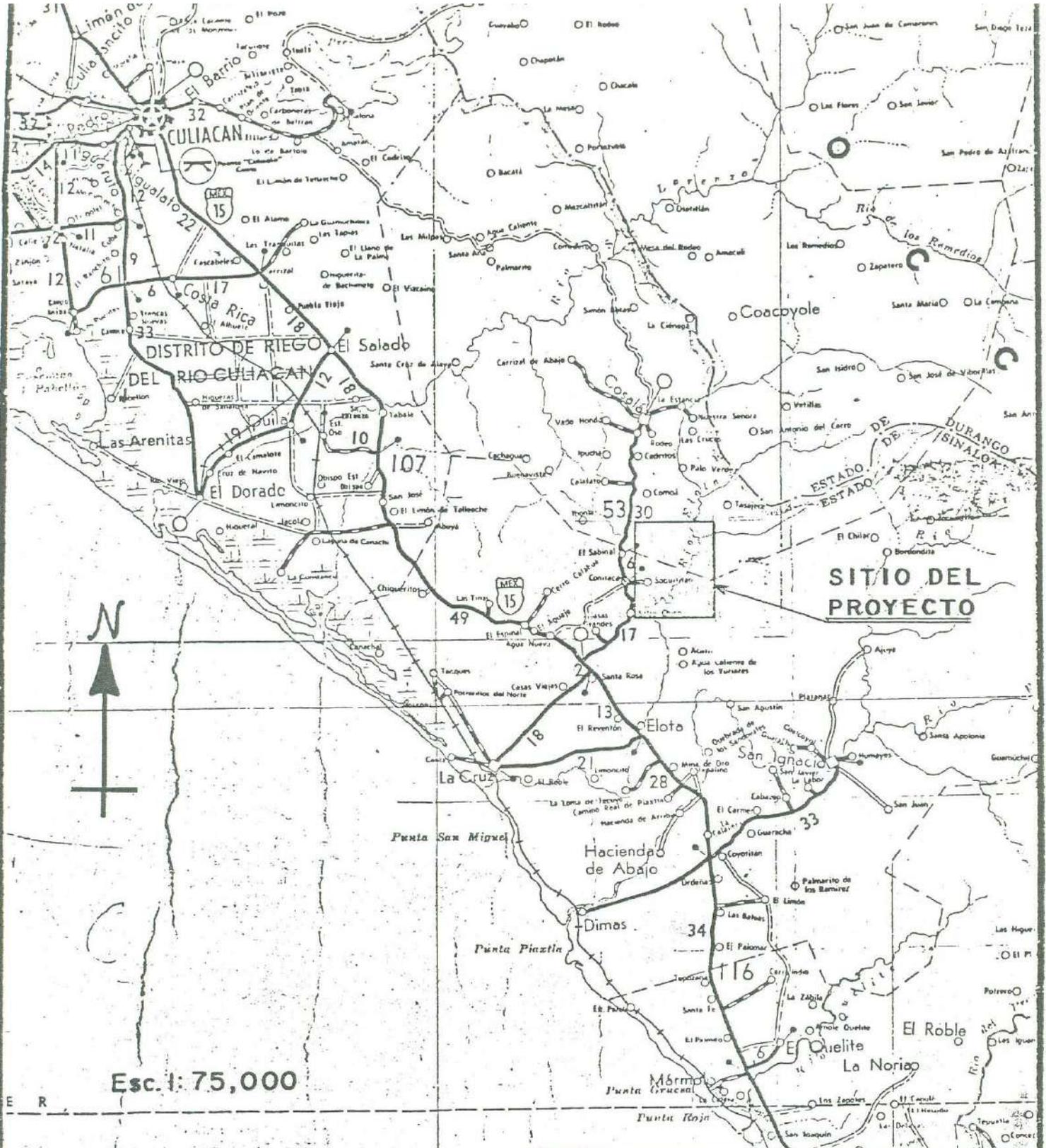
Existe una pequeña aeropista en las afueras del poblado La Cruz, localizado a 28 Km de la Presa.



Esc. 1: 100,000

FIG. 1 ESQUEMA DE LOCALIZACION





Esc. 1: 75,000

FIG. 2

LOCALIZACION GEOGRAFICA	
PROYECTO:	ELOTA PIAXTLA PRESA EL SALTO
MUNICIPIO:	ELOTA
ESTADO :	SINALOA .

## OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

- 1) Determinar la factibilidad de construcción de una presa en el cauce del Río Elota.
- 2) En base a los estudios de reconocimiento y de exploración regional del curso del Río Elota proponer la alternativa II como la mejor.
- 3) Tomando en cuenta la geología regional elaborar estudios detallados del área El Salto.
- 4) Aplicar la geología en el análisis y estudio de cimentaciones y mecánica de suelos en una presa de regular tamaño.
- 5) Integrar los estudios interdisciplinarios de: geología y geotecnia como un factor determinante para la implementación y aplicación en obras hidráulicas en general.

## MATERIAL Y METODO DE TRABAJO

Las actividades que se desarrollaron en la realización del presente estudio se agrupan en las siguientes etapas:

### A) RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

Recopilación de la información existente en los archivos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de los estudios elaborados por la Subdirección de Geología, Estudios Específicos, Geohidrología y Proyectos, así como de información recabada de distintas fuentes relacionadas directa e indirectamente con el área en cuestión.

### B) RECONOCIMIENTO GEOLOGICO

Interpretación fotogeológica de fotografías aéreas verticales escala 1:75000 delimitando unidades y los principales rasgos estructurales, culminando con la elaboración del mapa fotogeológico (Apendice E.1). Posteriormente se realizó la verificación del mapa por medio de levantamientos geológicos a detalle tanto de la zona de la boquilla y vertedor (escala 1:1000), como del vaso (escala 1:5000) y de la obra de toma.

### C) LEVANTAMIENTO GEOLOGICO SUPERFICIAL A DETALLE

Se realizó un levantamiento geológico apoyados en planos topográficos 1:1000 de la zona donde se desplantaron las estructuras principales: boquilla, dique y vertedor. El equipo utilizado en la realización de los diferentes trabajos se llevaron a cabo con tránsito y plancheta para la configuración topográfica, señalándose los distintos puntos en el terreno por medio de estacas, en las cuales se indicaban el cadenamiento respectivo para cada una de las diferentes estructuras, es decir estos puntos de referencias marcados sobre el terreno (por lo general marcados sobre los ejes de simetría de las estructuras) sirvieron de base para el levantamiento geológico, en el cual se utilizó, principalmente, la brújula y la ayuda de un flexómetro como complemento, para marcar en el terreno los distintos rasgos geológicos importantes que no quedaban dentro de la línea de estacas, sirviendo cada una de estas como centro de radiaciones o puntos de apoyo para la ubicación de los diferentes rasgos, asimismo, si la ocasión lo ameritaba se recurría nuevamente a la brigada de topografía para que se marcara la ubicación y elevación exacta del o de los puntos de interés.

### D) PROGRAMA DE POZOS A CIELO ABIERTO (P.C.A)

Antes de proceder a estudios mas detallados, y debido a la gran capa de suelo que existe en el area, el cual cubría las características geológicas presentes en las diferentes zonas, se optó por realizar una serie de pozos a cielo abierto con el fin de

tener mas información de las características de las rocas donde se desplantarían las estructuras; estos pozos a cielo abierto se realizaron principalmente sobre el eje del dique "El Bajío" y el vertedor; en el dique se realizaron 11 pca. (de ocho programados), mientras que en el vertedor hubo necesidad de excavar 3 pca. (de dos programados) ya que debido a las características constructivas del mismo, el departamento de Ingeniería Hidráulica, requirió de un mayor muestreo para analizar el comportamiento a través de sus modelos a escala.

#### E) PROGRAMA DE EXPLORACION CON PERFORACION DE DIAMANTE

Una vez llevado a cabo el programa pozos a cielo abierto se realizaron una serie de exploraciones con maquina de diamante para estudiar las características físicas de la roca en el subsuelo a una profundidad mayor, ya que los PCA no sobrepasaron los 5.00 m de profundidad, analizándose el índice de calidad de la roca así como los coeficientes de permeabilidad, de acuerdo con la clasificación de U.Deere. En la tabla No. 2 se presenta el Programa de Exploraciones exponiéndose el número de barrenos por estructura, así como los metros de perforación estimados para cada caso.



EL SEÑOR DE NUESTRO  
HONORABLE  
RECTOR DE LA UNAM  
D. JOSÉ GARCÍA  
RIVERA

TABLA No. 2

PROYECTO "ELOTA-PIAXTLA"

PROGRAMA DE EXPLORACIONES CON MAQUINA ROTARIA  
Y PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

PRESA "EL SALTO"

ESTRUCTURA	NO. DE BARRENOS	TOTAL MTS. POR PERFORAR	PRUEBAS DE PERMEABILIDAD
BOQUILLA "EL SALTO"	4 (CUATRO)	160.00 M	A CADA 5.00 MTS
DIQUE "EL BAJIO"	5 (CINCO)	85.00 M	A CADA 5.00 MTS
OBRA DE TOMA BAJA	5 (CINCO)	200.00 M	* SIN PRUEBAS
VERTEDOR "EL SALTO"	5 (CINCO)	125.00 M	A CADA 5.00 MTS

(\*) TRABAJOS PREVIOS

AUTOR	AÑO	DESCRIPCION DEL TRABAJO
NARVAEZ, M.A.	1968	Trabajo inédito para la SARH presenta informe preliminar de las características geológicas de la boquilla "El Salto". Concluye con explorar dos alternativas con máquina a diamante.
BOLANOS M., F.	1971	Realiza para la SARH informe geológico parcial sobre las alternativas propuestas por el Ing. Narváez. Concluye que las condiciones son favorables recomienda extender el estudio con perforaciones adicionales y pozos a cielo abierto.
HERRERA, M.	1977	Continuó con los estudios de perforación en ambas boquillas Concluye con la alternativa II con mejores características para la construcción de una Presa almacenadora.
RODRIGUEZ., R y CORDOBA, D. A.	1978	Editores. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Gobierno del Estado de Sinaloa. "Atlas Geológico y Evaluación Geológico-Minero del Estado de Sinaloa". Regional.

AUTOR	ANO	DESCRIPCION DEL TRABAJO
LOPEZ-MEJIA et al.	1984	Realizaron un levantamiento geologico superficial del area del proyecto para presa "Las Juntas", etapa preliminar. Se localiza a 30 km al sureste del area del presente estudio.
CIA. EXYCO, S. A.	1985	Estudio de Prefactibilidad del proyecto "Las Juntas", para la SARH (presa almacenadora).

(\*) Todos los trabajos antes mencionados, con excepción del editado por Rodríguez y Córdoba (1977) son inéditos. El realizado por la Cia. Exyco, S.A. es exclusivo para la SARH.

## FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

De acuerdo a Raíz (1964) el area de estudio se encuentra ubicada en dos subprovincias. La zona occidental pertenece a la Subprovincia "Costa de Sinaloa y Nayarit" de la Provincia denominada Cordilleras Sepultadas. La porción oriental es parte de la Subprovincia de "Sierras y Valles Paralelos" que forma parte de la Sierra Madre Occidental (fig. 3).

La geomorfología en la porción occidental esta caracterizada por topografía plana con algunas lomas de poca elevación formadas por rocas volcánicas y granitos del Terciario. Las elevaciones mas bajas se encuentran cerca del poblado Elota alcanzando cotas hasta de 140 m. s.n.m. Al oriente, en la subprovincia de "Sierras y Valles Paralelos" se observan pequeñas sierras de rocas igneas extrusivas y piroclásticas con rumbo general NW-SE interrumpidas por cañones profundos con dirección E-W. Las partes altas están constituidas por riolita y cerros redondeados de granito, toba arenosa y conglomerado, así como toba lítica y andesítica las cuales presentan altos topograficos y escarpes. Las elevaciones maximas se encuentran en las porciones noroeste y suroeste del area, alcanzando cotas entre los 1300 y 1560 m.s.n.m.

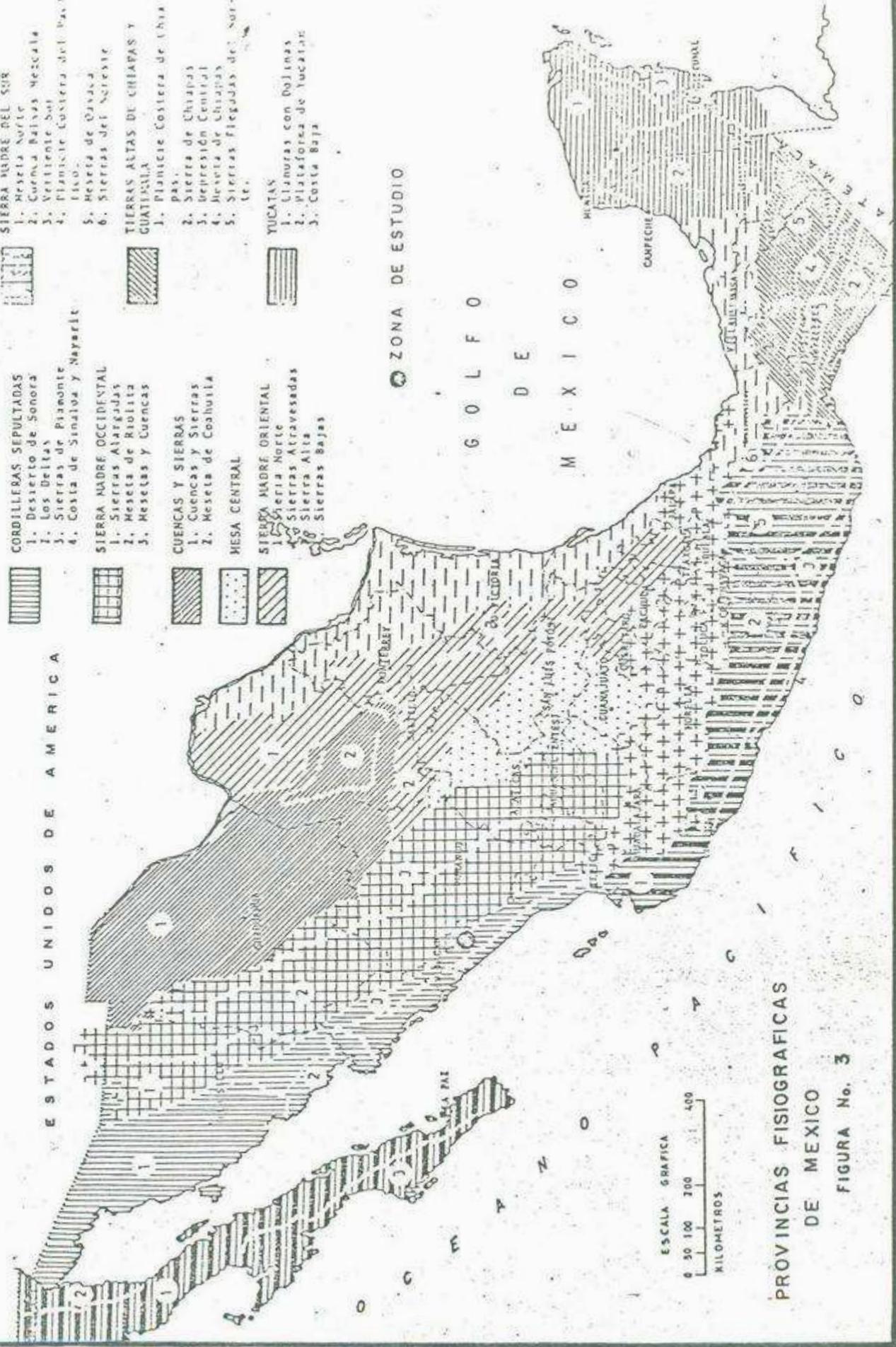


BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

LIBRERÍA DE MIS HIJOS  
SU GRANDEZA

- BAJA CALIFORNIA**
1. Baja California
  2. Delta del Rio Colorado
  3. Tierras Bajas
- CORDILLERAS SEPULTADAS**
1. Desierto de Sonora
  2. Los Deltas
  3. Sierras de Pimonte
  4. Costa de Sinaloa y Nayarit
- SIERRA MADRE OCCIDENTAL**
1. Sierras Alargadas
  2. Meseta de Riolita
  3. Mesetas y Cuencas
- CUENCAS Y SIERRAS**
1. Cuencas y Sierras
  2. Meseta de Coahuila
- MESA CENTRAL**
- SIERRA MADRE ORIENTAL**
1. Sierra Norte
  2. Sierras Atravesadas
  3. Sierra Alta
  4. Sierras Bajas
- TIERRAS ALTAS DE CHIAPAS Y QUATZIJUAT**
1. Planicie Costera de Chiapas
  2. Sierra de Chiapas
  3. Depresión Central
  4. Meseta de Chiapas
  5. Sierras Flegadas del Norte
- YUCATAN**
1. Llanuras con Dolinas
  2. Plataforma de Yucatan
  3. Costa Baja
- PLANICIE COSTERA DEL GOLFO**
- EJE NEOVOLCANICO**
- SIERRA MADRE DEL SUR**
1. Meseta Norte
  2. Cordillera Balsas Mescala
  3. Vertiente Sur
  4. Planicie Costera del Pasado
  5. Meseta de Oaxaca
  6. Sierras del Sureste

- ESTADOS UNIDOS DE AMERICA**
- ZONA DE ESTUDIO**
- GOLFO DE MEXICO**
- YUCATAN**
- SIERRA MADRE ORIENTAL**
- SIERRA MADRE OCCIDENTAL**
- CUENCAS Y SIERRAS**
- MESA CENTRAL**
- CORDILLERAS SEPULTADAS**
- BAJA CALIFORNIA**



PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO  
FIGURA No. 3

## FACTORES CLIMATOLOGICOS E HIDROMETEOROLOGICOS

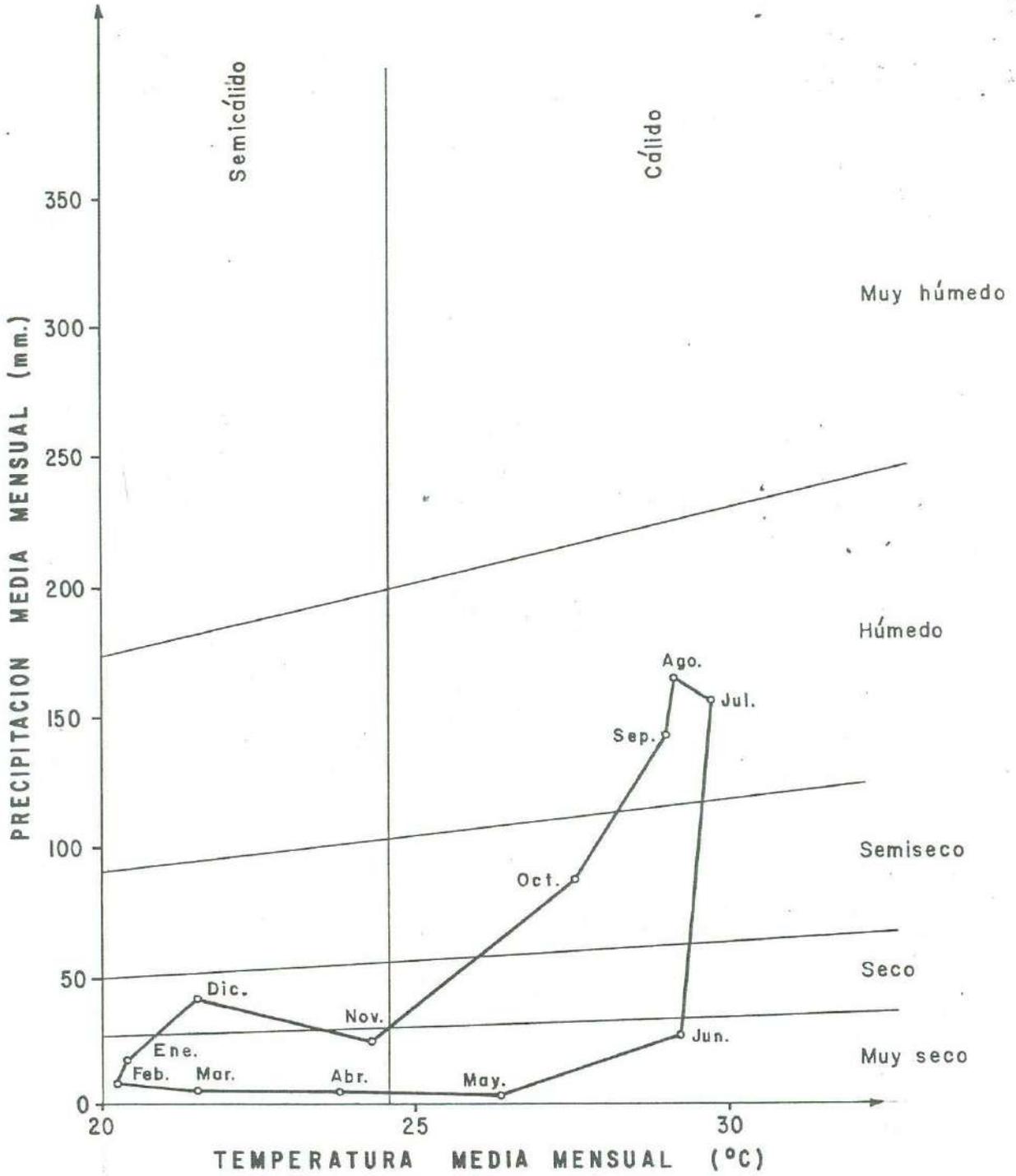
Con base en los registros de la estación climatológica Elota y de acuerdo con la clasificación de Thornthwaite (1972), el clima en la región es húmedo, con lluvias torrenciales pero aisladas y cálido con régimen normal de calor. La temperatura media anual durante 1957-77, fue 25.2 grados C. La máxima media anual (25.8 grados C) corresponde a 1972 y la mínima de igual orden (24.6 grados C) a 1960. La gráfica 1 muestra las temperaturas promedio y máxima y mínima absolutas. No existe gran incidencia de heladas.

Por cuanto se refiere a precipitación, durante el mismo período, la media anual es de 663 mm, habiendo sido 1958 el año de mayor lluvia con 1,171 mm; y 1957 el de menor precipitación con 414 mm. Según puede observarse en la gráfica 1, en el climograma la temporada lluviosa corresponde al lapso julio-octubre que es cuando se precipita el 82% de la lluvia media anual. También puede apreciarse que agosto es el mes al que corresponde la mayor precipitación que asciende, en promedio a 1,164 mm. A medida que se desciende por la planicie hacia el mar la precipitación es menor llegando a promediar menos de 500 mm al año en la estación La Cruz localizada en las cercanías del desemboque del Río Elota.

La región es afectada por ciclones que se generan en el Pacífico Norte. Durante el período 1921-1975 se presentaron 169 de los cuales 21 entraron a la zona de estudio ocasionando

# CLIMOGRAMA SEGUN EL METODO DE THORNTHWAITE

— ESTACION ELOTA —  
(1957-1977)



GRAFICA No. 1

abundantes lluvias. El Ciclón Naomi, que penetró a tierra por el sur de Sinaloa en septiembre de 1968, originó las mayores crecientes registradas en los ríos Elota y Piaxtla.

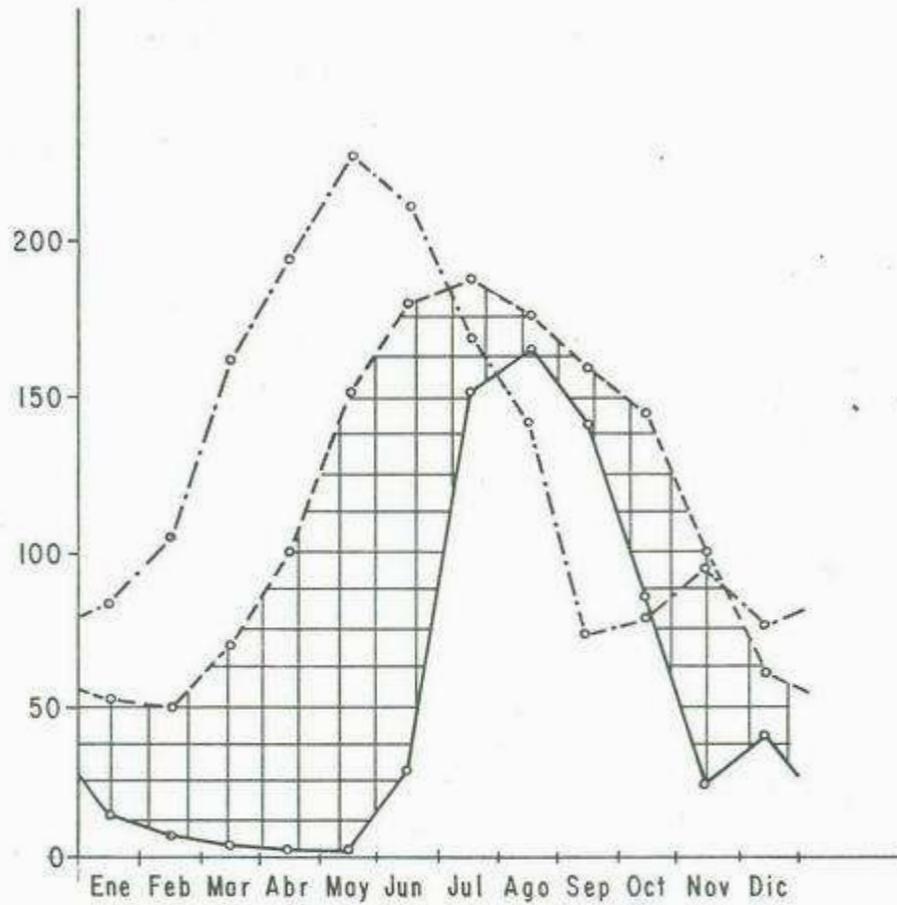
La evaporación media anual es de 1,710 mm, con máxima de 1,819 mm en 1957 y la mínima de 1,568 mm en 1976. La mayor evaporación tiene lugar durante los meses de marzo a agosto, y la máxima mensual se presenta en mayo (gráfica 2). La evapotranspiración potencial, mediante el método de Thornthwaite sería de 1,419 mm. En la gráfica 2 se observa como la precipitación no sobrepasa en ningún mes del año a la evapotranspiración potencial.

GRAFICA No. 2

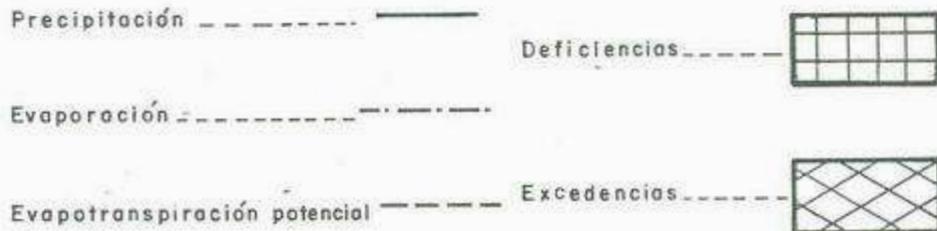
RELACIONES ENTRE LA PRECIPITACION; LA EVAPORACION  
Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

— ESTACION ELOTA —

( 1957 - 1977 )



S I M B O L O G I A



## HIDROGRAFIA

El área se encuentra drenada por un sistema fluvial integrado por corrientes perennes que bajan de la Sierra Madre Occidental y por corrientes secundarias intermitentes. Los principales ríos corren de este a oeste y de noreste a suroeste y están relacionados con la estructura regional, ya que en algunos sitios los meandros y los cruces de las sierras se encuentran controlados por fallas y fracturas.

Los ríos más importantes son el El Elota y El Cosalá, éste último afluente del primero. El Río Elota drena la porción este del área de estudio, con dirección general este-oeste, recibiendo las aguas del Río Cosalá aproximadamente a 5 km al sur del límite estatal Durango-Sinaloa. El Río Elota nace bajo el nombre de río Habitas 34 Km al poniente del poblado de San Miguel de las Cruces, Durango a 2,900 m de altitud. Escurre sus primeros 50 Km en dirección oeste hasta llegar al límite con el Estado de Sinaloa, donde cambia de rumbo hacia el sur en donde, aproximadamente a 5 Km se le incorpora el Río Cosalá por la margen derecha. En igual dirección escurre otro tramo de 84 km, que recibe las aguas del arroyo Conitaca. Pasa por el poblado del mismo nombre y cruza la carretera Mexico-Nogales. Finalmente se desvía hacia el oeste recorriendo otros 35 Km antes de desembocar en el Océano Pacífico a la altura del poblado La Cruz. La trayectoria total es de 165 Km aproximadamente.

El Servicio Geológico  
Nacional de México  
Instituto de Geología  
Departamento de Geología  
BIBLIOTECA

## HIDROMETRIA

Los escurrimientos del Río Elota han sido aforados desde 1955 en la estación hidrométrica Acatitán, localizada 12 Km aguas arriba de la población del mismo nombre. En la tabla 3 que consigna los escurrimientos mensuales y anuales del río hasta 1977 se observa que el volumen medio anual es de 403.7 hm<sup>3</sup>, y que los escurrimientos mayores ocurren en el período de julio-octubre, lo que representa, en promedio, el 87% del volumen medio anual. También se advierte que este río permanece casi seco durante los meses de abril y mayo. Las crecientes máximas tuvieron lugar en 1968 y fueron causadas por el Ciclón Naomi habiéndose aforado en esa ocasión gastos de 4,600 m<sup>3</sup>/seg. Las cifras máximas anuales corresponden a los lapsos de observación citados en la tabla 4.

TABLA No. 3

ESCURRIMIENTOS DEL RIO ELOTA MEDIDOS EN  
LA ESTACION ACATITAN (m3).

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1955	65.7*	3.8	2.0	0.8	0.4	0.7	51.9	189.8	109.0	30.3	6.4	4.1	464.9
1956	2.6	1.6	1.0	0.5	1.1	5.5	78.1	89.1	66.3	16.5	1.9	1.3*	265.5
1957	1.0*	0.9	1.2	0.4*	0.3*	0.3	7.0*	39.8	9.5*	5.6*	1.2*	2.0	69.2
1958	1.0	0.7*	4.6	0.5	0.3	32.2*	79.1	120.0	329.6	83.5	13.4	8.0	672.9
1959	4.7	2.5	1.4	0.9	0.5	4.7	53.6	169.6	47.6	11.5	4.9	2.9	304.8
1960	12.3	2.6	1.3	0.6	0.4	0.3	32.4	180.3	52.3	30.4	5.3	9.5	327.7
1961	47.0	5.8	2.5	1.1	0.5	7.3	76.9	147.1	209.8	38.1	11.8	40.0	587.9
1962	6.6	3.6	2.3	1.0	0.6	1.8	26.0	31.4	178.3	169.6*	10.4	5.3	436.9
1963	3.4	1.8	1.1	0.5	0.3	1.1	124.0	194.0	178.7	31.7	7.6	67.7*	611.9
1964	7.6	3.9	3.0	1.3	0.5	3.8	12.6	59.5	113.7	111.1	8.5	5.1	330.6
1965	5.8	4.1	1.6	0.7	0.3	0.2*	17.3	91.6	84.8	9.0	1.9	9.0	226.3
1966	2.9	1.9	0.8*	0.5	0.4	0.9	62.4	282.0*	96.0	18.3	5.1	3.5	474.7
1967	2.9	1.5	0.9	0.5	0.3	5.2	50.8	109.6	147.1	29.0	4.1	27.7	379.6
1968	10.7	28.3*	17.7*	3.0*	1.1	1.0	68.1	171.4	406.2*	24.4	19.8	9.8	761.5
1969	10.2	4.0	2.6	1.4	1.0	0.8	45.2	53.6	54.3	46.4	5.6	12.9	238.0
1970	17.2	3.6	2.5	1.0	0.6	0.5	55.2	109.0	125.2	23.9	5.2	3.3	347.2
1971	2.3	1.3	1.0	0.6	0.6	13.1	43.1	25.1*	134.1	29.6	8.6	6.1	265.8
1972	14.0	3.1	1.7	1.1	0.8	1.2	22.3	69.0	90.6	147.4	113.7*	24.2	489.1
1973	12.4	16.7	6.2	2.8	2.0*	1.2	23.2	190.0	124.3	14.6	5.4	3.1	401.9
1974	2.4	1.5	1.0	0.6	0.6	1.2	54.7	73.7	205.8	49.0	15.7	36.5	442.7
1975	11.9	3.9	2.4	1.2	0.6	0.5	138.4*	133.9	74.6	8.0	3.6	2.5	381.5
1976	1.6	1.1	0.7	0.5	0.4	8.9	70.4	101.7	85.4	85.3	29.8	15.3	401.1
1977	23.8	4.7	2.6	1.6	1.2	1.5	24.1	108.9	95.8	66.8	13.7	13.0	357.7
ROM	11.2	4.5	2.7	1.0	0.6	4.2	54.2	119.6	132.9	46.1	13.2	13.6	403.7
.ST.	15.6	6.2	3.6	0.7	0.4	7.1	33.1	65.3	92.8	45.4	23.4	16.4	159.0

Volumenes extremos.

TABLA No. 4

GASTOS MAXIMOS ANUALES

(m<sup>3</sup>/seg)

A N O	RIO ELOTA	RIO PIAXTLA
	Estacion Acatitan	Estacion Ixpalino
1953	-	1 046.2
1954	-	709.2
1955	579.0	1 045.0
1956	349.5	321.5
1957	321.0 *	240.0 *
1958	840.0	1 902.0
1959	702.0	722.0
1960	1 510.0	556.0
1961	645.0	864.0
1962	1 674.0	1 766.0
1963	622.2	2 205.0
1964	457.4	707.1
1965	709.6	1 334.0
1966	1 191.0	842.4
1967	552.5	1 056.0
1968	4 600.0 *	6 200.0 *
1969	400.0	872.0
1970	568.0	1 020.3
1971	421.5	546.4
1972	1 830.0	4 365.0
1973	791.7	801.0
1974	2 005.0	1 957.0
1975	1 410.0	450.0
1976	1 065.0	975.0
1977	825.0	954.0

\* Gastos extremos.

FUENTE: Boletín Hidrológico No. 36, Tomo IV

Subdirección de Hidrología, SARH.

basálticas, mismas que, en general, presentan permeabilidades primarias relativamente bajas; sin embargo, debido a la intercalación que existe entre los diferentes tipos de roca (basaltos y brechas). así como a la presencia de sub-... diferentes...

## GEOHIDROLOGIA

La cuenca del Río Elota es de forma alargada y está orientada, en terminos generales, de noreste a suroeste. Límite al norte y noroeste con la propia del Río San Lorenzo; al este, sureste y sur, con la cuenca del Río Piaxtla; y al poniente, con el Océano Pacífico y la cuenca del Arroyo Norote. El área drenada hasta la estación hidrométrica "Acatitán" es de 1,884 Km<sup>2</sup>.

En la zona relativa donde se alojarán las estructuras de la boquilla, dique "El Bajío" y vertedor afloran rocas de composición basáltica intercaladas con brechas volcánicas de composición basálticas, mismas que, en general, presentan permeabilidades primarias relativamente bajas; sin embargo, debido a la intercalación que existe entre los diferentes tipos de roca (basaltos y brechas), así como a la presencia de los diferentes sistemas de fracturamiento que se encuentran afectando a estas rocas, se considera que puede existir permeabilidad secundaria.

Particularmente en la zona de desplante del dique "El Bajío", se encuentra afectada por una falla, misma que ocurre como contacto geológico entre un derrame basáltico y uno piroclástico (brechas volcánicas) y que en un momento dado pudieran servir de gúfa y con ello presentarse filtraciones a lo largo del plano de la misma. Aunado a lo anterior, sobreyaciendo a las unidades litológicas ya mencionadas, se encuentra una secuencia sedimentaria continental compuesta por gravas, arenas, arcillas, etc. lo que sugiere la existencia de un paleocauce, por lo que, debido a las propiedades mismas de los materiales que lo

constituyen, la hacen inestable en alto grado, lo que motivaría que se presentaran asentamientos diferenciales en esta zona al momento de construir la estructura que conformaría el cuerpo del dique.

Aunque no se tienen evidencias de ningún tipo de manantiales en toda la zona, es posible pensar que el agua podría infiltrarse por el plano de falla y circular hacia aguas abajo, una vez sometida la estructura a la presión del agua al momento de ser llenada por las avenidas que se presenten.

Cabe mencionar que solo existen escurrimientos que duran, en ocasiones, hasta varios días después de haberse efectuado la precipitación pluvial, pero esto es únicamente observable, en las laderas de los cerros y como se mencionó producto de la misma precipitación, la cual es retenida por la vegetación, escurriendo lentamente por las laderas.

## MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El proyecto para Presa Almacenadora "El SALTO", se encuentra localizado en la parte baja del río Elota, en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental. Está constituida principalmente por rocas volcánicas en forma de derrames y productos piroclásticos tales como basalto, andesita, riolita, brechas y tobas, las cuales descansan sobre un extenso cuerpo granítico.

Existen dos paquetes de rocas extrusivas: uno caracterizado por basalto y andesita cuya edad varía de los 100 a los 40 m.a. llamándose informalmente a este grupo de rocas como Grupo Inferior. Los basaltos y andesitas parecen dominar la porción extrusiva del Grupo Inferior, pero localmente se midieron grandes espesores de rocas intermedias sílicas. La edad de las rocas batolíticas de la porción sur del Estado indican un periodo de magmatismo continuo ocurrido en el lapso comprendido de los 102 a los 45 m.a. El segundo paquete, se caracteriza por abundante ignimbrita con flujos de lavas intercalados. Se observan domos de rocas volcanoclásticas y coladas de basalto. La edad probable es de 34 a 27 m.a., y sobreyacen al Grupo Inferior formando las partes superiores de las mesetas de la Sierra Madre Occidental.

Las rocas sedimentarias se restringen a un conglomerado de origen continental que aflora en ambos márgenes del río Elota cerca del poblado del mismo nombre; y a unas calizas, presentándose afloramientos de las mismas en el Rancho Las Veinte

presentándose afloramientos de las mismas en el Rancho Las Veinte Onzas (no afloran en el área de estudio).

Los depositos cuaternarios producto de la erosión e intemperismo de las rocas preexistentes estan conformados por aluviones, depositos de talúd, terrazas fluviales y, por suelos residuales y vegetales.

## ESTRATIGRAFIA

### ROCAS GRANITICAS

Las rocas graníticas que afloran en la region forman parte del denominado "Gran Batolito" de Sonora-Sinaloa. De Cserna, et al., (1962) utilizó el método de K/Ar en biotita y obtuvo una edad de  $75 \pm 4$  m.a., para el granito que se encuentra expuesto al sur de la Presa Miguel Hidalgo. En el área de estudio no aflora este granito, sin embargo regionalmente se encuentra expuesto al noroeste del poblado Conitaca y ampliamente extendido a lo largo de la Carretera Internacional No. 15., tramo Culiacán-Mazatlán.

### RIOLITAS Y TOBAS RIOLITICAS

Debido a la persistente alternancia de riolitas y tobas riolíticas, en el presente trabajo se cartografiaron dentro de cuatro unidades litológicas: Toba arcillosa alternada con arenas (ArT), Brechas riolíticas, tobas líticas (RiBr), Riolitas, tobas riolíticas intercaladas con vidrio (TRi), Riolitas, tobas riolíticas y tobas fluidal (Ri), las cuales, posiblemente pertenezcan a la Formacion El Fuerte (Terciario Inferior). Estan ampliamente extendidas en toda el área formando cadenas montañosas paralelas con una orientacion NW-SE. Estas rocas son de color rosado, con variaciones texturales (vitreas a líticas), de tamaño

y de clasificación de sus clastos que varían de 1 a 3 cm. Presentan caolinización y una pseudoestratificación con orientación preferencial entre 30-60 grados NE; son porosas y esporádicamente se observan con textura vesicular y numerosas fracturas en dos sistemas: el sistema principal, con una orientación de SE 35 NW y casi perpendicular al principal.

Las tobas presentan fragmentos líticos que varían de 5 a 8 cm en diámetro máximo, son gris clara y están afectadas por los mismos sistemas de fracturas.

Al oeste y noroeste del poblado Ensenada aflora una brecha riolítica rojiza, compacta, de matriz tobácea y clastos mal clasificados que varían de 2 a 12 cm de diámetro. Intemperiza a un color gris obscuro.

## TOBA ARENOSA

La toba arenosa es félsica, beige, deleznable, homogénea, muy porosa y poco consolidada. Sobreyace o está interestratificada con el conglomerado. Se presenta formando las partes más bajas dentro de la zona del vaso.

## CONGLOMERADO

El conglomerado está constituido por clastos de rocas

volcánicas (riolitas y andesitas), y en una mínima parte por guijarros de granito. En general presenta poca consolidación y alta permeabilidad. Los clastos, mal clasificados, varían de 2 a 30 cm, en una matriz arcillo-arenosa de color beige. El espesor, expuesto en la margen izquierda del río Elota a la altura del rancho El Olote, es de 19 m en donde forma terrazas. Se localiza donde existe la primera alternativa de túnel de interconexión con el proyecto Piaxtla.

King (1939) supone que tanto la toba arenosa como el conglomerado pertenecen a la Formación Baucarit de edad Terciario Superior a Cuaternario, y son consecuencia de la erosión a que estuvieron sometidas las partes altas de la Sierra Madre, principalmente la riolita (Formación El Fuerte) y, en menor grado, basaltos (Formación San Blas). La Formación Baucarit tiene una amplia distribución en los estados de Sonora y Sinaloa.

## BASALTOS Y BRECHAS BASALTICAS

El basalto está restringido a cerros aislados de forma cónica, de mediana altura y con pendientes pronunciadas pero uniformes. Se presenta en derrames masivos, gris oscuro al fresco y gris claro en superficie intemperizada. Cuando el grado de alteración es muy grande, adquiere una coloración violeta. La textura es afanítica, vesicular, compacta y porosa. En el área de la boquilla y vertedor aflora un basalto con lajas compacto, de textura afanítica y de color gris oscuro intercalado con un

basalto rojizo vesicular masivo. Así mismo en el cauce del arroyo El Norote, al sur del poblado Guamuchil aflora un basalto con las características antes descritas.

La brecha basáltica es café-rojiza con matriz tobacea y variación en tamaño de clastos de 2 a 20 cm. Estos, principalmente son fragmentos de basalto afanítico gris oscuro. El afloramiento principal se encuentra en las inmediaciones del poblado Salto Chico (figura 1). Gutiérrez (1971), encontro la existencia de rocas de composición basáltica en la parte SE de Culiacán, Sin., correlacioándolos con la Formación Hornillos de edad Mioceno-Plioceno. Al respecto se considera que, al igual que los descritos por Gutiérrez (Op. cit.), los basaltos aquí descritos tambien sean correlacionables con la ya mencionada Formación.

## ALUVION

El aluvión forma terrazas en los meandros de los ríos y está constituido por arenas, gránulos y guijarros (hasta de 50 cm de diámetro) de naturaleza ígnea extrusiva principalmente. Estos sedimentos al depositarse en la desembocadura de los ríos han dado origen a llanuras deltaicas recientes. Los sedimentos cuaternarios no situados en los lechos de los ríos que constituyen la planicie costera son gravas y arenas-cuarzofeldespáticas de grano redondeado a subredondeado y sin consolidar.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Los rasgos estructurales observados en el área de estudio son fallas normales y diaclasas que afectan a rocas volcánicas y volcanoclásticas del Terciario superior.

El cañón de la Boquilla "El Salto" se localiza en una sierra alargada NW-SE, la cual está alineada con fallas regionales de tipo normal formando estructuras "Horst-Graben" relacionadas con la apertura del Golfo de California y la formación de la provincia fisiográfica de sierras y valles paralelos.

Los principales patrones de fallamiento observados fueron tres, el primer y más importante sistema de fallas tienen un rumbo NNW-SSE de 6 a 38 grados y son de carácter regional; el segundo tipo en importancia tiene un rumbo NE-SW de 20 a 40 grados y es cortado por el primer sistema de fallamiento y el tercer tipo lo constituye aquellas fallas con orientación E-W que varían de los 80 a los 90 grados.

La pseudoestratificación general de las rocas expuestas en el área estudiada es predominantemente horizontal a ligeramente echadas al W. Es importante notar que la unidad más joven, compuesta de basaltos de olivino, presenta un fracturamiento (diaclasamiento concéntrico) de 45 grados NW con echados de hasta 48 grados al SW, el cual, pudo haberse originado cuando la lava basáltica se enfrió sobre suelos encenegados.

## TECTONICA

Tomando en cuenta que las rocas más antiguas expuestas en el area de estudio, corresponden al límite Cretácico Superior-Terciario, se analiza a continuación la evolución tectónica a partir del Terciario:

Cretácico Tardío-Oligoceno Tardío.- La deformación Laramídica ocurrió a lo largo y todo lo ancho de la porción de la cordillera durante el Cretácico Tardío y el Paleoceno Temprano. Realmente, este evento Laramídico define la extensión sur de la cordillera como la conocemos actualmente. El límite, tierra adentro, de esta deformación orogénica migro muy adentro hacia el cratón, mas allá del eje de la cuenca sedimentaria cretácica que previamente se había depositado atrás del arco magmático. A medida que la deformación orogénica se dispersaba a lo largo del interior del cinturón cordillerano, el arco magmático también se desplazaba progresivamente hacia el este (Armstrong, 1974; Coney, 1976; Sneyder y otros, 1976).

Ambas migraciones, tanto del arco magmático como de la deformación orogénica hacia el interior del continente, se pueden atribuir a la reducción del echado de la placa de subducción por debajo de la cordillera (Coney, 1978; Dickinson y Sydner, 1978).

Deformación Cenozoica Media.- El incremento del echado de la placa en subducción se ha asociado con una tectónica pronunciada con efectos locales. Mientras que el echado pequeño

de la placa produjo una tectónica de contracción. Este proceso comenzó durante el oligoceno, pero continuó hasta el mioceno; Damon y Bikerman (1964) fueron los primeros en argumentar la importancia de los eventos tectónicos y magmáticos del Cenozoico Medio que fueron post-laramídicos.

La evolución tectónica del área de la Sierra Madre Occidental, durante el Cenozoico Tardío (Oligoceno Tardío-Reciente), fue dominado por tres procesos interrelacionados.

1) La existencia de la zona de subducción a lo largo de la margen continental y el desarrollo del Sistema Transforme de San Andrés.

2) La terminación del arco magmático relacionado a la subducción y su reemplazo por un volcanismo disperso de centros basálticos y riolíticos.

3) El desarrollo de la provincia de Sierras y Valles Paralelos (Basin and Ranges), con tectonismo extensional dentro de esa porción del bloque continental contiguo al sistema transforme de San Andrés.

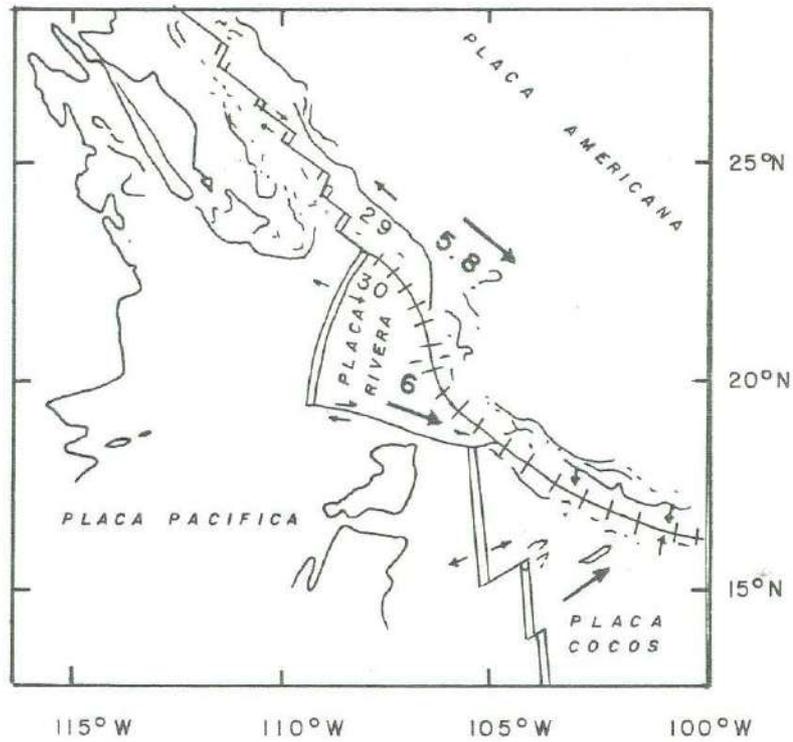
La evolución del Sistema Transforme de San Andrés, empezó, con el oligoceno Tardío, cuando la zona de acresión (ridge) comenzó a encontrar la trinchera Farallón-Americana. La resultante del Sistema Transforme Pacífico-Americana se ha alargado con el tiempo, aunque diferentes fallas (aisladas) han

absorbido el desplazamiento principal en diferentes tiempos durante su evolución (Dickinson y Snyder, 1979). El principal desplazamiento en la zona fue probablemente a lo largo de la margen continental hasta el Mioceno Medio. La falla de San Andrés propiamente no se convirtió en el sistema principal sino hasta principios del Plioceno. Desde entonces empezó a abrirse el Golfo de California y separó los arcos volcánicos del Mioceno del continente y de la península (Gastil y otros, 1979).

En el presente, no existe un arco volcánico dentro de la región, en cambio, se tiene un vulcanismo extenso acompañado por actividad ígnea menos máfica sin que presente una distribución sistemática en la zona. Este tipo de vulcanismo está asociado en tiempo y espacio con una tectónica extensional de estilo sierras y valles paralelos (Basin and Range Province).

Las características estructurales del tectonismo sierras y valles son: pilares, fosas y bloques caídos limitados por los planos de buzamiento escarpados, que forman las fallas normales, que pueden volverse lístricas a profundidad (Stewart, 1978).

Es importante considerar este análisis del mecanismo de formación del sistema San Andrés y la consiguiente apertura del Golfo de California; puesto que corresponde al patrón estructural que afecta el área de Trabajo. Esta tectónica de extensión, continúa activa en esta porción de México (figura 4).



ATWATER, 1970

FIGURA No. 4 TECTONICA DE LA COSTA PACIFICA DE MEXICO.

En el área de estudio afloran principalmente rocas ígneas plutónicas y volcánicas cuya posición cronoestratigráfica es Cretácico Superior al Terciario. También afloran rocas volcanosedimentarias y sedimentarias terciarias y cuaternarias de origen continental. Algunos autores (Dickinson, 1981; McDowell y Clabaugh, 1981; Henry, 1975) encuentran similitud entre las rocas plutónicas y el volcanismo del área en cuanto a composición química, distribución y edad. Estos argumentan que dichas secuencias ígneas son originadas por magmas calcoalcalinos en una zona de subducción.

En base a estudios realizados en esta zona de México las rocas ígneas se han relacionado a diferentes etapas de actividad magmática así como a mecanismos de migración de tipo arco magmático, a través del tiempo geológico (Servais, Rojo y Colorado, 1982). Se postula la formación de cuatro arcos magmáticos calcoalcalinos tomando como base la acción casi continua de la subducción de la Placa Farallón hacia el este, desde el Mesozoico Temprano al Mioceno. Esta aparente continuidad de la actividad ígnea pudo haber sido intermitente en algunas áreas (Henry, 1975). Los arcos magmáticos son: 1) Jurásico Medio-Tardío y Cretácico Temprano; Arco Volcánico Sonora-Sinaloa. 2) Jurásico Tardío-Cretácico Medio; Arco Alísitos en Baja California. 3) Jurásico Tardío-Eoceno; Batolito Sinaloa y Vulcanismo Intermedio -calcoalcalino en Sinaloa, Sonora y B.C.S. 4) Oligoceno-Mioceno; Vulcanismo Ignimbrítico de la Sierra Madre Occidental.

Por otro lado Clark, Damon y Scutter (1980), en base a estudios isotópicos de rocas ígneas, han considerado tres etapas importantes de actividad magmática: 1) Triásico Tardío-Jurásico Tardío, 190 - 143 m.a. 2) Cretácico-Terciario Tardío, 135 - 16 m.a. 3) Terciario Tardío-Reciente, 16 m.a.- Presente.

Tanto las rocas como los caracteres tectónicos presentes en la porción noroccidental de México, permiten considerar que durante el período Cretácico y parte del Cenozoico ocurrieron los procesos mas relevantes que generaron las litologías y estructuras mas importantes presentes del área de estudio. De acuerdo con Damon (1981), los eventos principales pueden sintetizarse de la siguiente manera: Primero es la migración del arco magmático cordillerano como un resultado de cambios en el movimiento de placas (Coney y Reynolds, 1977; Keith, 1978) y el levantamiento continental de una márgen convergente en respuesta al ajuste isostático (Damon, 1979). La colisión de la Placa Norteamérica con la Placa Farallon (East Pacific Rise) dio como resultado un extenso levantamiento en Estados Unidos y México sobre mas de 1 Km. En el Cretácico Temprano la mayoría de la porción oeste de Norteamérica era tierra somera cubierta por mares epicontinentales y bordeada por un arco magmático, evolucionando hasta su estado actual.

Durante el Cretácico Tardío (90 a 65 m.a.) parte de México estaba bordeado por un arco magmático (tipo Andes), pero un tercio de Norteamérica (Damon y Mauger, 1986) estaba cubierto por mares epicontinentales (fig. 5), sólo su márgen oeste y algunas islas aisladas sobresalían del nivel del mar. Hace 60 m.a., el

arco había migrado hacia el este y se encontraba en el centro de la actual Sierra Madre Occidental y se extendió a lo largo de la costa, desde el Cabo Corrientes hasta el Istmo de Tehuantepec. El levantamiento dió inicio en el Cretácico Tardío, a medida que el continente chocaba con la placa Farallon.

A fines del Cretácico y durante el Eoceno se emplazaron los granitos y granodioritas de Sinaloa en las rocas Mesozoicas, reconocidas como la prolongación de un arco volcánico (Alisitos), cubiertas por una serie de rocas volcano-sedimentarias y calcáreas (Bonneau, 1969) y la secuencia volcánica inferior. Existen evidencias de que se depositaron grandes cuerpos de caliza arrecifal en medio de rocas volcánicas y sedimentos volcanoclásticos, tanto en el norte de Baja California, norte de Sonora y en la Costa de Sinaloa, cerca de Mazatlán (Bonneau, 1976).

Durante el Eoceno (40 m.a.), el arco había migrado hacia el este y el continente continuaba levantándose, exponiendo rocas de edad Laramídicas, creándose una superficie de erosión de extensión continental.

El arco magmático había regresado al Pacífico-Golfo de la costa de California y los depósitos subvolcánicos habían sido cubiertos por rocas piroclásticas. La nueva configuración que viene a aparecer en el Mioceno Tardío (Damon y Montesinos, 1978; Damon y otros, 1979), incluye un arco activo extendiéndose hacia el golfo de México, conectándose con el arco de Centroamérica. La subducción continúa al sur de Cabo Corrientes; y el levantamiento,

EL SABER DE MIS DIJOS  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

asi como la denudacion, son continuos.

El Oligoceno y Mioceno se caracterizan por el vulcanismo calcoalcalino, primero andesítico-riolítico y después riolítico-ignimbrítico. La litología principal expuesta en la Sierra Madre Occidental, en forma general, consiste de ignimbritas, cuyo espesor supera en ciertos lugares los 1000 m. La actividad volcanica que dio origen a estas rocas puede ser interpretada como típica de una zona de "rift", atrás de un arco andesítico, por reacción de la corteza a los movimientos de subducción. El magma nace así de una zona de fusión de la corteza continental sobre la zona de Benioff. En una misma época pueden, así, coexistir un vulcanismo de tipo compresión (andesitas) y un vulcanismo distensivo (ignimbritas).

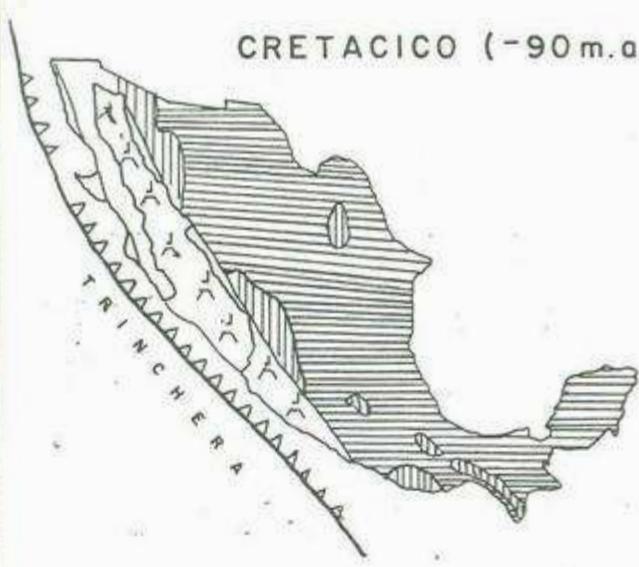
Durante el Mioceno tuvo lugar una fuerte erosión de las partes levantadas de lo que hoy es la Sierra Madre Occidental, como consecuencia de la acción de una tectónica distensiva que permitió el desarrollo de "grabens", o fosas de hundimiento relacionados a la apertura del Golfo de California, con el consecuente depósito de material vulcanoclástico. Eso sugiere la existencia, en esa época, de cuencas intracratónicas de sedimentación en periodos de calma, en que la erosión y la sedimentación acaecían entre etapas o pulsaciones de actividad volcánica y tectónica. Esta generación de rocas clásticas-volcánicas tienen sus representantes sobre la vertiente del pacífico en las Formaciones Fuerte, Mañe y la Formación Baucarit, en el área de estudio.

En el Plio-Cuaternario, la placa Farallon desapareció completamente debajo de la placa Americana de modo que la cordillera Oceánica-Pacífica se localiza a la entrada del Golfo de California y se prolonga en este, por un sistema de fallas y zonas de expansión que se relaciona al norte con el Sistema de San Andres. Baja California pasó a formar parte de la Placa Pacífico, siguiendo el desplazamiento de esta hacia el noroeste, desde el Plioceno.

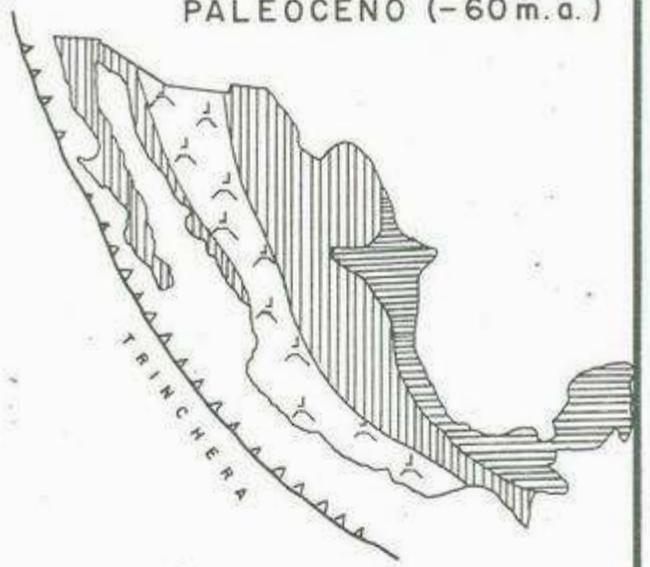
Este movimiento relativo de las placas Americana y Pacífica es responsable, por otra parte, de la creación del "rift" Golfo de California-Sistema de San Andres y de la Provincia Fisiográfica "basin and range" (sierras y valles paralelos) que es característica de las zonas de Sonora, Arizona y California, sin embargo, se reconoce también en parte de Chihuahua y Zacatecas.

En el área de trabajo se refleja posiblemente el tercer arco magmático mencionado anteriormente del Jurásico Tardío-Eoceno representado por rocas graníticas cuarzomonzónicas (intrusivo ácido de Sinaloa) las cuales afloran fuera del área de estudio. Así mismo, la secuencia vulcanoclastica Terciaria presente en el área, representan el volcanismo ignimbrítico de la Sierra Madre Occidental.

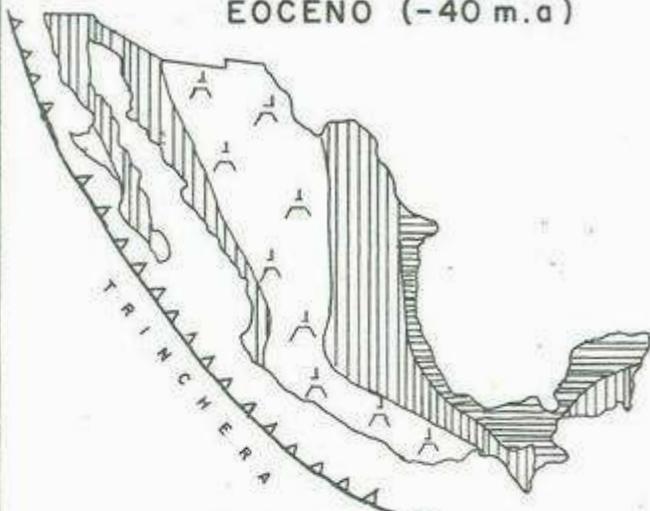
CRETACICO (-90 m.a.)



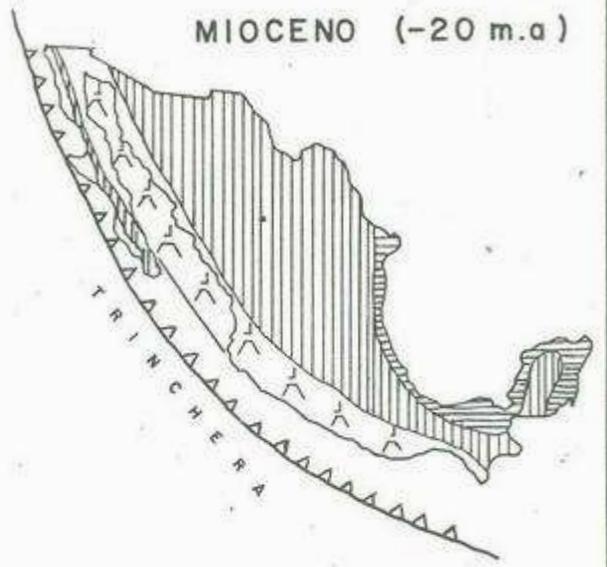
PALEOCENO (-60 m.a.)



EOCENO (-40 m.a.)



MIOCENO (-20 m.a.)



PRESENTE (0 m.a.)

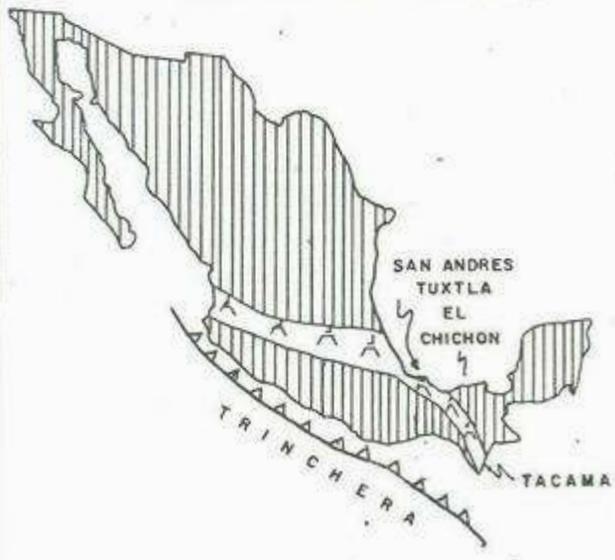
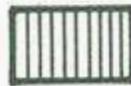


FIG. No 5 MIGRACION DEL ARCO MAGMATICO Y PALEOGEOGRAFIA DE MEXICO DESDE EL CRETACICO.



ARCO MAGMATICO



ELEMENTO POSITIVO



ZONA INUNDADA

## SISMICIDAD



La Sierra Madre Occidental se encuentra en la zona sísmica conocida como poco frecuente, Penisísmica, de acuerdo con la carta sísmica de la República Mexicana (fig. 6). En general, se considera a la provincia estudiada como una zona de baja sismicidad. Sin embargo, al observarse las figuras 7 y 8 se puede percibir una actividad sísmica relacionada a la Neotectónica que se genera por la interacción de las placas litosféricas de esa región.

En el Apendice D se muestra un registro estadístico de sismos ocurridos desde 1922 a 1969 y de 1971 a 1982 respectivamente, en una area comprendida entre los 103 a 109 grados de Longitud Oeste y de 22 a 26 grados de Latitud Norte, cuyos datos se tomaron del Instituto de Ingeniería de la UNAM, mismos que ademas se graficaron en la figura 9. Se concluye entonces que el riesgo sísmico para la Presa "El Salto" es mínimo pues esta zona es de BAJA SISMICIDAD y no existen antecedentes de sismos con magnitud mayor de 6.0 en la escala de Richter.



ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA  
**AREA DE PROYECTO**

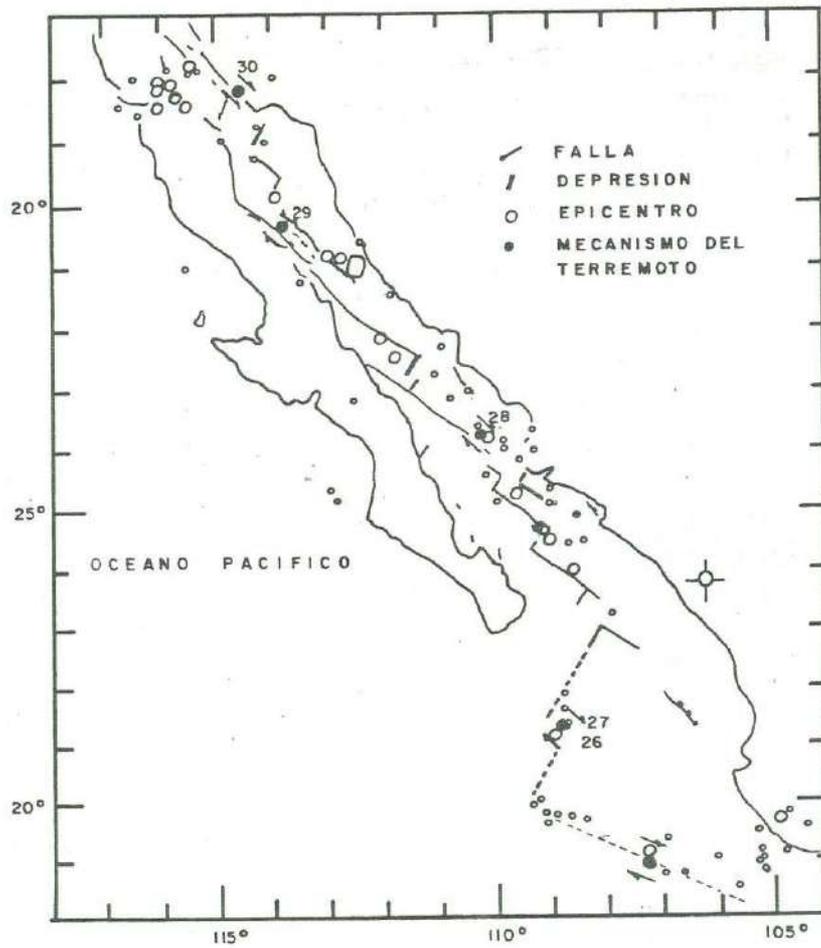


ZONIFICACION	
ZONA	EFEKTOS
3	DAÑOS MAYORES
2	DAÑOS MODERADOS
1	DAÑOS MENORES
0	SIN DAÑOS



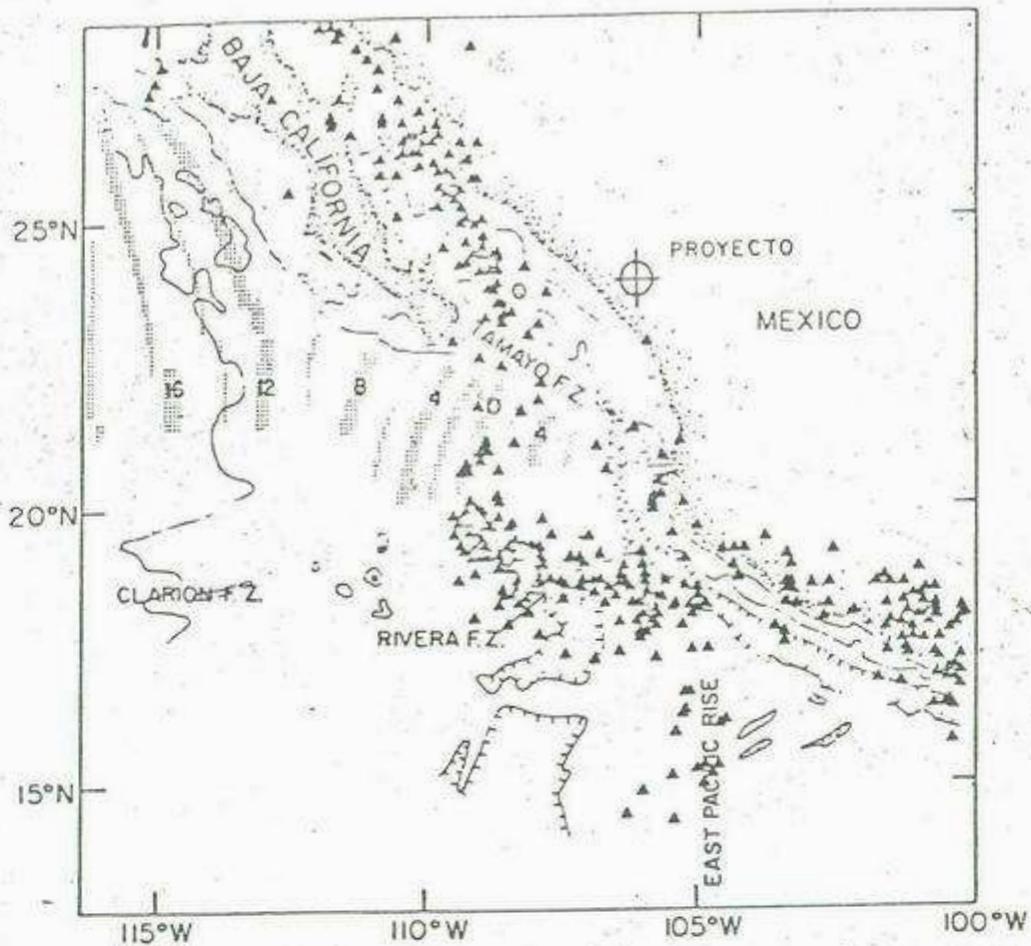
**FIGURA N°6**

**ZONIFICACION SISMICA  
 DE LA  
 REPUBLICA MEXICANA**



ISACKS, ET, AL., 1968

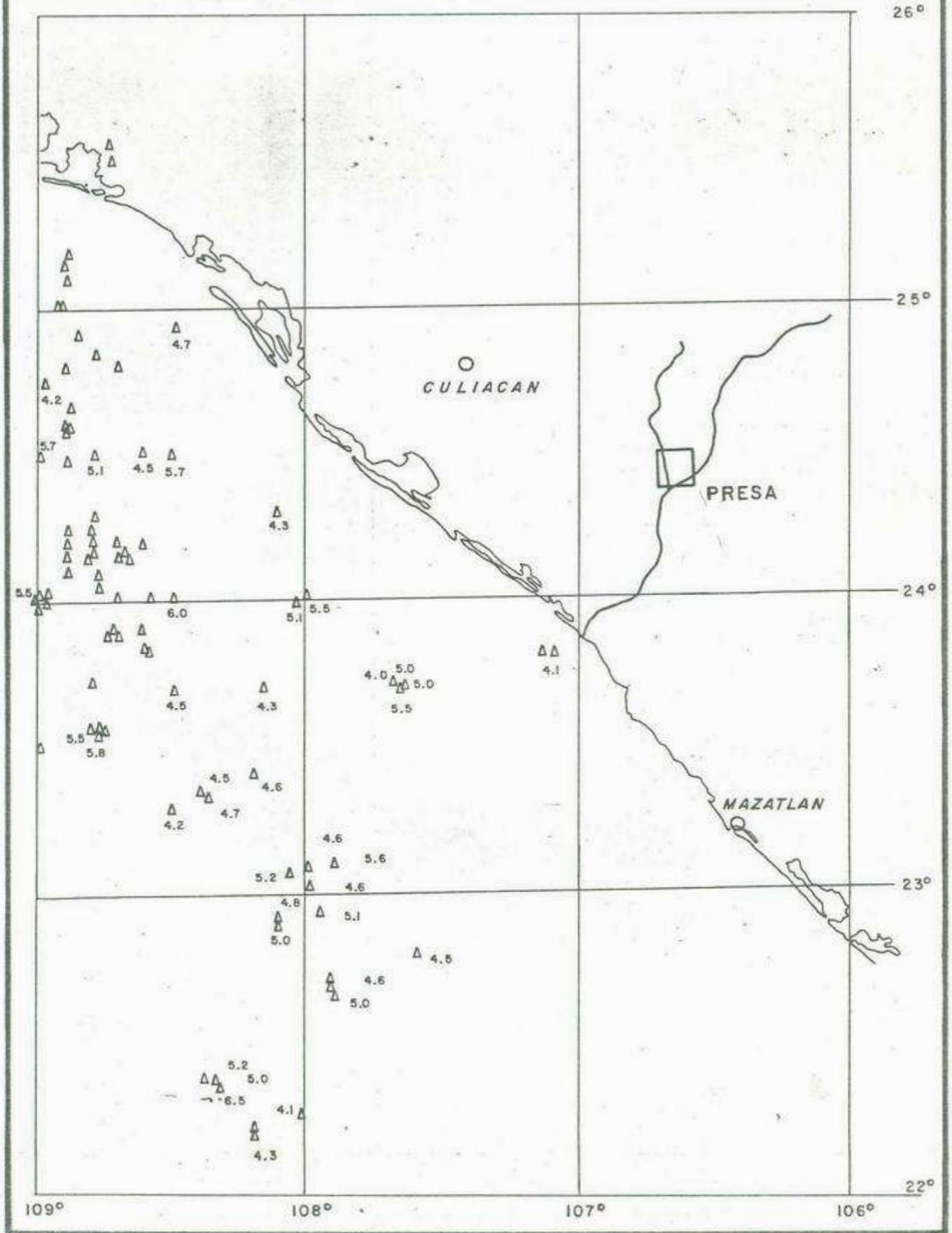
FIGURA No. 7 RASGOS ESTRUCTURALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA.



TOMADO DE ATWATER, 1970

Figura No. 8 Epicentros de sismos ocurridos en el Golfo de California entre 1961 y 1967 (registrados por USCGS, ESSA) y edades del Piso Oceánico en millones de años.

FIG. No.9 UBICACION DE LOS SISMIOS REGISTRADOS DE 1922 A 1966 Y DE 1971 A 1982



# GEOLOGIA DE LA PRESA

## "EL SALTO"

Como se mencionó en el Capítulo de Marco Geológico Regional, particularmente en el punto de Estratigrafía, donde se hace una descripción general de las rocas aflorantes regionalmente, predominando rocas volcánicas y piroclásticas de composición ácida, en el área de la Presa, refiriéndose a las rocas de desplante que alojarán las principales estructuras (cortina, dique, vertedor y tunel), y contrariamente a la composición de las unidades ya mencionadas, se tienen únicamente afloramientos de rocas volcánicas básicas, representadas por una alternancia de basaltos y brechas basálticas, de las cuales se dieron sus características generales en el capítulo de Marco Geológico Regional, y en la zona del vaso por la existencia de una toba arenosa, la cual se encuentra formando pequeños lomeríos y las partes mas bajas.

No se encontraron problemas estructurales que pudieran afectar la seguridad de la obra, salvo una falla en la zona del Dique "El Bajío", debiendo realizarse trabajos tendientes a la definición de la misma y adecuar el tratamiento constructivo más apropiado, aun cuando en el presente trabajo no se expone, en forma alguna, los resultados obtenidos en el tratamiento aplicado.

En cuanto a la roca de desplante no se encontraron evidencias de ningun tipo de manantiales que pudieran hacernos pensar en la existencia de rocas y/o discontinuidades potencialmente permeables. Empero los resultados obtenidos en el programa de exploración, para cada una de las estructuras, mostraron una alta permeabilidad en el contacto basalto-brecha

En general toda la secuencia volcánica se encuentra ligeramente echada al oeste, así mismo al final de la estructura de la Obra de Toma Baja (tunel "El Salto"), se encontraron fallas del tipo normal, pero sin afectar en forma alguna a la obra por encontrarse incluso, en la parte final del portal de salida.

Las condiciones geológicas se presentan favorables para la construcción de la obra, salvo como ya se menciona, en la zona del dique, pesentandose en detalle los estudios de Geotecnia que se llevaron a cabo durante la fase constructiva, mismos que se anexan en los capitulos siguientes.

## GEOTECNIA

En base a los estudios geológicos y socioeconómicos, y una vez seleccionada la mejor alternativa para la ubicación del sitio para presa, se procedió a iniciar la construcción de la misma por lo que se hizo necesario llevar un estricto control en esta etapa, con el fin de solucionar todos aquellos problemas de índole geotécnico que se presentaran. Para esto, la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos mediante la Subdirección de Investigación y Desarrollo Experimental, a través de su Residencia Regional Zona Noroeste, en su departamento de Geotécnia Aplicada a la Construcción, realizó una serie de estudios encaminados, primeramente a detectar aquellos rasgos geológicos superficiales más favorables para la seguridad de la obra, y posteriormente estudios del subsuelo para determinar la calidad de la roca, la permeabilidad existente en cada una de las diferentes estructuras, etc., para así determinar el tratamiento más adecuado por emplearse, así como las alternativas de solución más viables a todos aquellos problemas que pudieran presentarse al realizarse el desplante para la construcción de las mismas. Los estudios que se realizaron fueron sobre las principales estructuras que conforman la presa: boquilla "El Salto", obra de toma baja (Túnel "El Salto"), dique "El Bajío" y vertedor, mismos que se detallarán posteriormente.

En el vaso se realizó un levantamiento geológico y de permeabilidad para detectar el posible comportamiento mecánico e hidráulico de las unidades litológicas que pudieran poner en

peligro la seguridad de la presa al cambiar las condiciones naturales existentes y someter los materiales a una sobre saturación de agua. Se trató de prever posibles asentamientos diferenciales o deslizamientos de bloques a lo largo de los planos de fallas o fracturas.

Realizados los trabajos de geología superficial, se llevaron a cabo exploraciones directas con el fin de conocer las características físicas del subsuelo. Los trabajos se realizaron con máquinas perforadoras Long-Year, diámetro de barrenación NQ (0.0762 m), con recuperación continua de núcleos y la ejecución de pruebas de permeabilidad. De la recuperación de núcleos se obtiene:

**PORCENTAJE DE RECUPERACION (% Recup.).** Es la relación expresada en porcentaje, entre la longitud total de la muestra recuperada (R) y la longitud del tramo perforado (P).

$$\% \text{ Recup.} = \frac{R \text{ long. muestra obtenida}}{p \text{ long. tramo perforado}} \times 100$$

**INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).-** Es una consecuencia del porcentaje de recuperación, expresado en porcentaje de la relación, entre la suma de las longitudes de los tramos de muestras mayores de 0.10 m y la longitud de tramo perforado.

$$\text{R.Q.D.} = \frac{\text{suma de las long. de tramos } > \text{ de } 0.10 \text{ m}}{\text{longitud tramo perforado}} \times 100$$

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD. Una vez obtenidos el % Recup. y el R.Q.D. se llevo a cabo la determinación de los coeficientes de permeabilidad para cada uno de los tramos de los distintos barrenos. Dentro de las pruebas de permeabilidad que se llevaron a cabo para los estudios de las estructuras se encuentran las del tipo Lugeon y tipo Lefranc; las primeras, se realizaron generalmente en rocas para conocer su compacidad y fracturamiento, precisándose el estado de fisuración del terreno y facilitando, a groso modo, la evaluación de los gastos de infiltración, en el momento del estudio de los flujos subterrneos. Solo las pruebas de permeabilidad, ejecutadas durante su perforación, permitieron llegar a estos resultados; y para esto fue necesario llegar a conocer analíticamente el coeficiente de permeabilidad. Cabe mencionar que es necesario evitar el uso de lodos como fluidos de enfriamiento de la tubería de perforación ya que estos pueden obturar sistemáticamente los pozos y las pequeñas fisuras del terreno. La longitud de los tramos de prueba fueron, por lo general, de 5.00 m. Las cantidades descriptivas adoptadas para la realización del presente trabajo son las propuestas por U.Deere, mismas que se muestran a continuación:

<u>UNIDADES LUGEON</u>	<u>GRADO DE PERMEABILIDAD</u>
De 00.00 a 03.00	IMPERMEABLE
3.00 11.00	POCO PERMEABLE
11.00 25.00	PERMEABLE
25.00 40.00	MUY PERMEABLE
40.00 >	ALTAMENTE PERMEABLE

Las pruebas del tipo Lefranc se realizaron en materiales granulares o, debido a lo alterado, fracturado y fragmentado, en la roca en su parte superficial, por lo que el barreno necesitó ademarse para no tener "caídos" dentro del mismo; los tramos de prueba fueron de 5.00 m, de acuerdo con la homogeneidad de los materiales.

Se presentan, a continuación, los diferentes grados de permeabilidad en función de los rangos de variación del coeficiente de permeabilidad.

LIMITES DE VARIACION k (en cm/seg)	GRADO DE PERMEABILIDAD (DESCRIPTIVO)
1 X 10E-7 a 1 X 10E-6	IMPERMEABLE
1 X 10E-5	POCO PERMEABLE
1 X 10E-4	PERMEABLE
1 X 10E-3	ALTAMENTE PERMEABLE

De este modo, los resultados obtenidos tanto en las pruebas de permeabilidad tipo Lugeon como en las del tipo Lefranc ayudaron a la determinación de la permeabilidad tanto de la boquilla, dique como del vertedor; sirvieron, además, como operación previa al trabajo de inyectado de mezclas de agua:cemento:bentonita en la cimentación de la cortina y dique; se utilizaron como pruebas "control" en la efectividad del trabajo de inyectado e impermeabilización de estas estructuras.

TRATAMIENTO DE CIMENTACION. Una vez determinados los coeficientes de permeabilidad, el índice de calidad de la roca, los principales sistemas de fracturamiento, su persistencia, etc., se procedió a programar un tratamiento de cimentación con el objetivo principal de hacer una barrera al paso del agua, impermeabilizándose y abatiendo la presión hidrostática, y como finalidad secundaria, mejorar la resistencia (capacidad de carga) de esa cimentación. Para ello se llevaron a cabo la ejecución de: una pantalla impermeable y de un Tapete de Consolidación. La primera se realizó por medio de inyecciones profundas de cemento aplicadas a alta presión. Para ello se implementaron dos etapas obligatorias, siendo la primera, una línea central por el eje de la boquilla (línea EF), con una profundidad de 35.00 m y separación entre barrenos de 20 m; para la segunda etapa se estableció una profundidad de 30.00 m, y separación de 10 m con respecto a la primera etapa. En lo que respecta al tapete de consolidación se llevó a cabo a poca profundidad (10.00 m), y aplicando presiones bajas (máximo 4 kg/cm<sup>2</sup>), que impermeabilizaron y consolidaron el área correspondiente a la parte superior de la roca de desplante de la cortina. Como en la pantalla impermeable, también se consideraron dos etapas obligatorias, a partir de una cuadrícula primaria, formada por las líneas A, C, E, F, H y J y la terminación de 5 (cinco) en el acotamiento de las estaciones; para la segunda etapa se consideró una cuadrícula intermedia formada por las líneas B, D, G e I y la terminación 0 (cero) en el acotamiento de las estaciones. Para la realización de etapas posteriores se consideró, tanto en la pantalla impermeable como en el tapete de consolidación, un consumo de 50.00 kg/m lineal en la

inyección de cada barreno. En el capítulo de Boquilla "El Salto", sección de Tratamiento de Cimentación, se presenta en detalle las mezclas de inyección, presiones de inyectado, comportamiento por etapas así como los resultados obtenidos en dicho tratamiento realizado, en especial, para la zona permeable de la boquilla.

En los capítulos siguientes se presenta un resumen de los estudios realizados para cada una de las estructuras, haciéndose un desglose por separado de las actividades y estudios que se realizaron sobre la boquilla "El Salto", del dique "El Bajío" y vertedor, y por último de los estudios en la obra de toma baja.

## BOQUILLA "EL SALTO"

La boquilla "El Salto", fue seleccionada de tres alternativas propuestas en base a un estudio detallado de las características superficiales, primeramente, y posteriormente a un estudio con máquina rotaria a diamante, de este modo, la alternativa No. 11 fue la que presento mejores características geológicas, además de tener una mayor capacidad de embalse, debiéndose pensar en la realización de tratamientos tendientes a mejorar las características físicas de la roca así como su permeabilidad.

La boquilla "El Salto" fue labrada por el río Elota sobre formaciones volcánicas y piroclásticas, a través de diferentes coladas de basaltos (gris y rojizo) intercaladas con brechas bien consolidadas de color pardas y rojizas conteniendo fragmentos de hasta 0.20 m de composición basáltica.

Ambas margenes se encontraban cubiertas por una delgada capa de suelo vegetal y depósitos de talúd, las cuales fueron desalojadas al llevarse a cabo los despalmes en la zona de la cimentación.

El basalto de color gris oscuro, textura afanítica se presenta fresco, compacto, pero se encuentran afectados por un sistema de juntas que lo dividen en lajas delgadas, lo que le da la apariencia de encontrarse fuertemente fracturado. El basalto de color rojizo, textura vesicular-amigdaloides se presenta en

forma masiva, facilmente deleznable al ponerse en contacto con la intemperie.

En cuanto a las características de la zona del cauce el espesor máximo de los acarreos encontrados en la zona del cauce fué de 3.20 m, estando constituidos por arcillas, arenas y gravas de tamaño medio, de composición predominantemente basáltica, riolítica y granítica.

Se realizó un levantamiento superficial geológico-estructural, para definir los principales sistemas de fracturamiento y poder definir la orientación adecuada del tratamiento de cimentación, y una vez realizadas las pruebas de permeabilidad necesarias, adecuar los proporcionamientos de mezclas de agua:cemento:bentonita:mortero para dicho tratamiento, ya que se podría afectar artificialmente la calidad de la roca al momento de realizar el inyectado, si no es bien calculada la presión de "bronqueamiento" lo que provocaría una apertura en las discontinuidades al existir sobre presión, o en su caso, de que las mezclas de agua:cemento:bentonita no sean lo suficientemente fluidas para realizar una buena penetración y por lo tanto una buena impermeabilización a través de éstas discontinuidades o contactos geológicos.

Facultad de  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

Se definieron 2 sistemas principales de fracturamiento; el primero con un rumbo preferencial NNW-SSE con echados al NE; y el segundo, casi perpendicular al primero, presenta rumbos preferenciales WSW-ENE y echados al variables al NW y SE.

Una vez realizado el levantamiento geológico-estructural superficial, se elaboró un programa de exploraciones con máquina rotaria, con recuperación de núcleos, mismos que servirían de base para cuantificar las características de calidad de la roca (fracturamiento, alteración), así como su composición, textura, color, etc., y la realización de pruebas de permeabilidad para obtener los coeficientes o unidades de permeabilidad de la zona.

Dicho programa de exploración consistió de cuatro sondeos exploratorios verticales, motivado por los resultados del levantamiento geológico y por el basculamiento hacia el oeste de las unidades litológicas así como el resultado del levantamiento estructural (echados hacia dentro y fuera del talud), con recuperación de núcleos y pruebas de permeabilidad tipo Lefranc (terrenos muy fracturados, fragmentados y granulares) y Lugeón (terrenos compactos y fracturados) en tramos de 5.00 m para la obtención del coeficiente K (C.F. k) para las primeras y de las unidades Lugeón (U.L.) para las segundas; cuyos resultados se presentan en la tabla 5.

TABLA No. 5

BOQUILLA "EL SALTO"

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES

E X P L O R A C I O N E S

CONCEPTOS	I	II	III	IV
EXPLORACION	(V) M.I.*	(V) CAUCE	(V) CAUCE	(V) M.D.*
ESTACION	0+045	0+215	0+308	0+420
ELEVACION	163.72	101.11	103.00	170.17
PROFUNDIDAD (m)	30.00	50.00	50.00	30.44
RECUPERACION (m)	67.00	98.00	97.00	95.00
% RQD (ICR)	20.00	81.00	68.00	40.00
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	MUY MALA	BUENA	REGULAR	MALA
PERMEABILIDAD (C.K. o U.L.)	73.50 (U.L.)	34.00 (U.L.)	3.82 (U.L.)	9.60 (U.L.)
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	ALTAMENTE PERMEABLE	MUY PERMEABLE	IMPERMEABLE	IMPERMEABLE

\* = (M.I.) MARGEN IZQUIERDA  
 (M.D.) MARGEN DERECHA  
 (V) VERTICAL

## TRATAMIENTO DE CIMENTACION

Con los objetivos de disminuir las filtraciones que pudieran aparecer a través de la cimentación de la boquilla "El Salto", así como mejorar las características físicas de la roca de desplante bajo el corazón impermeable de la misma, se realizaron estudios a detalle de las características geológico-estructurales del sitio, tales como: comportamiento geométrico (sistema de fracturamiento, persistencia, apertura, relleno, etc), para establecer la dirección e inclinación de los barrenos de inyección y obtener una mayor efectividad del tratamiento (densidad, fluidez, etc), de acuerdo a las características geológicas existentes.

Con el fin de cumplir con los objetivos mencionados, se programó la realización de:

- A) Pantalla profunda a lo largo del eje de la boquilla, en forma de abanico a partir de la Estación EF-090.00, con una inclinación de 20 grados hacia ambos márgenes y con profundidades máximas de 35.00 m.
- B) Tapete de consolidación e impermeabilización en el área de desplante del núcleo impermeable, a partir de una cuadrícula primaria y profundidades de 10.00 m.

De acuerdo con el levantamiento estructural realizado sobre el eje de la boquilla y de las características litológicas del macizo rocoso, así como los resultados obtenidos en las pruebas de permeabilidad (ver apéndice E.2 y E.3), se adecuaron las mezclas de inyección según los proporcionamientos mostrados en la Tabla No. 6, expresados en relación de AGUA:CEMENTO:BENTONITA:ARENA.

TABLA No. 6

MEZCLAS DE INYECCION

(PROPORCIONAMIENTOS)

PANTALLA PROFUNDA

---

P R O P O R C I O N A M I E N T O S

MEZCLA	AGUA:CEMENTO	BENTONITA	ARENA
I	4:1	0.04	-
II	3:1	0.03	-
III	2:1	0.02	-
IV	1:1	0.01	-
V	.8:1	0.01	-

---

TAPETE DE CONSOLIDACION

---

P R O P O R C I O N A M I E N T O S

MEZCLA	AGUA:CEMENTO	BENTONITA	ARENA
III	2:1	0.02	-
IV	1:1	0.01	-
V	.8:1	0.01	-

---

PROPORCIONAMIENTOS ESPECIALES

---

P R O P O R C I O N A M I E N T O S

MEZCLA	AGUA:CEMENTO	BENTONITA	ARENA
VI	1.5:1	0.02	0.50
VII	1.5:1	0.02	1.00
VIII	1.5:1	0.02	2.00

---

Para la elaboración de las mezclas se utilizó agua del río, Cemento Portland tipo I; Bentonita tipo Ludbent en polvo hidratada previa utilización en relación agua/bentonita (A/B) = 10; Arena, se utilizó la existente en el río, pasándose, para su ajuste, por las diferentes mallas de acuerdo con la Tabla No. 7. De este modo se requirió iniciar el inyectado con el proporcionamiento agua/cemento (A/C) de 4:1 con el fin de que ésta, al ser muy fluida, llegara a las partes más profundas de la fractura o contacto litológico asegurando con esta una amplia penetración y saturación de los mismos, lográndose una mejor impermeabilización; en caso de que el barreno necesitara aumentar la dosis de mezcla los proporcionamientos aumentarían en el contenido de cemento, para que gradualmente fuera cerrándose el área de impregnación de la mezcla, prosiguiéndose así hasta la utilización del mortero como un medio de sello, y por lo tanto, de una etapa posterior con el fin de confinar, consolidar e impermeabilizar el área tratada. Por seguridad, tanto en el tapete de consolidación como en la pantalla impermeable, las ETAPAS I y II fueron obligatorias. Se consideró un promedio de 50 Kg de cemento por metro lineal, para la realización de una etapa posterior, una vez realizadas las etapas obligatorias.

En la barrenación de los pozos para inyección se utilizó equipo de percusión, siendo de los tipos stenuick y track-drill, utilizándose aire comprimido como medio de circulación (enfriamiento). El diámetro de la perforación utilizado fue de 3 1/4", sin obtención de muestras de roca.

TABLA No. 7

GRANULOMETRIA DE LAS ARENAS

(MODULO DE FINURA)

DENOMINACION DE MALLAS	LIMITE 1		LIMITE 2	
	% RETENIDO EN PESO		% RETENIDO EN PESO	
U. S. STANDAR	PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO
No. 4	0	0	0	0
No. 8	0	0	0	0
No. 16	0	0	5	5
No. 30	15	15	45	50
No. 50	35	50	30	80
No. 100	20	70	10	90
No. 200	30	--	10	--
S U M A S	100	135	100	225
	M. F.	1.35	M. F.	2.25

El equipo utilizado para realizar el inyectado consta de:

- Digestor de bentonita a 1,200 r.p.m.
- Turbomezclador a 1,250 r.p.m.
- Dos agitadores de baja velocidad (60 r.p.m.)
- Bomba de doble pistón (para lechadas)
- Bomba tipo Moyno (para morteros)

#### PROCEDIMIENTO DE PERFORACION E INYECCION

Para la realización de los trabajos de inyección, se llevó a cabo una limpia de todo el material suelto y alterado de toda la zona por tratar. Asimismo, en la zona donde se encontraba muy fracturado se realizaron "calafateos" con mortero (principalmente en la margen izquierda y en el área del cauce).

Los trabajos de perforación se realizaron de acuerdo a un programa de barrenación donde se contempla la ejecución de los mismos de acuerdo a etapas programadas. Así, de este modo como se mencionó en el capítulo de Geotecnia, se trabajaría a base de una cuadrícula primaria, donde, una vez terminada la ETAPA I, se llevaría a cabo la ETAPA II, en caso de que alguno de los barrenos registrara un consumo mayor de cemento superior o igual a los 50 Kg por metro lineal, se confinaría esa zona con una ETAPA III, la cual en caso de registrar el consumo ya mencionado requeriría de una ETAPA IV y así sucesivamente hasta que los consumos de cemento queden por debajo del límite establecido.

EL SABER DE MIS HIJOS  
ES PARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

La perforación de los barrenos se llevo a cabo, inicialmente, ascendentemente en tramos de 5.00 m, ya que los resultados obtenidos en el programa de exploración predisponían a la existencia de "caídos" dentro de la barrenación y a una alta toma de cemento por las altas permeabilidades obtenidas, sobre todo en la margen izquierda. El alto consumo de cemento fue comprobado, no así la existencia de "caídos", por lo que debio reajustarse al tipo descendente, lo que aceleró el tratamiento debido a que no hubo necesidad de esperar un tiempo de fraguado para el cemento y así, continuar con la prueba del próximo tramo. El sellado de los barrenos se realizó con el tipo de mezcla II, para posteriormente rellenarse totalmente a gravedad con el tipo de mezcla V (ver Tabla No. 6).

#### PRESIONES DE INYECTADO

Apoyado en los resultados obtenidos en las pruebas de permeabilidad realizadas en los estudios de la boquilla, fue posible determinar las presiones maximas a utilizarse, mismas que se presentan en la Tabla No. 8.

#### RESULTADOS

En general los consumos de cemento obtenidos en toda la boquilla, al llevar a cabo el tratamiento de cimentación, fue un reflejo de los resultados obtenidos en la realización de las pruebas de permeabilidad, es decir que no se esperaban grandes

TABLA No. 8



PRESIONES DE INYECTADO

PROFUNDIDAD ( m )	PRESION MANOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	I ETAPA	II ETAPA
0.00 - 5.00	1.0	2.0
5.00 - 10.00	2.0	4.0
10.00 - 15.00	3.0	6.0
15.00 - 20.00	4.0	8.0
20.00 - 25.00	5.0	10.0
25.00 - 30.00	6.0	12.0
30.00 - 35.00	7.0	14.0

NOTAS :

PARA LAS PRESIONES DE LAS ETAPAS POSTERIORES, SE INCREMENTARON EN UN 50 %.

LA PRESION MANOMETRICA SE REGISTRO EN LA BOCA DE LOS BARRENOS, DE ACUERDO CON LO ESPECIFICADO PARA CADA UNA DE LAS ETAPAS

consumos de cemento en la zona del cauce y la margen derecha (ver Apendice E.3). Empero, en la parte izquierda del cauce y la margen izquierda de la boquilla, las pruebas de permeabilidad arrojaron zonas ALTAMENTE PERMEABLES, sobre todo en la margen izquierda; por lo que para fines prácticos, se presentan a continuación, los resultados obtenidos en la realización del tratamiento mencionado, con especial énfasis en la margen izquierda, particularmente de la Estacion 0+040 a la Estacion 0+115. El resumen de consumo de cemento según etapas es el siguiente:

ETAPA	No. BARRENOS	CONSUMO DE CEMENTO en kg	METROS PERF.	CONSUMO PROM. CEMENTO kg.
*I	12	4,575.00	265	17.26
*II	12	10,829.75	290	37.34
III	9	5,475.00	185	30.42
IV	5	6,925.00	125	55.40
V	4	2,900.00	110	26.36
VI	2	700.00	45	15.56

\* Etapas obligatorias según especificaciones.

En la grafica 3 se presenta, por medio de histogramas de consumo, el consumo promedio general de cemento para cada una de las etapas, así como el comportamiento general del tratamiento de cimentación, para el tramo 0+040 al 0+0+105, en la grafica 4.

Después de realizado el tratamiento de cimentacion, es

necesario realizar una serie de pruebas tendientes a definir la eficacia del tratamiento. Para ello se ubicaron, sobre el eje de la cortina, dos barrenos con maquina rotaria en las Estaciones 0+092.50 y 0+097.50, en los que se incluyó la ejecución de pruebas de permeabilidad y recuperación continua de núcleos. De éstos el primero en realizarse fué el de la Estacion 0+097.50, obteniéndose los resultados siguientes:

ESTACION .....	0+097.50
ELEVACION (msnm) .....	151.48
PROFUNDIDAD (m) .....	35.00
RECUPERACION (m) .....	27.65
% DE RECUPERACION .....	79.00
R.Q.D. (I.C.R.) .....	31.86
CLASIFICACION SEGUN DEERE .....	MALA

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD:

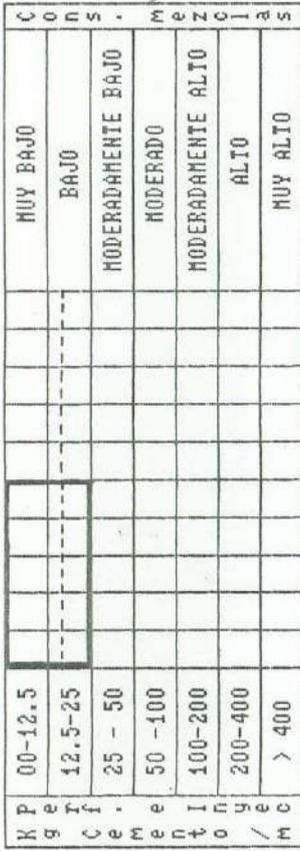
PRUEBA No.	PROFUNDIDAD DE	A	PERMEABILIDAD (U.L.)	CLASIFICACION (S/U.Deere)
-	00.00	8.50	- - -	TRAMO NO PROBADO
1	8.50	13.50	- - -	ALTAMENTE PERMEABLE
-	13.50	17.60	- - -	TRAMO NO PROBADO
2	17.60	22.60	10.00	POCO PERMEABLE
3	22.60	27.60	6.80	POCO PERMEABLE
4	27.60	32.60	4.00	POCO PERMEABLE
5	32.60	35.60	0.00	IMPERMEABLE

De acuerdo con estos resultados, sin ejecutar el barrenado de la estación 0+092.50, se consideró necesario realizar el reinyectado del tramo 0+040 al 0+105, mediante una línea de pantalla profunda, consistente en dos etapas obligatorias; la primera a 30.00 m de profundidad, distancia entre barrenos de 10.00 m y a diferencia de los ya ejecutados (presentaban 20 grados de inclinación hacia la ladera), verticales; la segunda etapa con profundidades de 25.00 m, distancia de 5.00 m con respecto a los de primera etapa y verticales. Los resultados obtenidos son los siguientes:

ETAPA	No. BARRENOS	CONSUMO DE CEMENTO en kg	METROS PERF.	CONSUMO PROM. CEMENTO kg.
*I	7	4,782.00	140	34.16
*II	7	3,850.00	110	35.00
III	6	2,025.00	110	18.41
IV	2	650.00	55	11.81

\* Etapas obligatorias según especificaciones.

Así mismo, como en el caso anterior del inyectado, se presenta en la gráfica 5, por medio de histogramas de consumo, el consumo promedio general de cemento para cada una de las etapas, así como el comportamiento general del tratamiento de cimentación en su etapa de reinyectado, para el tramo 0+040 al 0+0+105, en la grafica 6.

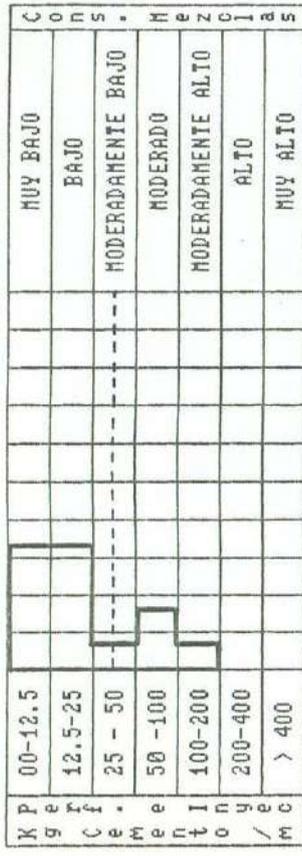


Cons.Prom.Gral.  
Cem. 17.26 kg

% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

TOTAL 12 POZOS

ETAPA I

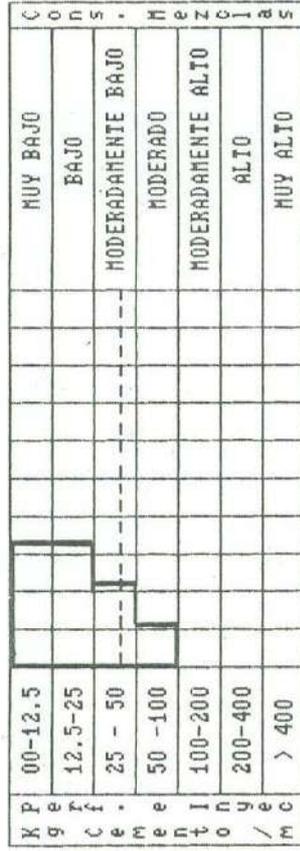


Cons.Prom.Gral.  
Cem. 37.34 kg

% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

TOTAL 12 POZOS

ETAPA II

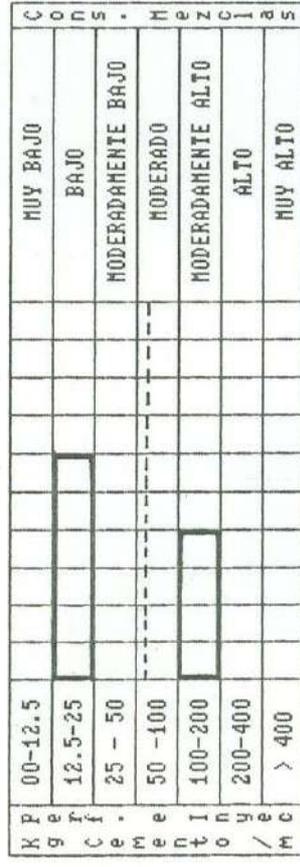


Cons.Prom.Gral.  
Cem. 30.42 kg

% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

TOTAL 9 POZOS

ETAPA III

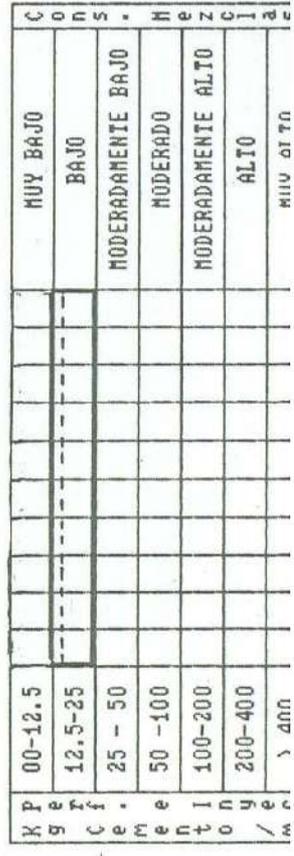
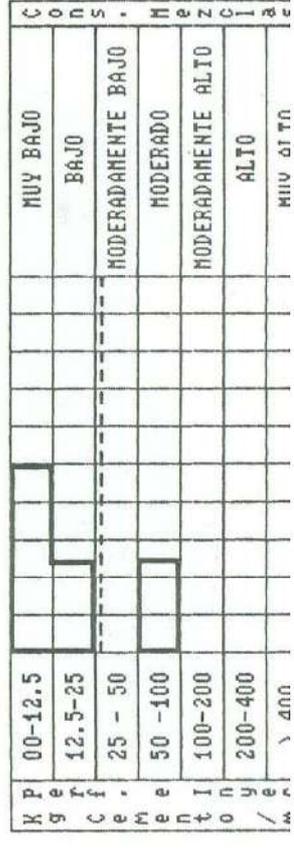


Cons.Prom.Gral.  
Cem. 55.40 kg

% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

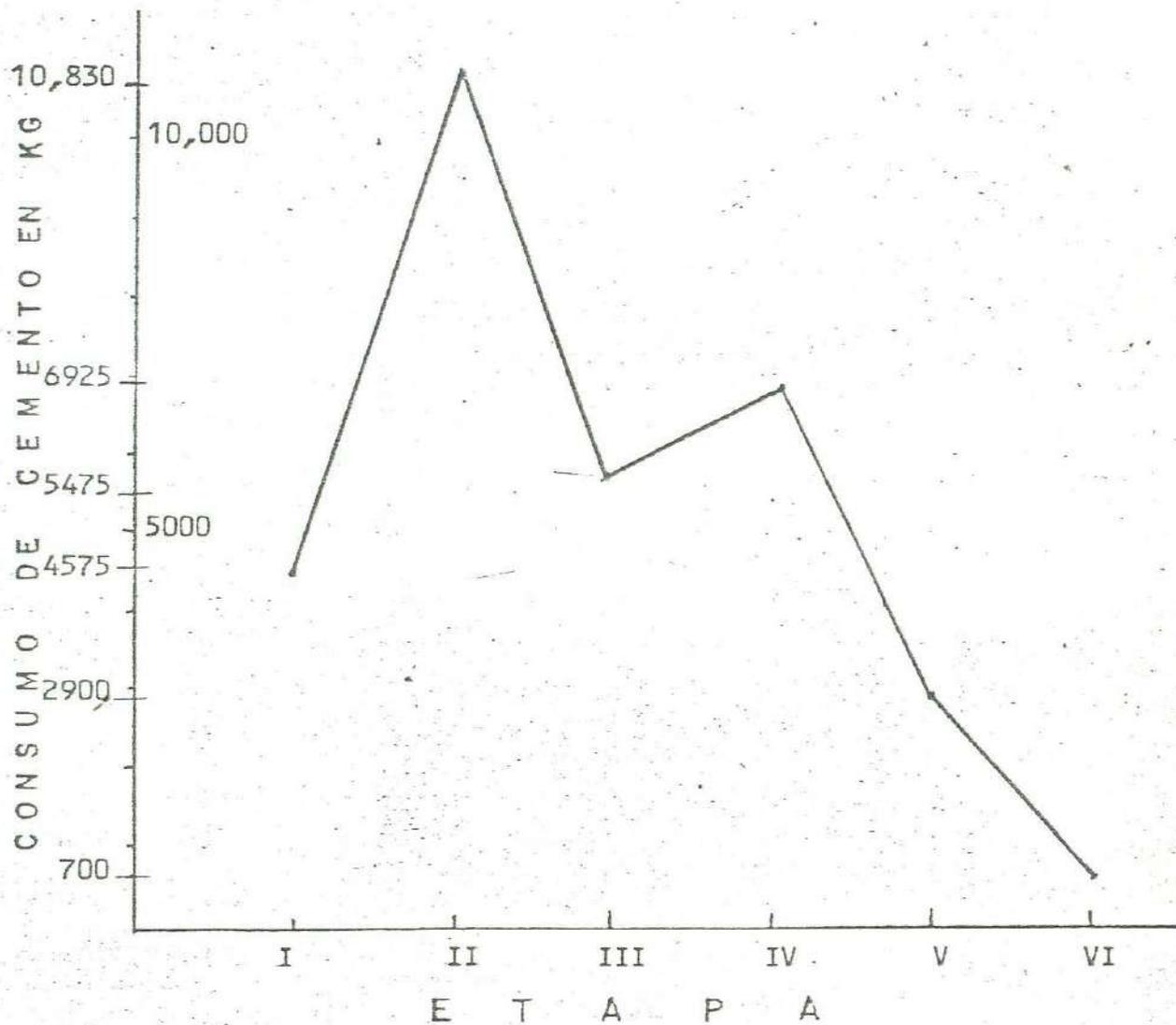
TOTAL 5 POZOS

ETAPA IV



ESA: "EL SALTO", PROYECTO ELOTA PIAXTLA TRATAMIENTO DE CIMENTACION  
PANTALLA IMPERMEABLE

GRAFICA DE CONSUMO

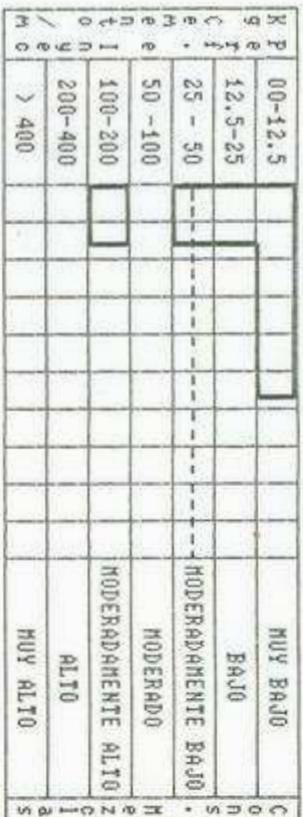


PERIODO DE EJECUCION  
INICIO \_\_\_\_\_ TERMINO \_\_\_\_\_

# HISTOGRAMAS DE CONSUMO

(REINYECTADO)

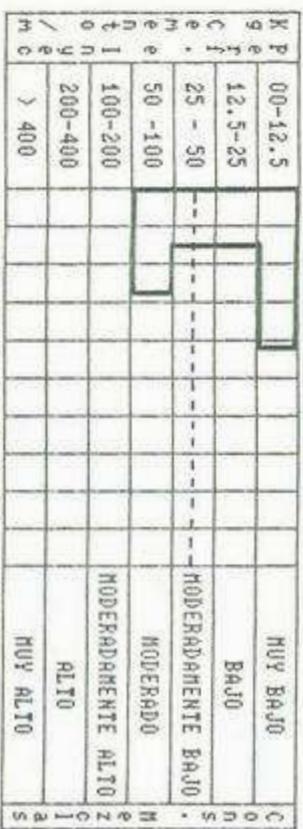
GRAFICA NO. 5



ETAPA I

% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS  
TOTAL 7 POZOS

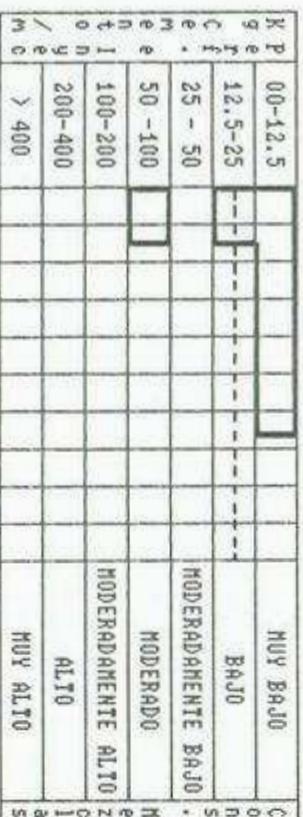
Cons. Prom. Gral.  
Cem. 34.16 Kg



ETAPA II

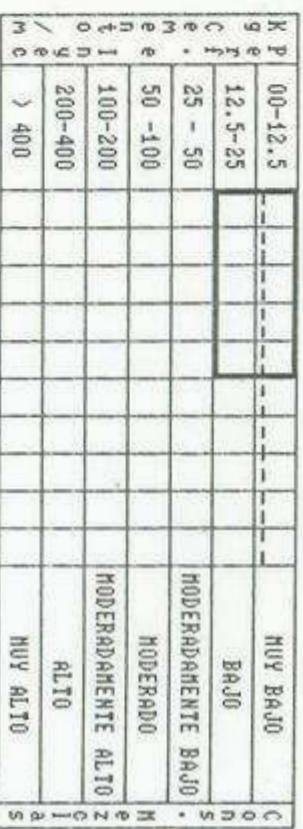
% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS  
TOTAL 7 POZOS

Cons. Prom. Gral.  
Cem. 35.00 Kg



% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

Cons. Prom. Gral.  
Cem. 18.41 Kg

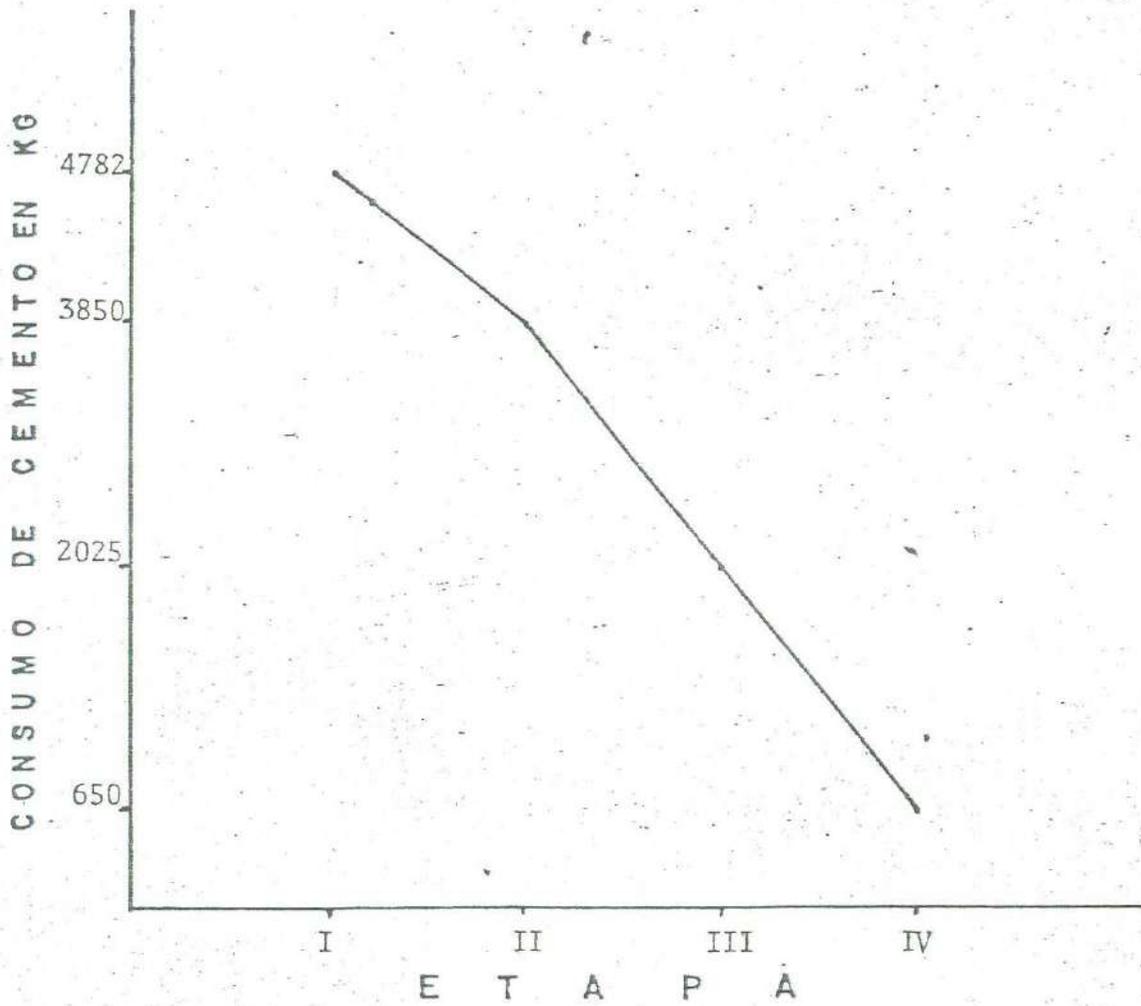


% DE CONSUMO DE CEMENTO EN BARRENOS

Cons. Prom. Gral.  
Cem. 11.81 Kg

PRESA: "EL SALTO" (REINYECTADO) TRATAMIENTO DE CIMENTACION PANTALLA IMP.

GRAFICA DE CONSUMO



PERIODO DE EJECUCION  
INICIO \_\_\_\_\_ TERMINO \_\_\_\_\_



EL SA...  
HA...  
Resc...  
Den...  
5...

## DIQUE "EL BAJIO"

El dique "El Bajío" viene a ser una de las estructuras por construirse sobre el puerto "El Bajío" (el cual forma un bajo topográfico), con fines de evitar los derrames al embalsar la presa a su máxima capacidad. El dique "El Bajío" consta de una longitud de 1,090 m, al cual, al igual que la boquilla "El Salto", se le realizó un estudio geológico-estructural, ejecución de pozos a cielo abierto, así como el estudio con máquina rotaria que incluyera la recuperación de núcleos y la realización de pruebas de permeabilidad.

En cuanto a la litología, el dique "El Bajío" está constituido superficialmente por:

1.- Estación 0+000 a 0+590: Una alternancia de basalto color gris oscuro textura afanítica, basalto color rojizo textura masiva y una brecha de color gris rojizo, fresca y compacta, conteniendo fragmentos angulosos de basalto gris y basalto rojizo.

2.- Estación 0+590 a 0+680: Una alternancia discontinua de:

Arcillas.- Existen a lo largo de toda la zona, considerándoseles plásticas al tacto; en ocasiones se presenta intercalada con arena; alcanza espesores de hasta 11.00 m; presenta coloración café claro.

Areniscas.- Se presenta de grano fino a grueso, en la parte superior presenta textura de grano fino y, a medida que se baja estratigráficamente los granos aumentan de tamaño, existiendo textura intercalada de grano fino con grano grueso dado posiblemente por las variaciones en los flujos de corriente; en algunas partes se encuentran bien, y en otras mal consolidadas; alcanzan espesores de hasta 9.00 m; presenta coloración de rosa claro a café claro.

Arenas-arcillosas.- Como su nombre lo indica son arenas con un alto contenido de arcillas, siendo sus granos redondeados, con alta esfericidad y de tamaño fino; presentan color café.

Acarreos.- Gravas que varían en su tamaño de 0.03 a 0.05 m de diámetro; se encuentran mal consolidadas; se dan en lentes de aproximadamente 0.50 m o más en algunas partes, en otras, solo alcanzan espesores de 0.10 m; los clastos se presentan labrados (redondeados y sub-esféricos) lo cual nos da la idea del transporte o retrabajo al cual estuvieron sometidos.

Dentro de ésta secuencia sedimentaria se tienen una fractura y una falla principales: la fractura presenta datos estructurales con rumbo de 40 grados NW y echado de 63.5 grados al NE, presentando alteración en sus límites de arcilla de aproximadamente 0.20 m. Esta fractura solo aparece en la pared de aguas arriba.

La segunda, que es la mayor, tiene como datos estructurales

rumbo de 47 grados NW y echado de 77 grados al SW, la cual marca un límite drástico entre arcillas y arenisca; presenta alteración a arcilla a lo largo de su plano (relleno de falla), de aproximadamente 0.60 m.

3.- Estación 0+680 a 1+090: Formado por una brecha de composición basáltica, conteniendo fragmentos de basalto color gris obscuro, textura afanítica, y de basalto color rojizo, textura vescicular-amigdaloides.

Para su reconocimiento superficial fué necesario la realización de 11 pozos a cielo abierto ya que superficialmente, a lo largo de todo el eje y área de desplante del dique, no se presentaban afloramientos debido a la abundante vegetación existente. Los resultados obtenidos en este reconocimiento se muestran en el Apendice A.1.

En cuanto al programa de exploración con máquina rotaria, se elaboró y ejecutó un programa de exploraciones, consistente en cuatro sondeos con recuperación de núcleos y pruebas de permeabilidad del tipo Lugeón o Lefranc, según el caso, en tramos de 5.00 m en forma descendente. Los resultados obtenidos en este programa de barrenación se exponen en el Apendice B.2, así como un resumen de los mismos, en la Tabla No. 9.

Para el área de desplante del dique, se programó la ejecución de un tratamiento de cimentación consistente en:

Pantalla profunda y tapete de consolidación, de la estación 0+200 a la estación 1+090 perforando e inyectando barrenos verticales a 30.00 m de profundidad y separación horizontal de 20 m, con barrenos intermedios de segunda etapa a 25.00 m de profundidad para la pantalla impermeable, mientras que para el tapete de consolidación, al igual que en la boquilla, mediante una cuadrícula primaria (ver los capítulos de Geotecnia y Boquilla "El Salto"). Por razones fuera del control del autor no es posible presentar los resultados obtenidos en este tratamiento, pero posteriormente se llevó a cabo dos "perforaciones control", obteniéndose los resultados siguientes:

EXPLORACION I

ESTACION (AGUAS ABAJO)	0+058
PROFUNDIDAD (m)	24.90
RECUPERACION (m)	24.05
RECUPERACION (m)	96.59
R.Q.D. (%)	80.00
CLASIFICACION s/U.DEERE	BUENO

EXPLORACION II

ESTACION (AGUAS ARRIBA)	0+620
PROFUNDIDAD	25.00
RECUPERACION (m)	12.13
RECUPERACION (%)	49.00
R.Q.D. (%)	36.19
CLASIFICACION s/U.DEERE	MALO

Lo que da una idea de lo susceptible a la erosión regresiva, hidráulicamente hablando, que puede ser éste tramo del dique al embalsar completamente.

TABLA No. 9

DIQUE "EL BAJIO"

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES

E X P L O R A C I O N E S

CONCEPTOS	A	B	C	D	E
EXPLORACION	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
ESTACION	0+230	0+700	0+590	0+225	0+700
ELEVACION(snm)	152.61	136.14	144.00	150.00	139.50
PROFUNDIDAD(m)	24.00	25.00	18.30	16.00	16.00
RECUPER. (%)	92.00	98.00	81.00	95.00	97.00
% RQD (ICR)	40.00	58.00	26.00	46.00	58.00
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	MALA	REGULAR	MALA	MALA	REGULAR
PERMEABILIDAD (C.F. o U.L.)	> 46.00	.19.33*	1.7x10E-3*	76.40*	86.00*
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	ALTAMENTE PERMEABLE	PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE

\* = SIGNIFICA QUE ESTAS PERMEABILIDADES SE OBTUVIERON SUPERFICIALMENTE, SIENDO (11.6), (00.00), (25.46) Y (28.66), RESPECTIVAMENTE LOS RESULTADOS PROMEDIOS DE PERMEABILIDAD PARA CADA UNO DE LOS BARRENOS.

## VERTEDOR DE DEMASIAS

Consiste de un vertedor tipo "Cresta Libre" con una capacidad máxima de 4820 m<sup>3</sup>/seg.

Litológicamente esta estructura esta desplantada sobre una alternancia de basalto color gris oscuro lajeado y una brecha de composición basáltica, conteniendo fragmentos de color gris presentándose ligeramente oxidada. La característica principal es que se encuentran alterados y fracturados, siendo la brecha la más afectada, ya que presenta alteración de sus minerales a arcillas.

En esta zona, en las brechas los planos de fracturamiento no siguen patrones bien definidos, observandose la estructura en forma masiva. El basalto se presenta con las mismas características existentes en la boquilla, por lo que el fracturamiento es enmascarado por los planos de flujo, los cuales se caracterizan por formar pequeñas "lajas" paralelas a éstos planos, lo que ocasiona, además de los límites de contacto entre estos y brechas, una alta permeabilidad.

Para el estudio de esta estructura, fue necesario la realización, primeramente, de tres pozos a cielo abierto, sobre el eje de simetría del vertedor, principalmente en el "salto de Sky", para conocer las características físicas superficiales en esta zona. Los resultados se exponen en el Apendice A.2. Así como la ejecución de cinco barrenos con máquina rotaria para conocer, además de la estratigrafía, las características de calidad y permeabilidad. Los resultados obtenidos se exponen en el Apendice B.3, así como un resumen de los mismos en la Tabla No. 10.

Considerando la alta permeabilidad mostrada en el resumen presentado en la tabla 10, se recomendó la ejecución de un tratamiento de cimentación mediante la realización de una pantalla profunda con el fin de impermeabilizar el área de desplante bajo el dentellón. Este programa consistió en dos líneas paralelas separadas 2.50 m, verticales, sobre un eje transversal al eje del vertedor, bajo el dentellón de la estación 0+087 hasta todo lo ancho del canal de acceso, prolongándola hasta 50.00 m hacia ambos márgenes. La prolongación hacia el margen izquierdo fue la misma que la del dentellón, mientras que la del margen derecho se desvió 27 grados hacia aguas abajo, para unirse con la pantalla del dique "El Bajío". El tratamiento se inició con el inyectado de la línea A, perforando e inyectando barrenos verticales, a 40.00 m de profundidad y separación horizontal de 10.00 m, posteriormente se inyectaron los barrenos de primera etapa de la línea B a la misma profundidad y separación que la línea A, colocados alternadamente con respecto a los de la línea A. Una vez realizadas las líneas A y B en su primera etapa se inyectaron las etapas posteriores reduciendo las distancias equidistantemente. El consumo que se requería para realizar la etapa posterior fue, al igual que en la boquilla y el dique, de 50.00 kg por metro lineal. Aunque no se presentan los resultados del tratamiento toda la zona del vertedor necesitó hasta 6 etapas de inyectado.

TABLA No. 10

"VERTEDOR"

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES

E X P L O R A C I O N E S

CONCEPTOS	F	G	H	I	J
EXPLORACION	(V)M.I.	(V)M.I.	(V)M.D.	(V) EJE	(V) EJE
ESTACION	0+100	0+040	0+040	0+200	0+289
ELEVACION(snm)	158.70	161.50	161.50	147.62	141.80
PROFUNDIDAD(m)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
RECUPER. (%)	78.00	75.40	60.60	68.80	53.10
% RQD (ICR)	6.12	14.84	4.24	3.28	5.96
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	MUY MALA				
PERMEABILIDAD (C.F. o U.L.)	> DE 40.00				
CLASIFICACION SEGUN U.Deere	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE	ALTAMENTE PERMEABLE

## TUNEL "EL SALTO"

El túnel "El Salto" se encuentra localizado sobre la margen derecha del río Elota, aproximadamente a 150 m aguas arriba de la boquilla del mismo nombre. Siendo este túnel, una de las principales estructuras del sistema de conducción del río Elota, particularmente de la presa a la zona de riego de los ríos "Piactla-San Lorenzo" en la cual serán distribuidas las aguas, para su riego y consumo.

Las características de proyecto para la construcción del túnel son las siguientes:

Tipo de Sección	HERRADURA
Longitud total	1065.00 m
Altura (a la clave)	4.80 m
Ancho (del piso)	4.80 m
Cota de Entrada	126.13 m
Cota de Salida	124.68 m
Pendiente (s)	0.008

Para iniciar la construcción del túnel se necesitó la apertura de un tajo en el cual quedaria alojada la estructura de compuertas de esta obra de toma, necesitándose además, la conformación de los taludes y la formación de dos banquetas para la construcción de los pilares y castillos que soportaran la ya mencionada estructura.

La banqueta número uno presenta una altura de 20.00 m a partir de la elevación 131.0 m (que es la rasante que tendrá el túnel), a la elevación 151.0 m, con un ancho de 5.00 m y talud de 0.5:1. La banqueta número dos inicia en la elevación 151.0 m y termina en la elevación 168.0, es decir con una altura de 17.00 m, con un ancho de 8.00 m, y con talud de 0.5:1.

Geológicamente la zona donde se ubica el túnel "El Salto", está representada por una serie de coladas de composición basáltica que presenta diferentes texturas (afanítica, amigdalar) y alteraciones, existiendo variación en los espesores de estas coladas basálticas (de 2.00 m a 10.00 m), así como la actitud (rumbos y echados) las cuales varían en distancias relativamente cortas (decenas de metros).

El sitio está influenciado por varios sistemas de fracturas, mismas que se presentan cerradas, en su gran mayoría, y de poca longitud. El fallamiento que se presenta en esta zona es normal.

Para iniciar los trabajos de construcción del túnel, se llevó a cabo un programa de exploraciones con máquina rotaria consistente en cinco barrenos, exponiéndose un resumen de los resultados obtenidos en la Tabla No. 11.

#### PORTAL DE ENTRADA:

La litología observada en el portal de entrada, es una

serie de coladas basálticas, las cuales se presentan en secuencias de alteración y texturas, intercaladas; sobre su lado izquierdo aflora un basalto rojizo, con textura afanítica muy alterado, presentándose en forma masiva, con un espesor aproximado de 4.00 m; sobreyaciendo a este se encuentra un basalto gris obscuro, textura afanítica, fresco y compacto; el fracturamiento existente presenta orientación preferencial al SW, con buzamientos al NW y al SE.

Sobreyaciendo a estos se encuentra un basalto amigdalario cuyas vesículas se encuentran rellenas de caolín, el espesor de éste basalto es de aproximadamente 15.00 m, siendo éste el espesor más potente. En esta secuencia se observan tres capas formadas por minerales arcillosos, las cuales se consideran como superficies potencialmente deslizables (Apendice 7).

A partir de la primera banqueta, vuelve aparecer el basalto gris que continúa presentándose muy fracturado. En la segunda banqueta se observaron dos tipos de alteración del basalto: en la base se tiene un basalto gris masivo, deleznable y poco arcilloso; y la segunda, se observa sobre un basalto color amarillo-verdoso (oxidación), e intensamente fracturado.

Como se puede observar en el anexo del Levantamiento Estructural en el Tajo de Entrada sobre el Eje de Simetría del Túnel El Salto, se presentan dos sistemas de fracturamiento principales, siendo uno conformado por las fracturas F-1, F-3, F-4, F-6, F-7, F-8, F-9, F-10, F-19 y F-22, con rumbos

preferenciales al sureste y buzamientos al noreste; el otro sistema esta formado por las fracturas F-13, F-14, F-15, F-16, F-17, y F-18, con rumbos preferenciales al suroeste y echados al sureste. Dadas las características del fracturamiento es posible predecir, en base a las intersecciones de las mismas, una serie de acuñamientos que serían potencialmente deslizables, sobre todo en la zona de la primera banquetta, dado que tiene la conjunción de varias fracturas y por encontrarse la roca bastante fisurada; del mismo modo en la banquetta numero dos se observa un acuñamiento peligroso, en el cual se tuvo un desplome de aproximadamente 5.00 m<sup>3</sup> de material, el cual incluso puede motivar otro "caído" de igual o mayor magnitud.

#### PORTAL DE SALIDA:

El portal de salida está formado por un basalto rojizo, textura masiva, muy alterado y muy fracturado. La parte izquierda del portal, se observa afectado por una falla normal con rumbo de 30 grados NE y con echado de 75 grados al SE, la cual presenta una aureola de alteración de 8.00 m; debido al movimiento propiciado por la falla, existieron caídos al efectuar las excavaciones, optandose por ademar con marco de acero, así como la conformación de los taludes con concreto armado, lograndose de esta forma continuar con los trabajos de excavación del tunel.

A continuación se pesenta el levantamiento a detalle del trazo del tunel:

EL SABER DE MIS NIÑOS  
PARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

0+000 - 0+011.5	BASALTO color rojizo, textura afanítica, aspecto arcilloso masivo, no se observan sistemas de fracturamiento.
0+011.5- 0+014.5	BASALTO color gris, textura afanítica, se observa fresco y compacto, muy fracturado; el rumbo de fracturamiento es aproximadamente paralelo al eje.
0+014.5- 0+054	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco y poco fracturado.
0+054 - 0+086	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco y poco fracturado; el fracturamiento es concorde con apariencia de pseudoestratificación.

En la Estación 0+086 se observan cambios en las características físicas en el basalto, presentándose poco compacta, frágil y no presenta planos definidos de fracturamiento; éste contacto está delimitado por una falla normal con rumbo de 38.5 grados NW con echado de 85 grados al SW, presenta un relleno de arcilla de 0.30 m de espesor. En esta zona de falla existe una aureola de alteración con una área de influencia de 8.30 m en el techo, acunándose en el piso donde presenta una influencia de 4.30 m.

0+091 - 0+112	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, se presenta compacto y masivo, no se observan planos de fracturamiento definidos.
0+012 - 0+129	BASALTO color gris, textura amigdalal fresco y medianamente fracturado.
0+129 - 0+140	BASALTO color gris, textura afanítico, fresco y muy fracturado, se distinguen dos sistemas de fracturamiento principales: N52°W echados de 85° al SW, y N82°E con echados de 87° al SE.
0+140 - 0+150	BASALTO color rojizo, textura afanítica, medianamente alterado, se presenta en forma masiva.
0+150 - 0+335	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco y muy fracturado.
0+335 - 0+429	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, se presenta en forma masiva no se observan sistemas de fracturamiento definidos.

## E S T A C I O N

## DESCRIPCION LITOLOGICA



0+429 - 0+460	BASALTO color gris, textura afanítica, fragmentado. Se localiza una falla del tipo normal, con rumbo de N85°E y un echado de 63.5° al SE; se presenta una zona de cizallamiento.
0+460 - 0+478	BASALTO color rojizo, textura afanítica, presenta alteración formándose minerales arcillosos.
0+478 - 0+540	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco, compacto y muy fracturado.
0+540 - 0+560	BASALTO color rojizo, textura afanítica, presenta alteración, formándose minerales arcillosos; se presenta en forma masiva; poco fracturado.
0+560 - 0+630	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco, compacto y muy fracturado.
0+630 - 0+650	BASALTO color rojizo, muy alterado, se presenta en forma masiva.
0+650 - 0+710	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco, compacto y muy fracturado.
0+710 - 0+720	BASALTO color gris oscuro, textura vesicular amigdalal, muy alterado y fragmentado; vesículas rellenas de caolín.
0+720 - 0+798	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco, compacto y muy fracturado.
0+798 - 0+810	BASALTO color gris oscuro, textura vesicular amigdalal; se presenta masivo y medianamente alterado.
0+810 - 0+963	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco, compacto y muy fracturado.
0+963 - 0+982	BASALTO color gris oscuro, textura amigdalal; se presenta poco alterado, y medianamente fracturado.
0+982 - 1+028	BASALTO color gris, textura afanítica, fresco y compacto.

1+028 - 1+065

BASALTO color rojizo, textura afanítica; muy fracturado y muy alterado; en la estación 1+048 se presentó falla del tipo normal con rumbo de N30°E y echado de 75° al SE. Se observó una zona de cizallamiento, constituido por arcillas y estructuras brechoideas.

#### GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El túnel "El Salto" se ve afectado por una serie de fallas normales locales y por varios sistemas de fracturamiento.

Se localizaron tres fallas normales: la primera en la estación 0+086 (F-15) con rumbo de 38.5 NE y echado de 85 al SE, se observa una zona muy alterada de un espesor de 4.30 a 8.30; el material existente (arcillas y bechas), está muy fragmentado.

En la estación 0+430 existe otra pequeña zona de cizallamiento, con las mismas características antes descritas, cuya falla presenta datos estructurales de 85° NW y echado de 75 al SE (F-56), en esta zona se registraron deslizamientos de gran magnitud, lo que afectó el desarrollo en las excavaciones del túnel.

La tercera es la que se localiza en la estación 1+040 con rumbo de 30 grados NE y echado de 75 grados al SE.

El fracturamiento existente en el trazo del túnel

presenta las siguientes características, según la estructura rocosa donde se presenta: En la estructura formada por el basalto rojizo, textura masiva, el espaciamiento de las fracturas varía entre 1.00 y 4.00 m (definido por los echados) y de poca longitud (definido por los rumbos).

En lo que respecta al basalto color gris, textura afanítica, el fracturamiento, generalmente, presenta espaciamientos entre 0.30 m y 1.00 m, y de poca longitud debido a que la mayoría de las fracturas se acuñan y, en algunos tramos, se presenta fracturamiento concoidal.

Se trató de apegar a la clasificación propuesta por Bieniawski (1974), pero, debido a la falta de información, no nos es posible concluir que tipo de marcos y/o anclajes se debían utilizar. Asimismo no se tuvo acceso a qué normas se sujetó la S.A.R.H. para tales estructuras. Empero de manera muy general se tiene, para todo el túnel, una MUY MALA calidad de la roca, medianamente alterada, distancia de las fisuras de 1.50 m para el basalto rojizo y 0.35 m para el basalto gris, faltando, principalmente, la resistencia a la compresión uniaxial inalterada y las medidas de infiltraciones de aguas subterráneas.

Se anexa plano del levantamiento geotécnico del túnel (Apendice E.8), donde se numeran los principales sistemas de fracturamiento.

TABLA No. 11

TUNEL "EL SALTO"

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES

E X P L O R A C I O N E S

CONCEPTOS	V	VI	VII	VIII	IX
EXPLORACION	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
ESTACION	0+050	0+340	0+630	0+980	1+040
ELEVACION(snm)	147.00	195.78	159.20	154.70	147.00
PROFUNDIDAD(m)	30.00	75.00	40.00	35.50	30.00
RECUPER. (%)	51.00	96.00	16.00	75.00	78.00
ICR -RQD- (%)	11.00	66.00	2.00	55.00	40.00
CLAS. s/U. D.	MUY MALA	REGULAR	MUY MALA	REGULAR	MUY MALA

NOTA: No se efectuaron pruebas de permeabilidad.

## DISCUSION

En el dique "El Bajio" se detecto la existencia de una falla normal, se llevo a cabo su tratamiento de cimentacion, y se dictamino que la falla no implicaba problema, a pesar de que se observaron evidencias de la misma en algunos barrenos. En contraste con esto, se piensa que, basados en los resultados arrojados por los "barrenos control" mencionados en el capitulo del Dique "El Bajio", dicho plano de falla pueda ser potencialmente filtrable.

Otro aspecto importante, fue la falta de estudios geofisicos que apoyaran las interpretaciones obtenidas en los levantamientos superficiales de las distintas obras de la presa, especialmente en el area del dique el Bajio, donde los estudios geofisicos, particularmente el metodo de resistividad que es relativamente barato hubieran justificado la inversion de perforaciones especiales de inyectado a lo largo de la falla y preever con esto posibles filtraciones, asegurandose, aun mas, la confiabilidad de la obra.

En lo que respecta a los tratamientos de cimentacion tanto del dique como del vertedor no fue posible recabar mayor informacion escrita, solo alguna verbal y la que el autor pudo recoger a traves de la observacion, en cuyo caso no se dudaria en poner estas estructuras en una mayor perspectiva, desde el punto de vista geotecnico.

Para la obra de toma baja (túnel "El Salto"), no fue posible un mayor acceso a los archivos, para la obtención de datos como son capacidad de carga uniaxial, tridimensional y resultados de infiltraciones principalmente, por lo que solo se limitó a hacer una descripción de los datos obtenidos en la construcción del túnel sin llegar al diseño o características de los marcos, castillos y anclas.

Por último, en el presente trabajo se trató de exponer, lo más claramente posible, los trabajos de geología y geotecnia que se realizaron en la Presa "El Salto", pero debe mencionarse que no fue posible el acceso total, por falta de tiempo, a información, tales como el tratamiento de cimentación del dique y vertedor, inyección de contacto del túnel, y los resultados de mecánica de rocas utilizado para la conformación de los portales de entrada y salida, así como las características de los marcos, pilares y castillos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) Se determinó la factibilidad de la construcción de la Presa "El Salto" en el cauce del Río Elota, en base a las características geológicas, hidroldgicas y geotecnicas del cauce de dicho río.

2) En base a los estudios de reconocimiento y de exploración regional del curso del Río, se seleccionó la alternativa II como el area favorable para la construcción de la Presa "El Salto", ya que se comprobó que esta localidad presenta las siguientes ventajas: a) mayor embalse; b) los propietarios de los terrenos afectados (tenencia de la tierra) son los mismos en ambas alternativas; c) geoldgicamente la alternativa II, presenta una litología en capas mas gruesas y menos deformadas así como una estructura mas sencilla.

3) En el área que comprende la alternativa II se realizaron estudios geoldgicos a detalle, barrenación con diamante para estudiar la estructura del subsuelo tanto petroldgicamente como en sus características de permeabilidad, así como pruebas de compresión simple para obtener parámetros de capacidad de carga en distinto niveles de profundidad.

4) La zona de la boquilla está constituida por una alternancia de basaltos y brechas, los cuales presentan características geotecnicas diferentes de acuerdo al tipo de roca, atribuibles, a la alteración, fracturamiento y caracter litológico.

5) De acuerdo con los resultados de calidad de la roca, de acuerdo con U.Deere, en general la zona de la boquilla se considera como BUENA, después de realizar el tratamiento de tapete de consolidación, y en cuanto a permeabilidad como IMPERMEABLE, salvo la margen superior izquierda, debiendo reinyectarse para mejorar sus características físicas, aunque la presión (hidrostática y de la estructura propia) a esta altura es mínima.

6) Al realizar el levantamiento geológico de la zona de desplante del dique "El Bajío" se detectó la existencia de una falla normal que atravieza el dique transversalmente, por lo que se realizaron estudios mas detallados para detectar su comportamiento y relación con las unidades geológicas (ver Apéndice E.6). De ésto se derivó la ejecución de un tratamiento de cimentación. Al momento de su realización se vió la necesidad de remover el material, lo cual se hizo casi totalmente, pero se considera que el plano de la falla no quedo totalmente impermeabilizado segun los resultados obtenidos en dicho tratamiento, pudiendo ser potencialmente filtrable y crear problemas futuros, motivado por el incremento de la carga hidrostática, al momento de trabajar la presa a su máxima capacidad. En caso de que ésto ocurra es recomendable el inyectado de cemento con algún catalizador mediante inyecciones inclinadas para su confinamiento.

7) En la zona del vertedor se presenta una alternancia de basaltos y brechas muy alteradas y fracturadas, además de permeabilidades altas, debido a los planos de contacto entre estas

rocas. Al realizar el tratamiento de cimentación respectivo no se registraron mayores problemas ya que se hizo mediante dos líneas obligatorias longitudinales al eje, por lo que se espera no se presente ningún problema al trabajar esta estructura.

8) La zona de la obra de Toma baja se caracteriza por una alternancia de basaltos, presentando calidad de la roca MALA, en los sondeos, pero al excavar no se presentaron caídos considerables. Se considera un talúd de 1.5 : 1 para una buena estabilidad en los taludes de entrada y salida.

9) En cuanto a riesgos sísmicos se tienen registros de magnitud entre 4 y 5.5 en la escala de Richter aproximadamente a 120 Km de la presa, salvo uno de magnitud 6.5, por lo que se considera que las condiciones máximas se darán entre 5.5 a 6.5.



EL INSTITUTO VECESINO DE INGENIERIA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

## AGRADECIMIENTOS



AGRADEZCO DE MANERA MUY ATENTA A LAS AUTORIDADES DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, A LA RESIDENCIA GENERAL DEL PROYECTO ELOTA-PIAXTLA, POR LAS FACILIDADES PRESTADAS.

TAMBIEN, DE MANERA MUY ESPECIAL AL ING. MANUEL STROSSI POR LOS CONSEJOS Y SUGERENCIAS DADOS DURANTE MI ESTANCIA EN LA OBRA, AL ING. APOLONIO RIOS RUIZ POR SU GRAN DISPOSICION A LA DISCUSION EN LOS ASPECTOS TECNICOS DE LA OBRA. A TODO EL PERSONAL DEL PROYECTO ELOTA-PIAXTLA.

MIS SINCEROS AGRADECIMIENTOS AL DR. GUILLERMO ARMANDO SALAS P., POR LAS SUGERENCIAS Y COMENTARIOS EN LA CONFORMACION DEL PRESENTE TRABAJO.

MI MUY ESPECIAL RECONOCIMIENTO AL M. en C. JESUS FRANCISCO MAYTORENA SILVA, POR LA REVISION CRITICA, SU INESTIMABLE COLABORACION Y SU SIEMPRE ALENTANTE ACTITUD.

AL ING. FERNANDO RUEDA LUJAN, COORDINADOR REGIONAL, ZONA NOROESTE (SARH) Y A A TODO EL PERSONAL TECNICO Y ADMINISTRATIVO.

AL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ESTADO DE SONORA, DE MANERA ESPECIAL AL ING. MARCO ANTONIO GONZALEZ J., DIRECTOR DE LA ESCUELA SUPERIOR DE GEOCIENCIAS, POR LAS FACILIDADES DADAS PARA LA PUBLICACION DE ESTA TESIS.

DE MANERA MUY SINCERA A MI MADRE, YA QUE GRACIAS A ELLA ME FUE POSIBLE LLEVAR A CABO ESTA TAREA, TAN IMPORTANTE EN MI VIDA.

A LA GEOL. ALEJANDRINA CASTRO POR LA AYUDA PRESTADA PARA LA CONFIGURACION DE LAS TABLAS DE INYECTADO, ASI COMO EL TIEMPO INVERTIDO EN EL USO DE LA COMPUTADORA.

A TODAS LAS PERSONAS QUE TAN DESINTERESADAMENTE ME PRESTARON SU VALIDOSA AYUDA Y COOPERACION, TODO MI RECONOCIMIENTO.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alberro-A., J. y Marsal, R.J. 1974. PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO. Pp. 539-571.
2. Anderson, T.H. and Silver, L.T., 1974. LATE CRETACEOUS PLUTONISM IN SONORA, MEXICO AND ITS RELATIONSHIP TO CIRCUMPACIFIC MAGMATISM. Geol.Society of America, Abstract whit Program., Vol 6, pp. 484.
3. Anderson, T.H. and Silver, L.T., 1979. THE ROLE OF THE MOJAVE-SONORA MEGASHEAR. In: THE TECTONIC EVOLUTION OF NORTHERN SONORA: In: Guidebook Field Trip # 27. Geol.Soc.Am.Ann.Mtg., pp59-68.
4. Armstrong, R.L., 1974. MAGMATISM, OROGENIC TIMING AND OROGENIC DIACHRONISM IN THE CORDILLERA FROM MEXICO TO CANADA. Nature, Vol 247, pp. 348-351.
5. Atwatter, T., 1970. IMPLICATIONS OF PLATE TECTONICS FOR THE CENOZOIC TECTONIC EVOLUTION OF WESTERN NORTH AMERICA. Geol.Soc.Am.Bull. 81, pp. 3513-3536.
6. Clark, K.F., et al, 1979. MAGMATISMO EN EL NORTE DE MEXICO EN RELACION A LOS YACIMIENTOS METALIFEROS. Asoc.Ing.Minas, Metalurgista y Geologos de Mexico. Memoria Tecnica XIII, pp. 8-57. Republicada 1980 In: GEOMIMET No. 6, 3a. Epoca, pp. 51-71.
7. Coney, P.J., 1976. PLATE TECTONICS AND THE LARAMIDE OROGENY. In: Woodward, L.A. and Northrop, S.A., Eds., TECTONICS AND MINERAL RESOURCES OF SOUTHWESTERN NORTH AMERICA. N.Mex.Geol.Soc.Special Pub No. 6, pp. 5-10.
8. Coney, P.J. and Reynolds, S.J., 1977. CORDILLERAN BENIOFF ZONES. Nature, Vol 270, pp. 403-406.
9. Coney, P.J., 1978a. THE PLATE TECTONIC SETTING OF SOUTHERN ARIZONA. In: Callender, J.F., Wilt, J.C. and Clemons, R.E., Eds., Land of Cochise. N.Mex.Geol.Soc. 29th Field Conf.Guidebook, pp. 285-290.
10. Coney, P.J., 1978b. MESOZOIC-CENOZOIC CORDILLERAN PLATE TECTONICS. Geol.Soc.Am.Mem. 152, pp. 33-50.
11. Damon, P.E., 1979. CONTINENTAL UPLIFT AT CONVERGENT BOUNDARIES. Tectonophysics, Vol 61, pp. 307-319.

12. Damon, P.E. and Bikerman, M., 1964. POTASSIUM-ARGON DATING OF POST-LARAMIDE PLUTONIC AND VOLCANIC ROCKS WITHIN THE BASING AND RANGE PROVINCE OF SOUTHEASTERN ARIZONA AND ADJACENTE AREAS. Ariz.Geol.Soc.Digest Vol 7, pp. 63-78.
13. Damon, P.E. and Mauger, R.L., 1966. EPEIROGENY-OROGENY VIEWED FROM THE BASIN AND RANGE PROVINCE OF SOUTHEASTERN ARIZONA AND SONORA. 12th Internacional Geological Congress, India, Part 3, Proc. of Section 3, pp. 45-55.
14. Damon, P.E. and Montesinos, E., 1978. LATE CENOZOIC VOLCANISM AND METALLOGENESIS OVER AN ACTIVE BENIOFF ZONE IN CHIAPAS, MEXICO. Arizona Geological Society Diges, Vol 11, pp. 155-168.
15. DeCserna, Z. y Kent, B.H., 1961. MAPA GEOLOGICO DE RECONOCIMIENTO Y SECCIONES ESTRUCTURALES DE LA REGION DE SAN BLAS Y EL FUERTE, EDO. DE SINALOA Y SONORA. Instituto de Geologia de la UNAM.
16. Deere, D.U., 1964. TECHNICAL DESCRIPTION OF ROCK CORES FOR ENGINEER-PURPOSES. Rock Mechanical and Engineering Geology. Vol 1, No. 1, pp. 17-22.
17. Dickinson, W.R., 1971. PLATE TECTONIC MODELS FOR OROGENY AT CONTINENTAL MARGINS. Nature, Vol 232, pp. 41-42.
18. Dickinson, W.R., 1981. PLATE TECTONIC EVOLUTION OF THE SOUTHERN CORDILLERA. In: RELATIONS OF TECTONICS TO ORE DEPOSITS IN THE SOUTHERN CORDILLERA. Ed. W.R. Dickinson y W.D. Payne. Arizona Geological Society Digest. Vol XIV, pp. 113-135.
19. Dickinson, W.R. and Snyder, W.S., 1978. PLATE TECTONICS OF THE LARAMIDE OROGENY. Geol.Soc.Am.Mem. 151, pp. 355-366.
20. Escalanate-Arias, H., 1969. INSTRUCCIONES GENERALES SOBRE OPERACIONES DE CAMPO DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON Y LEFRANC.
21. Gastil, G., et al, 1979. THE RECORD OF CENOZOIC VOLCANISM AROUND THE GULF OF CALIFORNIA. Geol.Soc.Am.Bull.Vol 90, pp. 839-857.
22. Henry, C.D., 1975. GEOLOGY AND GEOCHRONOLOGY OF THE GRANITIC BATHOLITHIC COMPLEX, SINALOA, MEXICO. Unpublished (Ph.D. dissertation): Univ. of Texas, Austin, 158 p.
23. Hills E.S., ELEMENTS OF STRUCTURAL GEOLOGY. 2a. edicion. Londres: Chapman and Hall Ltd., 1963.
24. Hoek, E. y Brown, E.T., 1985. EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN ROCA. Ed. McGraw-Hill, Mexico.
25. I.S.R.M., 1978. QUANTITATIVE DESCRIPTION OF DISCONTINUITES IN ROCK MASSES. Inter.Jour.Rock.Mech. and Mining Scn. y Geimech, Abs., Vol 15, No. 6. pp. 319-368.

26. Keith, S.B., 1978. PALEOSUBDUCTION GEOMETRIES INFERRED FROM CRETACEOUS AND TERTIARY MAGMATIC PATTERNS IN SOUTHWESTERN NORTH AMERICA. *Geology*, Vol No. 6, pp. 516-521.
27. King, P.B., 1969. TECTONIC MAP OF NORTH AMERICA. U.S. Geological Survey, Scale 1:5'000,000, 2 hojas.
28. King, R.E., 1939. GEOLOGICAL RECONNAISSANCE IN NORTHERN SIERRA MADRE OCCIDENTAL OF MEXICO. *Geol.Soc.Am.* Vol 50, No. 1
29. Leon-Enriquez, F., 1986. ESTUDIO GEOLOGICO CON PRUEBAS DE PERMEABILIDAD DE LA BOQUILLA Y VASO DE ALMACENAMIENTO DEL PROYECTO PARA PRESA "MAYAHUI", SOBRE EL ARROYO CEDROS, MUNICIPIO DE QUIRIEGO, ESTADO DE SONORA. Tesis. UNISON.
30. McDowell, W.F. y Clabaugh, E.S., 1972. EDADES POTASIO-ARGON DE ROCAS VOLCANICAS EN LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL AL NOROESTE DE MAZATLAN. II Conv.Nac.Soc.Geol.Mex.Mem., pp. 182-185.
31. McDowell, W.F. and Clabaugh, E.S., 1979. IGNI-MBRITES OF THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL AND THEIR RELATION TO THE TECTONIC HISTORY OF WESTERN MEXICO. *Geol.Soc.Am.*, Special Paper 180. pp. 113-124.
32. McDowell, F.W. and Keiser, R.P., 1973. MID TERTIARY VOLCANISM IN THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL NEAR DURANGO, MEX. *Abs., Geol.Soc.Am. Ann. Ntg. Prog.* Dallas, pp. 731.
33. Raizis, E., 1964. LANDFORMS OF MEXICO. Edition. Prepared for The Geographic and Polanch of Office of Nosal Research C. Cambridge, Mass.
34. Santoyo-Villa, E., 1978. EXPLORACION DE SITIOS DE PRESAS. In: IX REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS. Merida, Yucatan. Soc.Mex. de Mecanica de Suelos, A.C. 1977-78. Pp 1-32 a 1-39.
35. S.A.R.H., 1981. GOETECNIA. In: INTRODUCCION DE FORMACION DE RESIDENTES DE INVESTIGACION Y DESARROLO EXPERIMENTAL. U.N.A.M. Mexico.
36. S.A.R.H., 1970. INFORMACION SOBRE LAS CUENCAS DE LOS RIOS PIAXTLA Y ELOTA. Apendice II. Inedito.
37. Sneyder, W.S., et al, 1976. TECTONIC IMPLICATIONS OF SPACE-TIME PATTERNS OF CENOZOIC MAGMATISM IN THE WESTERN UNITED STATES. *Earth Planet. Sci. Lettrs.*, Vol 32, pp. 91-106.
38. Thornwaite, 1972. CLASIFICACION DE CLIMAS. In: INFORMACION SOBRE LAS CUENCAS DE LOS RIOS PIAXTLA Y ELOTA. Apendice II.
39. United States Department of Interior Berau of Reclamation Washington, D.C., 1960(1974). DESING OF SMALL DAMS. Cia. Ed. Continental, S.A., Mexico. Traduccion.

# DIQUE "EL BAJIO"

## APENDICE A. 1. 1

### RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

#### E X P L O R A C I O N E S

P.C.A. No.1		ESTACION 0+190	ELEVACION 158.95	PROF. 3.60 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.34	Escombros empacados en suelo arcilloso, rojizo.		
0.34	3.00	Basalto afanítico, gris oscuro, fracturado y alterado, presenta vetillas de calcita.		
3.00	3.60	Basalto afanítico, gris oscuro, fresco y compacto.		

APENDICE A. 1. 2

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P. C. A. No. 2		ESTACION 0+280	ELEVACION 144.36	PROF. 3.65 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.24	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso color rojizo.		
0.24	2.60	Brecha basáltica, conteniendo fragmentos de basalto gris obscuro y basalto rojizo con un promedio en el diametro de los clastos de 0.50 m, se presenta fracturada y medianamente alterada.		
2.60	3.65	Brecha basáltica, conteniendo fragmentos de basalto gris obscuro y basalto rojizo, con un diametro en el tamaño de los clastos de 0.40 m, fresca y compacta.		

APENDICE A. 1. 3

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No. 3		ESTACION 0+330	ELEVACION 138.68	PROF. 2.30 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.40	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, color rojizo.		
0.40	1.20	Brecha basáltica, café rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto color gris, con diámetros de hasta 0.70 m; se presentan alterados fragmentados, fácilmente deleznable.		
1.20	2.30	Brecha basáltica, café rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto color gris, con diámetros de hasta 0.70 m; fresca y compacta.		

APENDICE A. 1. 4

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No. 4		ESTACION 0+450	ELEVACION 136.93	PROF. 3.25 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.40	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.40	1.40	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.70 m; fragmentada y muy fracturada.		
1.40	3.25	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.70 m; fresca y compacta.		

EL SABER DE MIS HIJOS  
NATA MI GRANDEZA  
Facultad de Ingenieria  
Dpto. Geologia  
BIBLIOTECA

## APENDICE A. 1. 5

### RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.5	ESTACION 0+500	ELEVACION 138.78	PROF. 2.60 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA	
DE	A		
0.00	0.23	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.	
0.23	2.60	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.70 m; fresca y compacta.	

APENDICE A. 1. 6

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.6		ESTACION 0+550	ELEVACION 140.01	PROF. 3.00 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.50	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.50	1.35	Toba arenosa, rosa claro, presenta granos subredondeados a redondeados, muy fracturada y fragmentada.		
1.35	3.00	Toba arenosa, rosa claro, presenta granos subredondeados a redondeados, fresca y compacta.		

APENDICE A. 1. 7

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.7		ESTACION 0+680	ELEVACION 153.26	PROF. 2.90 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.20	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.20	1.10	Basalto gris claro, textura afanítica, muy fracturado.		
1.10	2.90	Brecha basáltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.70 m; fresca y compacta.		

APENDICE A. 1. 8

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.8		ESTACION 0+730	ELEVACION 156.96	PROF. 2.50 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.25	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.25	1.00	Basalto gris claro, textura afanítica, muy fracturado.		
1.00	2.50	Brecha basáltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto color gris, con diametros de hasta 0.70 m; fresca y poco fracturada.		

APENDICE A.1.9

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.9		ESTACION 0+780	ELEVACION 160.38	PROF. 2.00 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLÓGICA		
DE	A			
0.00	0.20	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso color café rojizo		
0.20	2.00	Basalto color gris, textura afanítica, fresco y compacto, se presenta en forma de lascas.		

APENDICE A. 1. 10

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.10		ESTACION 0+930	ELEVACION 157.60	PROF. 4.10 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.50	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.50	2.50	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.60 m; fracturada, presenta rellenos de calcita.		
2.50	4.10	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.60 m; fresca y compacta.		

APENDICE A. 1. 11

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.11		ESTACION 0+980	ELEVACION 158.58	PROF. 3.20 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA		
DE	A			
0.00	0.55	Escombros de talud empacados en suelo arcillo-arenoso, cafe rojizo.		
0.55	1.60	Brecha basaltica, cafe rojizo conteniendo clastos de basalto rojizo y basalto gris claro, con diametros de hasta 0.60 m; fracturada.		
1.60	3.20	Basalto gris, textura afanitica, fresco y compacto, se presenta en forma de lajas.		



EL CADER DE MIS HIJOS  
HAGO MI GRANDEZA  
Faculta de Inzenieria  
Dona. Sra. egis  
BIBLIOTECA

V E R T E D O R

APENDICE A. 2. 1

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No. 1      ESTACION 0+289      ELEVACION 139.40      PROF. 3.70 m

P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA
DE	A	
0.00	0.70	SUELO arcillo-arenoso color. cafe rojizo.
0.70	2.00	Brecha basaltica, color cafe rojizo; contiene clastos de basalto rojizo y basalto color gris, con diametros de hasta 0.70 m; se presentan alterados; fragmentados, facilmente deleznales.
2.00	3.70	Basalto color gris obscuro, textura amigdaloides-afanitica, fracturado y alterado.

## APENDICE A.2.2

### RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P.C.A. No.2	*ESTACION 0+030	ELEVACION 142.75	PROF. 4.00 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA	
DE	A		
0.00	1.50	Suelo limo-arcilloso, color cafe.	
1.50	4.00	Basalto color gris oscuro, textura amigdaloides-afanitica, fracturado y alterado. Rellenos de calcita, se presenta en lajas.	

\*\* \* \*\* : La estacion se localiza a 30.00 m sobre la margen izquierda, de la Estacion 0+289 (eje vertedor).

APENDICE A. 2. 2

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

P. C. A. No. 3 *ESTACION 0+030		ELEVACION 141.48	PROF. 2.84 m
P R O F U N D I D A D		DESCRIPCION LITOLOGICA	
DE	A		
0.00	1.50	Suelo limo-arcilloso, color cafe.	
1.50	2.84	Brecha basaltica, color cafe-rojizo; contiene clastos de basalto rojizo y basalto color gris, con diametros de hasta 0.70 m; se presentan alterados fragmentados, facilmente deleznable.	
2.84	----	Basalto color gris obscura, textura amigdaloides-afanitica, fracturado y alterado. Rellenos de calcita, se presenta en lajas.	

\*\* \* \*\* : La estacion se localiza a 30.00 m sobre la margen Derecha, de la Estacion 0+289 (eje vertedor).

# BOQUILLA EL SALTO

## BARRENACION CON DIAMANTE

### APENDICE B. 1. 1

EXP. 1(V) M.I.      EST. 0+045      ELEV. 163.72      PROF. 30.00 m

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

00.00 - 1.30	SUELO VEGETAL formado por arcillas limosas, observandose fragmentos de basaltos empacados en el mismo.
1.30 - 9.00	BASALTO color cafe rojizo, textura vesicular-amigdaloides, contiene rellenos de calcita, se presenta muy fracturado y poco alterado.
9.00 - 15.30	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y muy fracturado.
15.30 - 18.50	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y fracturado.
18.50 - 20.80	BRECHA con clastos de composicion basaltica, presenta coloracion rojizo claro, se le observa fresca y poco fracturada, con fragmentos de color rojizo y gris oscuro y diametros de hasta 8 cm.
20.80 - 26.00	BRECHA con clastos de composicion basaltica, presenta coloracion rojiza claro, con fragmentos de color rojo y gris oscuro
26.00 - 27.00	BASALTO textura afanítica color gris oscuro, se presenta fresco y compacto.
27.00 - 27.70	BASALTO textura afanítica color gris oscuro, se presenta fresco y fracturado.
27.70 - 30.00	BASALTO textura afanítica color gris oscuro, se presenta fresco y poco fracturado.

**NOTA:** La tubería de ademe se hincó a 9.35 mts. de profundidad. El nivel del espejo del agua descendió a 22.00 m obteniéndose pérdida total del agua de enjuague de 13.50 a 20.00 m de profundidad. Hubo la necesidad de cementar de 12.50 a 18.00 m; la recuperación de núcleos fue de 19.35 m, lo que da un promedio de recuperación de 67.0% en roca.

**CALIDAD DE LA ROCA (I.C.R.).-** La longitud de los núcleos extraídos, según las normas del Índice de Calidad de la Roca fue de 6.43 m, lo que da un ICR del 20.0%, considerado como MUY MALA.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.-** Se realizaron un total de cinco pruebas de permeabilidad: 1 Lefranc y 4 Lugeon en tramos de 5.00 m en forma descendente. El primer tramo probado fue de 3.70 a 9.00 m fue del tipo Lefranc de Flujo Variable y descenso de la superficie del agua dentro de la perforación, arrojando un coeficiente  $K = 3.6 \times 10E-3$  que define un tramo ALTAMENTE PERMEABLE. Asimismo se probaron de 10.00 a 15.00 m obteniéndose 118.0 U.L.; de 15.00 a 20.00 m, 75.0 U.L.; de 20.00 a 25.00 m, 74.0 U.L.; y de 25.00 a 30.00 m se obtuvieron 55.0 U.L., lo que en conjunto da una zona ALTAMENTE PERMEABLE para toda la exploración.

## APENDICE B. 1. 2

EXP. II(V)CAUCE      EST. 0+215      ELEV. 101.41      PROF. 50.00 m

---

P R O F U N D I D A D  
D E                    A

DESCRIPCION LITOLÓGICA

---

00.00 - 4.07	ACARREOS constituidos por boleos de hasta 30 cm de diametro y composicion variable (andesita, basalto, riolitas, tobas, brechas), gravas y arenas de grano medio observandose de subredondeados a redondeados y con baja esfericidad.
4.07 - 4.31	BASALTO color cafe rojizo, textura afanítica, fresco y muy fracturado, presenta oxidacion.
4.31 - 11.40	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y fracturado.
11.40 - 12.58	BRECHA con clastos de composicion basáltica (color gris y cafes), se le observa fresca y poco fracturada, presenta clastos de
12.58 - 23.35	BASALTO color cafe rojizo, textura afanítica, fresco y compacto.
23.35 - 25.83	TOBA ARENOSA color rosa claro fresca y compacta.
25.83 - 30.00	BASALTO color cafe rojizo, textura afanítica, fresco y compacto.
30.00 - 33.30	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fresco y compacto.
33.30 - 34.25	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fracturado.
34.25 - 37.62	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fresco y compacto.

37.62 - 39.85	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, poco fracturado.
39.85 - 43.60	BRECHA basáltica color rojiza, presenta coloración rojiza claro, se le observa fresca y compacta, presenta clastos de hasta 6 cm de diámetro.
43.60 - 49.50	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, poco fracturado.
49.50 - 50.00	BASALTO color rojizo, textura vesicular, fresco y compacto.

**NOTA:** Se hincó el ademe a 3.45 m de profundidad. El nivel del espejo del agua se observó a la profundidad de 11.35 m. No se tuvo pérdida del agua de enjuague. Se cementó de 3.45 a 10.00 m de profundidad. Se recuperaron 45.12 m de núcleos para un promedio de 98.0 % en roca.

**CALIDAD DE LA ROCA (ICR).**- Se obtuvo una longitud de ICR de 37.40 m para un promedio de 81.0 % en roca fresca y compacta que da un índice de calidad de la roca, clasificado según el criterio de U. Deere, como BUENO.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.**- Se realizaron un total de 8 pruebas de permeabilidad tipo Lugeon en forma descendente, en tramos de 5 m cada una. En el tramo probado de 10.00 a 15.00 m se obtuvo 26.8 U.L. clasificándose como ZONA PERMEABLE; asimismo en los tramos de 15.00 a 50.00 m se obtuvieron resultados de 0.00 U.L. clasificándose como ZONAS IMPERMEABLES, según el criterio de U. Deere.

APENDICE B.1.3

EXP. III(V)CAUCE      EST. 0+308      ELEV. 103.00      PROF. 50.00 m

---

P R O F U N D I D A D  
D E                    A

DESCRIPCION LITOLOGICA

---

00.00 - 2.00	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, muy fracturado y alterado.
2.00 - 6.00	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fresco y fracturado.
6.00 - 7.30	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fresco y poco fracturado.
7.30 - 8.70	BRECHA con clastos de composición basáltica, color café rojizo claro se observa fresca y poco fracturada, presenta clastos de hasta 6 cm de diámetro.
8.70 - 11.30	BASALTO color café rojizo, textura porfítica, fresco y compacto.
11.30 - 17.90	BASALTO color café rojizo, textura porfiritica, fresco y poco fracturado.
17.90 - 27.62	BASALTO color café rojizo, textura porfiritica, fresco y compacto.
27.62 - 30.25	BASALTO color café rojizo, textura vesicular-amigadalar, poco alterado y poco fracturado.
30.25 - 34.59	TOBA ARENOSA color rojizo, fresca y compacta.
34.59 - 38.95	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica, fresco y compacto.
38.95 - 46.60	BRECHA con clastos de composición basáltica, color café rojizo claro, fresca y compacto, presenta variaciones y tamaño de clastos de 0.02 m a 0.20 m.

**NOTA:** La tubería de ademe se hincó a 1.50 m de profundidad; el nivel del espejo de agua descendió a 2.20 m de profundidad. No hubo pérdida del agua de enjuague. Se recuperaron 48.47 m de núcleos para un promedio de 97.0 % en roca fija.

**INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (ICR).**- Se recuperaron 34.05 m de núcleos mayores de 0.10 m de longitud, lo que da un índice de calidad de la roca del 68.0 %, que según el criterio de U. Deere es REGULAR.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.**- Se realizaron un total de nueve pruebas de permeabilidad tipo Lugeon en forma descendente en tramos de 5 m. Las pruebas se iniciaron en el tramo de 3.00 a 8.00 m de profundidad concluyéndose en el tramo de 43.00 a 48.00 m, arrojando, a lo largo de todos los tramos probados, 0.00 U.L. clasificado como ZONA IMPERMEABLE según el criterio de U. Deere.

APENDICE B. 1. 4

EXP. IV(V) M.D.      EST. 0+420      ELEV. 170.17      PROF. 30.44 m

---

P R O F U N D I D A D D E                    A	DESCRIPCION LITOLOGICA
00.00 - 0.30	SUELO VEGETAL formado por arcillas li- mosas, se obsrvan fragmentos de basal- tos empacados en las mismas.
0.30 - 3.80	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, se presenta fresco y muy fracturado.
3.80 - 6.75	BASALTO color gris obsuco, textura afanítica, fresco y fracturado presen- ta rellenos de calciata de hasta 5 cm.
6.75 - 12.38	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y compacto.
12.38 - 15.31	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y poco fracturado.
15.31 - 16.14	BASALTO color gris oscuro, fresco y fracturado, con oxidacion entre las fracaturas; textura afanítica.
16.14 - 21.93	BASALTO color gris oscuro, fresco y poco fracturado, textura afanítica.
21.93 - 24.20	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y fracturado.
24.20 - 25.12	BRECHA con clasto de composicion ba- saltica, presenta coloracion cafe- - rojizo claro, fresca y poco fractura- da, presenta fragmentos de basalto gris oscuro y basalto rojizo, con diametros de hasta 8 cm.
25.12 - 27.62	BRECHA con clastos de composicion ba- saltica, presenta coloracion cafe- - rojizo claro, fresca y compacta, pre- senta fragmentos de basalto gris oscuro y basalto rojizo, con diame- tros de hasta 8 cm.

27.62 - 29.10

BASALTO color gris oscuro, textura afanítica, fresco y poco fracturado.

29.10 - 30.44

BASALTO color gris oscuro, textura porfítica (fenocristales de olivino), fresco y compacto.

**NOTA: .-** Se hincó tubería de ademe a 1.50 m de profundidad, el nivel del espejo de agua descendió a 24.20 m de profundidad, su tuvo pérdida parcial del agua de enjuague en el tramo de 24.80 a 30.44 m, se obtuvo una recuperación de núcleos de 28.67 m lo que da un promedio de recuperación del 95.0% en roca fija.

**INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).-** En el presente sondeo se obtuvo una suma total del de 12.03 m, obteniéndose un promedio del 40.0% que corresponde a un Índice de Calidad de la Roca MALA.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.-** Se realizaron un total de cinco pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon en tramos de 5.00 m, cada uno en forma descendente, obteniéndose en cuatro de los cinco tramos probados 00.00 U.L. (zona impermeable) siendo estos: de 5.00 a 10.00; de 10.00 a 15.00; de 15.00 a 20.00 y de 25.00 a 30.00 m de profundidad. En el tramo restante, de 20.00 a 25.00 m, se obtuvo una zona ALTAMENTE PERMEABLE, con 48.0 U.L., localizada en formación basáltica color gris oscura, textura afanítica.

# DIQUE EL BAJIO

BARRENACION CON DIAMANTE

## APENDICE B.2.1



INSTITUTO NACIONAL  
DE GEOLÓGIA  
Deplo. Geológica  
BIBLIOTECA

EXP. A(V) EST. 0+230 ELEV. 152.61 PROF. 24.00 m

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION LITOLÓGICA
00.00 - 2.00	ESCOMBROS de talud empacados en suelo limo-arcilloso.
2.00 - 3.55	BRECHA con clastos de composicion basaltica; presenta fragmentos angulosos de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; se observa fracturada alterada; el diametro de los fragmentos es del orden de los 6 cm.
3.55 - 4.40	BRECHA con clastos de composicion basaltica; presenta fragmentos angulosos de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; muy fracturada y alterada.
4.40 - 13.61	BRECHA con clastos de composicion basaltica; presenta fragmentos angulosos de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; fresca y fracturada.
13.61 - 17.65	BRECHA con clastos de composicion basaltica; presenta fragmentos angulosos de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; fresca y compacta.
17.65 - 20.29	BASALTO textura amigdaloides, color cafe-rojizo, fresco y compacto.
20.29 - 24.00	BRECHA con clastos de composicion basaltica; presenta fragmentos angulosos de basalto color rojizo, fresca y compacta.

## N O T A :

Se hincó la tubería de ademe a la profundidad de 13.30 m . No se observó el nivel del espejo de agua. Se tuvieron pérdidas parciales del agua de enjuague de 3.55 a 4.20 m, y a los 18.15 y 22.10 m; así como una pérdida total del agua de circulación de 4.20 a 10.00 m, de 11.00 a 11.50 y 13.01m. Se recuperaron un total de 20.13 m de núcleos, del total de 22.00 m en roca, para un promedio de recuperación del 92.0%.

CALIDAD DE LA ROCA (I.C.R.).- Se consideraron para cada tramo los núcleos cuya longitud fueron superiores o iguales a 0.10 m, obteniéndose una recuperación de 8.78 m, lo que da un índice de calidad de la roca del 40.0%, clasificado como MALO.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- En esta exploración únicamente fue posible realizar una sola prueba de permeabilidad, siendo esta del tipo Lugeon en forma descendente en el tramo de 19.00 a 24.00 m de profundidad, arrojando 46.0 U.L. clasificándose como zona ALTAMENTE PERMEABLE. En el tramo de 0.00 a 19.00 m no fue posible realizar ningún tipo de prueba ya que en el manómetro no se registró presión alguna, trabajando la bomba a su capacidad máxima. El tramo total se consideró como zona ALTAMENTE PERMEABLE.

APENDICE B.2.2

EXP. B(V)                      EST. 0+700                      ELEV. 136.14                      PROF. 25.00 m

---

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

---

00.00 - 2.00	ESCOMBROS DE TALUD empacados en suelo limo-arcilloso.
2.00 - 2.45	BRECHA de composicion basaltica, color gris, con fragmentos angulosos de composicion basaltica (basalto color gris y basalto color rojizo); muy fracturada y alterada; con variacion de los tamanos de los fragmentos hasta 8 cm de diametro.
2.45 - 6.57	BRECHA de composicion basaltica, color gris, con fragmentos angulosos de composicion basaltica (basalto color gris y basalto color rojizo); poco alterada y fracturada.
6.57 - 8.34	BRECHA de composicion basaltica, color gris, con fragmentos angulosos de composicion basaltica (basalto color gris y basalto color rojizo); con variacion de los tamanos de los fragmentos de -- hasta 6 cm de diametro; fresca y compacta.
8.34 - 9.60	BRECHA de composicion basaltica, color gris, con fragmentos angulosos de composicion basaltica (basalto color gris y basalto color rojizo); poco alterada y poco fracturada.
9.60 - 25.00	BRECHA de composicion basaltica, color gris, con fragmentos angulosos de composicion basaltica (basalto color gris y basalto color rojizo); fresco y compacto.

## NOTA:

La tubería de ademe se hincó a los 2.00 m de profundidad. El nivel del espejo de agua se encontró a los 17.57 m de profundidad. No se obtuvo pérdida del agua de circulación a lo largo de toda la perforación. El porcentaje de recuperación promedio obtenido en la perforación fue de 98%, correspondiente a una recuperación de 22.56 m de núcleos en roca.

**CALIDAD DE LA ROCA (ICR).**- El índice de calidad de la roca obtenido fue de 58.0% clasificado como REGULAR, según U. Deere, lo que corresponde a la suma total de fragmentos de núcleos mayores o iguales de 0.10 m, de 13.27 m.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.**- Se realizaron un total de cinco pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon en tramos de 5.00 m en forma descendente. El primer tramo probado corresponde de los 3.00 a los 8.00 m de profundidad obteniéndose una zona PERMEABLE representado por 17.6 U.L., apreciándose destaponamientos parciales sucesivos desde su inicio, y remoción de material en su gamma descendente.

En el tramo de 8.00 a 13.00 m se obtuvo una permeabilidad de 29.2 U.L. que corresponde a una zona MUY PERMEABLE, según U. Deere, observándose destaponamientos parciales sucesivos y tendencia al taponamiento en su gamma descendente.

Los tramos de 13.00 a 18.00 m y de 23.00 a 25.00 m de profundidad, no presentaron permeabilidad alguna ya que se obtuvo una permeabilidad de 0.0 U.L., clasificado, según el criterio de U. Deere, como zona IMPERMEABLE.

En el tramo de 18.00 a 23.00 m se obtuvo una zona POCO PERMEABLE con 11.2 U.L., observándose destaponamientos parciales desde su inicio y obturación de los ductos en su gamma descendente. La permeabilidad cuantificada (A) a 10.0 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 20.0 U.L.

APENDICE B.2.3

EXP. C(V)                      EST. 0+590                      ELEV. 144.00                      PROF. 18.30 m

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

00.00 - 2.00	ESCOMBROS DE TALUD empacados en suelo limo-arcilloso.
2.00 - 3.50	TOBA ARENOSA/ARENISCA, presenta coloracion rosa claro-beige, granos de -- subangulosos a angulosos de tamaño -- mediano; delesnable y alterada
3.50 - 7.42	TOBA ARENOSA/ARENISCA, color rosa -- claro, presenta granos subangulosos-- de tamaño mediano, muy fracturada y - alterada.
7.42 - 11.68	TOBA ARENOSA/ARENISCA, presenta coloracion rosa claro, así como granos -- subangulosos de tamaño mediano; fracturada y alterada.
11.68 - 12.06	BASALTO color cafe-rojizo, textura -- porfirítica; se presenta poco alterado y fracturado.
12.06 - 13.70	BASALTO color gris oxidado, textura - vesicular-amigdaloides; fresco y compacto.
13.70 - 14.18	BASALTO color gris obscuro, textura - afanítica, poco alterado y fracturado
14.18 - 15.55	BASALTO color cafe-rojizo, textura -- amigdaloides; fresco y compacto.
15.55 - 16.32	BASALTO color cafe-rojizo, textura -- amigdaloides; poco alterado y fracturado.
16.32 - 18.30	BASALTO color gris obscuro, textura afanítica; fresco y compacto.

EL BACCI  
Facultad de Ingenieria  
Dept. Geología  
BIBLIOTECA

## NOTA:

El tubo de ademe se hincó a 8.30 m de profundidad. El nivel del espejo de agua descendió a 2.96 m de profundidad, asimismo no se registraron pérdidas del agua de circulación. Se obtuvo una recuperación de núcleos para un promedio de recuperación del 81.0% en roca.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (ICR).- Se obtuvo una longitud total de recuperación de núcleos para la determinación del índice de calidad de la roca, los cuales sumaron 4.18 m, correspondiendo en porcentaje al 26.0%, clasificado según el criterio de U. Deere como MALO.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- En este sondeo se realizaron un total de tres pruebas de permeabilidad; una del tipo Lefranc de flujo variable, y dos del tipo Lugeon:

La primera prueba, del tipo Lefranc, se realizó de 3.10 a 8.30 m de profundidad, en la cual se obtuvo un coeficiente de permeabilidad  $K = 1.70 \times 10^{-3}$ , lo que corresponde, según la clasificación de U. Deere a una zona ALTAMENTE PERMEABLE.

Las pruebas restantes, del tipo Lugeon, se realizaron en los tramos de 8.30 a 13.30; y de 13.30 a 18.30, obteniéndose 0.0 U.L. en ambos tramos, clasificándoseles como zonas IMPERMEABLES, según U. Deere. En el primer tramo existieron destaponamientos a los 7.500 Kg/cm<sup>2</sup>, con obturación de sus ductos en su gamma descendente, con una permeabilidad cuantificada a 10 Kg/cm<sup>2</sup> (A) de 4.12 U.L.



APENDICE B. 2. 4

EXP. D(V)                      EST. 0+225                      ELEV. 150.00                      PROF. 16.00 m

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION LITOLOGICA
00.00 - 0.30	ESCOMBROS DE TALUD empacados en suelo vegetal.
0.30 - 2.48	BRECHA de composicion basaltica; conteniendo fragmentos angulosos de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; muy fracturada y alterada; el tamano de los fragmentos es del orden de los 8 cm.
2.48 - 8.05	BRECHA de composicion basaltica; contiene fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; fresca y poco fracturada.
8.05 - 9.27	BRECHA de composicion basaltica; contiene fragmentos de basalto color gris y basalto rojizo; el tamano de fragmentos es del orden de los 6 cm; fresca y poco fracturada.
9.27 - 10.42	BRECHA de composicion basaltica; contiene fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; poco alterada y fracturada.
10.42 - 11.35	BRECHA de composicion basaltica; conteniendo fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; fresca y poco fracturada.
11.35 - 16.00	BRECHA de composicion basaltica; conteniendo fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; presenta variacion en el tamano de los fragmentos hasta de 7 cm. de diametro; se encuentra fresca y compacta.

## NOTA:

Se hincó la tubería de ademe a la profundidad de 1.60 m de profundidad. El nivel del espejo del agua se detectó a los 8.00 m; no se registraron pérdidas del agua de circulación. Se recuperaron 14.92 m de núcleos del total de los 15.70 m perforados en roca, para un promedio de recuperación del 95.0%.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.). - En lo que a índice de calidad de la roca se refiere en este sondeo se obtuvieron un total de 7.18 m de núcleos mayores o iguales a 0.10 m, lo que representa un 46.0%, clasificándose como MALA, según el criterio de U. Deere.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- Se realizaon un total de tres pruebas de permeabiliad, todas del tipo Lugeon, en tramos de 4.00 m y 5.00 m, en forma descendente.

De 3.00 a 8.00 m se obtuvo una permeabilidad de 76.4 U.L., considerada como zona ALTAMENTE PERMEABLE, existiendo destaponamientos parciales sucesivos a partir de los 5.00 Kg/cm<sup>2</sup> y obturación de sus ductos en su gamma descendente. La permeabilidad cuantificada a 10 Kg/cm<sup>2</sup> (A) fue de 9.12 U.L.

En los dos tramos restantes, de 8.00 a 13.00 m y de 13.00 a 16.00, no se registraron consumos en las pruebas realizadas, obteniéndose 0.00 U.L., clasificándoseles como zonas IMPERMEABLES.

## NOTA:

Se hincó la tubería de ademe a la profundidad de 1.50 m de profundidad. El nivel del espejo del agua se detectó a los 8.00 m; no se registraron pérdidas del agua de circulación. Se recuperaron 14.92 m de núcleos del total de los 15.70 m perforados en roca, para un promedio de recuperación del 95.0%.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- En lo que a índice de calidad de la roca se refiere en este sondeo se obtuvieron un total de 7.18 m de núcleos mayores o iguales a 0.10 m, lo que representa un 46.0%, clasificandose como MALA, según el criterio de U. Deere.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- Se realizaon un total de tres pruebas de permeabiliad, todas del tipo Lugeon, en tramos de 4.00 m y 5.00 m, en forma descendente.

De 3.00 a 8.00 m se obtuvo una permeabilidad de 76.4 U.L., considerada como zona ALTAMENTE PERMEABLE, existiendo destaponamientos parciales sucesivos a partir de los 5.00 Kg/cm<sup>2</sup> y obturación de sus ductos en su gamma descendente. La permeabilidad cuantificada a 10 Kg/cm<sup>2</sup> (A) fue de 9.12 U.L.

En los dos tramos restantes, de 8.00 a 13.00 m y de 13.00 a 16.00, no se registraron consumos en las pruebas realizadas, obteniendose 0.00 U.L., clasificandoseles como zonas IMPERMEABLES.

## APENDICE B.2.5

EXP: E(V)                      EST. 0+700                      ELEV. 139.50                      PROF. 16.00 m

PROFUNDIDAD                      DESCRIPCION LITOLOGICA  
DE                      A

---

00.00 - 0.20	ESCOMBROS empacados en suelo vegetal.
0.20 - 2.61	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro, conteniendo fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; presenta variacion en los tamanos de sus fragmentos hasta de 8 cm muy fracturada y alterada.
2.61 - 6.89	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro; fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; -- fracturada y poco alterada.
6.89 - 12.61	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro; conteniendo fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; presenta variacion en el tamano de los fragmentos, dominando los de 6 cm; fresca y poco fracturada.
12.61 - 16.00	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro; fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; -- fresca y compacta.

## NOTA:

Se hincó la tubería de ademe a los 7.60 m de profundidad. El nivel del espejo del agua se registro superficialmente (0.10 m). Existió pérdida parcial del agua de circulación en el tramo de 10.22 a 13.00 m; asimismo se registro pérdida total de agua a los 7.27 m. Se obtuvo una recuperación de núcleos de 15.40 m. para un promedio de recuperación del 97.0% en roca.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- El índice de calidad de la roca obtenido en todo el sondeo fue de 58.0%, correspondiente a una recuperación de núcleos mayores o iguales de 10 cm, de 8.49 m. clasificado como REGULAR.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- En este sondeo unicamente se realizaron dos pruebas de permeabilidad, siendo estas del tipo Lugeon en tramos de 3.00 m y 5.00 m en forma descendente.

En el tramo de 8.00 a 13.00 m, se obtuvo una permeabilidad de 86.0 U.L. que corresponde a una zona ALTAMENTE PERMEABLE, mientras que el tramo de 13.00 a 16.00 m resulto zona IMPERMEABLE con una permeabilidad de 0.00 U.L.

V E R T E D O R

BARRENACION CON DIAMANTE

APENDICE B.3.1

EXP. I(V) M.I.      EST. 0+100      ELEV. 158.70      PROF. 25.00 m

P R O F U N D I D A D  
D E                    A

DESCRIPCION LITOLOGICA

00.00 - 7.40	BRECHA de composicion basaltica, color rojiza, presenta fragmentos de 5 cm de diametro; compuesta de basalto color gris oscuro y basalto color rojizo; con tamanos de los fragmentos de 5 cm de diametro muy fracturada, fragmentada y muy alterada.
7.40 - 12.60	BASALTO color gris oscuro, textura afanitica; se presenta fragmentado y muy fracturado.
12.60 - 13.35	Horizonte de ARCILLA.
13.35 - 14.70	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro, presenta fragmentos de basalto color gris oscuro; medianamente alterada y fracturada.
14.70 - 17.60	BASALTO color gris oscuro, textura afanitica; fresco y fracturado.
17.60 - 21.45	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro, conteniendo fragmentos de basalto color gris oscuro; muy fracturada y alterada.
21.45 - 23.30	BASALTO color gris oscuro, textura afanitica; fragmentado.
23.30 - 25.00	BASALTO color gris oscuro, textura afanitica; muy fracturado y alterado; presenta rellenos de calcita de 2 mm.

## NOTA :

Se obtuvo una recuperacion del barreno de 19.50 m, de un total de 25.00 m lo que corresponde en porcentaje de recuperacion de 78.0 %.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- En este sondeo se obtuvo una recuperacion de nucleos mayores o iguales a 0.10 m, de 1.53 m, lo que en porcentaje corresponde al 6.12 %, clasificado segun la clasificacion de U.Deere como MUY MALA.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- Se realizaaron un total de tres pruebas de permeabilidad, todas del tipo Lugeon, en tramos de 5.00 m en forma descendente.

Los tramos probados son de 5.00 a 10.00 m; de 11.00 a 16.00 m, y de 20.00 a 25.00 m de profundidad. En todos estos tramos se obtuvieron resultados (unidades Lugeon) muy altos, ALTAMENTE PERMEABLE, incluso como fue el caso del tramo de 16.00 a 20.00 m, no fue posible probarlo ya que, trabajando la bomba a su maxima capacidad, no levanto presion.

APENDICE B.3.2

EXP. II(V)IZQ. EST. 0+040 ELEV. 161.50 PROF. 25.00 m

PROFUNDIDAD DE A DESCRIPCION LITOLOGICA

- 00.00 - 1.00 BASALTO color gris oscuro, textura afanítica; se presento en forma lajeada, por lo que se recupero fragmentado.
- 1.00 - 3.55 BRECHA de composicion basáltica, color rojiza; presenta fragmentos de basalto color gris y basalto de color rojizo; fragmentos con tamanos variables hasta de 5 cm de diametro; fracturada y muy alterada.
- 3.55 - 5.00 BASALTO color gris oscuro, textura afanítica; fresco y muy fracturado.
- 5.00 - 16.00 BRECHA de composicion basáltica, color rojiza, contenido fragmentos de basalto color gris y basalto color rojizo; se presenta de muy fracturada a fracturada y alterada.
- 16.00 - 20.00 BASALTO color gris oscuro, textura afanítica; muy fracturado, alterado y fragmentado.
- 20.00 - 24.50 BRECHA de composicion basáltica, conteniendo fragmentos de basalto color gris oscuro, textura amigdaloides; color gris clara; con tamanos de los fragmentos de hasta 6 cm de diametro; muy alterada y fragmentada; presenta fracturas rellenas de calcita, con abertura de estas fracturas de 2 mm.
- 24.50 - 25.00 BASALTO color gris oscuro, textura amigdaloides; muy fracturado y alterado.

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingenieros  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

## NOTA :

Se encontro perdida del agua de circulacion a los 5.60 m de profundidad; se recuperaron un total 18.85 m de muestras producto de la barrenacion, de 25.00 m totales perforados, lo que corresponde a un porcentaje de recuperacion del 75.4 %

CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D).- En cuanto al indice de calidad de la roca obtenida en la perforacion, se obtuvo una recuperacion de 3.71 m de nucleos para la determinacion de calidad de la roca, lo que corresponde a 14.84 %, clasificandose como MUY MALA, segun el criterio de U.Deere.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- Se realizaron un total de cuatro pruebas de permeabilidad, todas del tipo Lugeon; los tramos probados son: de 5.00 a 10.00 m; de 11.00 a 16.00 m; de 16.00 a 21.00 m ; y de 21.00 a 25.00 m de profundidad.

Los resultados que se obtuvieron en los tramos arrojaron, para todos, zonas ALTAMENTE PERMEABLE; en los tramos de 11.00 a 16.00 y de 21.00 a 25.00 m de profundidad no levanto la minima presion de prueba.

### APENDICE B.3.3

EXP. III(V)DER. EST. 0+040 ELEV. 161.50 PROF. 25.00 m

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

00.00 - 1.70	BRECHA de composicion basaltica, color rojiza; conteniendo fragmentos de basalto color rojizo textura vesicular amigdaloides; muy alterada e intensamente fragmentada.
1.70 - 3.05	Fragmentos de BRECHA BASALTICA, color rojizo, intercalados con fragmentos de BASALTO, color gris oscuro, textura afanitica; alterados.
3.05 - 4.25	BRECHA de composicion basaltica, color rojizo, conteniendo fragmentos de basalto color rojizo, textura amigdaloides; se presenta medianamente alterada y muy fracturada.
4.25 - 8.30	BASALTO color gris oscuro, textuara afanitica; fresco y fracturado.
8.30 - 11.10	BRECHA de composicion basaltica, conteniendo fragmentos de basalto color gris oscuro; presenta coloracion gris claro; fracturada, alterada y al final del tramo delesnable.
11.10 - 15.50	BASALTO color gris claro; textura amigdaloides, muy fracturado, alterado y fragmentado.
15.50 - 19.40	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro; conteniendo fragmentos de basalto color gris claro; medianamente alterada y de muy fracturada a fracturada.
19.40 - 21.80	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro; fragmentada.

21.80 - 25.00

BASALTO color gris claro, textura a-  
fanítica; fresco y fracturado.

**NOTA:**

Se presentó pérdida del agua de circulación a los 4.30 m de profundidad; se recuperaron un total 15.14 m de muestras producto de la barrenación, lo que corresponde a un porcentaje de recuperación del 60.56 %

**CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D).**- En este concepto se obtuvo una recuperación de 1.06 m de núcleos para la determinación de la calidad de la roca, lo que corresponde a 4.24 %, clasificándose como MUY MALA, según el criterio de U.Deere.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.**- Se realizaron cuatro pruebas de permeabilidad, todas del tipo Lugeon; los tramos probados son: de 5.00 a 10.00 m; de 10.00 a 15.00 m; de 15.00 a 20.00 m ; y de 20.00 a 25.00 m de profundidad.

Los resultados que se obtuvieron en los tramos arrojaron, para todos, fueron la de zonas ALTAMENTE PERMEABLE; en los tramos de 10.00 a 15.00 y de 20.00 a 25.00 m de profundidad no levanto la mínima presión de prueba.

## APENDICE B.3.4

EXP. IV(V)                      EST. 0+200                      ELEV. 147.62                      PROF. 25.00 m

---

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

---

00.00 - 4.00	BRECHA de composicion basaltica, contenido fragmentos de basalto color gris claro; presenta color rojizo; tamaño de los fragmentos de 6 cm de diámetro; medianamente alterada y muy fracturada; fracturas rellenas de calcita, con abertura de 1-3 mm.
4.00 - 6.85	BASALTO color gris claro, textura afanítica; fragmentado y medianamente alterado.
6.84 - 8.25	HORIZONTE DE ARCILLA, producto de alteración, conteniendo fragmentos de basalto y brecha.
8.25 - 12.45	BASALTO color gris claro, textura amigdaloides; muy fracturado y fragmentado.
12.45 - 15.90	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro, conteniendo fragmentos de basalto color rojizo; fragmentos de hasta 6 cm; alterada y de muy fracturada a fracturada.
15.90 - 25.00	BRECHA de composicion basaltica, presenta coloracion gris clara; con fragmentos de basalto color gris, de 5 cm de diámetro; alterada, muy fracturada en algunas partes fragmentada, con algunas fracturas rellenas de calcita, con espesores de 1-2 mm.

## NOTA :

Se presento perdida del agua de circulacion a los 4.00 m de profundidad y a lo largo de todo el pozo; se recuperaron un total 17.20 m de muestras producto de la barrenacion, lo que corresponde a un porcentaje de recuperacion del 68.80 %

**CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D).**- En cuanto al indice de calidad de la roca obtenida en la perforacion, se obtuvo una recuperacion de 0.82 m de nucleos para la determinacion de calidad de la roca, lo que corresponde a 3.28 %, clasificandose como MUY MALA, segun el criterio de U.Deere.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.**- A lo largo de todo el barreno, y como se muestra en los resultados del indice de calidad de la roca, la roca se comporto muy fracturada lo que no permitio sellar los tramos con los empaques, constantemente se tenian perdidas totales de agua de circulacion. De lo anterior se desprende el no poder llevar a cabo ninguna de las pruebas de permeabilidad programadas, con la consecuencia de considerar toda la perforacion como ALTAMENTE PERMEABLE.



EL SEÑOR DE MEXIQU  
HAY UN GRANDEZA  
Facultad de Ingenieria  
Depto. Geologia  
BIBLIOTECA

## APENDICE B.3.5

EXP. V(V)                      EST. 0+289                      ELEV. 141.80                      PROF. 25.00 m

PROFUNDIDAD                      DESCRIPCION LITOLOGICA  
DE                      A

00.00 - 3.25	BRECHA de composicion basaltica, color rojiza; conteniendo fragmentos de basalto color rojizo, y con 6 cm de diametro en los mismos; muy alterada, fragmentada y fracturada; presenta -- fracturas rellenas de calcita, con un espesor de 1-3 mm.
3.25 - 5.00	BASALTO color gris oscuro, textura - amigdaloides; muy fracturado y fragmentado.
5.00 - 8.45	BRECHA de composicion basaltica, conteniendo fragmentos de basalto color gris, con diametros de 5 cm; muy alterada y fracturada.
8.45 - 15.00	BRECHA de composicion basaltica, color gris claro, intensamente fragmentada; presenta intercalaciones de -- fragmentos de basalto.
15.00 - 22.00	BRECHA de composicion basaltica, conteniendo fragmentos de basalto color gris; muy fracturada y muy alterada.
22.00 - 25.00	BASALTO color gris, con estructura vesicular, algunas rellenas de calcita; compacto y fracturado.

### NOTA :

Se presentaron perdida del agua de circulacion a los 3.40 m de profundidad; se recupero un total 13.29 m de muestras producto de la barrenacion, lo que corresponde a un porcentaje de recuperacion del 53.16 %

CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D).- En cuanto al índice de calidad de la roca obtenida en la perforación, se obtuvo una recuperación de 1.49 m de núcleos para la determinación de calidad de la roca, lo que corresponde a 5.96 %, clasificándose como MUY MALA, según el criterio de U.Deere.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- Se realizaron un total de dos pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon; los tramos probados son: de 5.00 a 10.00 m y de 21.00 a 25.00 m de profundidad.

Los resultados que se obtuvieron en los tramos arrojaron fueron la de zonas ALTAMENTE PERMEABLE; se intentó realizar pruebas a lo largo de todo el tramo pero no fue posible levantar presión en ninguno de los casos.

# TUNEL EL SALTO

BARRENACION CON DIAMANTE

## APENDICE B.4.1

EXP. 1(V) EST. 0-050 ELEV. 147.00 PROF. 30.00 m

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

00.00 - 0.50	SUELO VEGETAL con clastos de composicion basaltica empacados en el mismo.
0.50 - 14.00	BASALTO color gris oscuro, textura vesicular amigdaloides, vesciculas rellenas de calcita; muy alterado y muy fracturado.
14.00 - 23.00	BASALTO color gris oscuro, textura vesicular amigdaloides; presenta alteracion a oxidos, ademas de aspecto arcilloso; muy fracturado.
23.00 - 30.00	BASALTO color gris rojizo; poco alterado y muy fracturado.

### NOTA:

El abatimiento del agua de prueba se registro hasta los 15.90 m de profundidad, ademas de 0.00 a 1.50 m, no existieron perdidas del agua de circulacion. Se obtuvo una recuperacion de 15.07 m de nucleos extraidos, lo que representa un porcentaje de recuperacion del 51.0%.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- Se obtuvo una recuperacion total de nucleos para la determinacion del indice de calidad de la roca de 3.39 m, lo que corresponde a un 11.0% clasificado como MUY MALA, segun el criterio de U.Deere

## APENDICE B. 4. 2

EXP. 11(V)                      EST. 0+340                      ELEV. 195.78                      PROF. 75.00 m

---

P R O F U N D I D A D  
D E                      A

DESCRIPCION LITOLÓGICA

---

00.00 - 1.20	SUELO VEGETAL conteniendo fragmentos de composicion basaltica empacados en el mismo.
1.20 - 5.00	BASALTO color gris oscuro, textura vesicular-amigdaloides; medianamente alterado y muy fracturado.
5.00 - 38.00	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica; poco fracturado, fresco y compacto.
38.00 - 46.00	BASALTO color gris, textura vesicular amigdalares; poco fracturado, fresco y compacto.
46.00 - 75.00	BASALTO color gris oscuro, textura afanítica; muy fracturado, fresco y compacto.

### NOTA :

El abatimiento del agua de prueba se registro hasta los 2.50 m, ademansose de 0.00 a 5.60 m de profundidad. No se registraron perdidas totales del agua de circulacion. Debido a lo fracturado de la formacion se necesito ademar el tramo de los 35.00 a los 45.00 m. La longitud total de recuperacion del muestreo fue de 71.06 m lo que corresponde a un porcentaje de recuperacion del 96.0 %.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- Se obtuvo una recuperacion, de muestras o nucleos mayores o iguales a 10 cm, de 48.35 m lo que corresponde a un indice de calidad de la roca del 66.0 %, clasificado como REGULAR, segun el criterio de U.Deere.

APENDICE B.4.3

EXP. III(V)                      EST. 0+630                      ELEV. 159.20                      PROF. 40.00 m

PROFUNDIDAD  
DE                      A

DESCRIPCION LITOLOGICA

---

00.00 - 40.00	BASALTO textura afanítica, color gris oscuro; muy fracturado, fresco y compacto.
---------------	--

**NOTA:**

A todo lo largo de la perforación persistieron las mismas características tanto en calidad de la roca, como en la uniformidad de la litología; se presentó un abatimiento del agua de prueba hasta los 18.00 m, teniendo que ademar el tramo de 0.00 a 13.10 m de profundidad, se presentaron pérdidas totales del agua de circulación, razón por la cual también se necesitó ademar el tramo de 12.00 a 17.50 m. El promedio de recuperación de muestras fue de 6.56 m, que corresponde a un porcentaje de recuperación de 16.0%.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- El índice de calidad de la roca obtenido en esta exploración estuvo precedido por una recuperación de núcleos mayores o iguales a 0.10 m de longitud, la cual fue de 0.77 m lo que se ve representado por un promedio de 2.0% que corresponde a una clasificación de MUY MALA, según la clasificación de U. Deere.

## APENDICE B.4.4

EXP. IV(V)                      EST. 0+980                      ELEV. 154.70                      PROF. 35.50 m

---

PROFUNDIDAD  
DE A

DESCRIPCION LITOLOGICA

---

00.00 - 7.00

BASALTO textura afanítica, color gris oscuro; muy fracturado, fresco y compacto.

7.00 - 35.00

BASALTO textura vescicular-amigdaloi-  
de; color gris oscuro; medianamente  
alterado y poco fracturado.

### NOTA:

En esta exploracion el abatimiento del agua de prueba se registro a los 6.75 m de profundidad; se ademo de los 0.00 a los 8.50 m, no se registraron perdidas del agua de circulacion en su avance. La recuperacion total del muestreo fue de 26.61 m para un porcentaje de recuperacion del 75.0 %

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- Se obtuvo una recuperacion total de nucleos iguales o mayores de 10 cm de 19.42 m, lo que representa un indice de calidad de la roca del 55.0 %, que corresponde a una clasificacion de REGULAR, segun el criterio de U.Deere.

## APENDICE B.4.5

EXP. V(V)                      EST. 1+040                      ELEV. 147.00                      PROF. 30.00 m

P R O F U N D I D A D                      DESCRIPCION LITOLOGICA  
D E                      A

00.00 - 0.30	SUELO VEGETAL con clastos de composicion basaltica, empacados en el mismo
0.30 - 7.10	BASALTO textura afanitica, color gris oscuro; muy fracturado, fresco y con compacto.
7.10 - 15.50	BASALTO textura vescicular-amigdaloides; color gris; se presenta muy fracturado y medianamente alterado.
15.50 - 18.85	BASALTO textura afanitica, color gris oscuro; muy fracturado, fresco y compacto.
18.85 - 24.00	BASALTO color rojizo, se presenta en forma masiva, muy alterado y fragmentado; se observan espejos de falla en todo el tramo (ZONA DE FALLA).
24.00 - 30.00	BASALTO color rojizo, se presenta en forma masiva y aspecto arcilloso; se observa muy alterado.

### NOTA:

En toda la exploracion no se registraron perdidas del agua de circulacion, presentandose un abatimiento del agua de prueba hasta los 2.00 m de profundidad. Se requirio ademar de 0.50 a 3.00 m; asi como cementar el tramo de 3.00 a 8.50 m de profundidad. La longitud total de muestras recuperadas fue de 21.79 m, correspondiendo a un porcentaje de recuperacion del 78.0 %.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.).- La recuperacion total de nucleos mayores o iguales a 0.10 m fue de 11.32 m, lo que corresponde a un indice de calidad de la roca del 40.0 %, clasificado como MALA, segun el criterio de U.Deere.

"TUNEL EL SALTO"

APENDICE C

RESUMEN DE FRACTURAS

FRACTURA No.	RUMBO	ECHADO	OBSERVACIONES
1	25.0 SW	69.0 SE	CERRADA
2	35.5 SE	44.0 NE	CERRADA
3	64.0 NE	17.0 NW	CERRADA
4	16.0 SE	65.0 NE	CERRADA
5	26.0 NW	61.5 NE	CERRADA
6	76.0 SW	81.5 SE	CERRADA
7	67.0 SW	25.0 NW	CERRADA
8	34.5 SE	50.5 NE	CERRADA
9	38.5 NE	85.0 SE	CERRADA
10	15.0 NW	67.0 NE	CERRADA
11	64.0 NW	60.0 NE	CERRADA
12	63.0 NW	61.0 SW	CERRADA
13	22.5 NW	69.0 SW	CERRADA
14	08.0 SE	60.0 NE	CERRADA
15	39.0 NW	85.0 SW	CERRADA
16	29.0 NW	56.0 NE	CERRADA
17	19.0 NW	46.5 SW	CERRADA
18	12.0 NW	32.0 SW	CERRADA
19	87.0 NE	87.5 SE	CERRADA
20	NORTE F	85.0 W	CERRADA
21	62.0 NW	70.0 SW	CERRADA
22	ESTE F	65.0 S	CERRADA
23	70.0 NW	30.0 SW	CERRADA
24	29.0 NW	65.0 SW	CERRADA
25	10.5 NW	75.5 SW	CERRADA
26	34.5 NW	51.5 SW	CERRADA
27	50.0 NW	54.0 NE	CERRADA
28	73.0 NW	57.0 NE	CERRADA
29	67.0 NW	40.0 SW	CERRADA
30	67.0 NW	30.0 SW	CERRADA
31	69.0 NW	83.0 SW	CERRADA
32	11.5 NW	65.0 SW	CERRADA
33	08.5 NW	58.0 SW	CERRADA
34	26.0 NW	27.0 SW	CERRADA
35	10.5 NE	79.0 NW	CERRADA
36	82.0 NE	30.0 NW	CERRADA
37	67.5 NE	23.0 NW	CERRADA
38	22.5 NE	46.0 NW	CERRADA
39	78.0 NE	62.0 NE	CERRADA
40	39.0 NW	51.0 NE	CERRADA
41	56.0 NW	19.0 SW	CERRADA
42	25.0 NW	54.0 SW	CERRADA

## RESUMEN DE FRACTURAS

FRACTURA No.	RUMBO	ECHADO	OBSERVACIONES
43	44.5 NW	62.0 NE	CERRADA
44	75.0 NE	74.0 NW	CERRADA
45	85.0 NE	68.5 SE	CERRADA
46	76.0 NW	58.5 SW	CERRADA
47	79.0 NE	60.0 NW	CERRADA
48	68.0 NE	35.0 NW	CERRADA
49	80.0 NW	69.5 SW	CERRADA
50	63.0 NW	49.0 SW	CERRADA
51	75.0 NW	62.5 SW	CERRADA
52	67.5 NW	62.0 SW	CERRADA
53	81.0 NW	62.0 NE	CERRADA
54	80.0 NE	88.5 SE	CERRADA
55	85.5 NW	63.5 SW	CERRADA
56	27.0 NW	79.5 NE	CERRADA
57	70.0 NW	73.0 SW	CERRADA
58	64.0 NW	21.5 SW	CERRADA
59	15.0 NW	34.0 NE	CERRADA
60	78.0 NE	52.0 NW	CERRADA
61	30.0 NW	17.0 SW	CERRADA
62	58.0 NW	21.0 SW	CERRADA
63	12.0 NE	69.0 NW	CERRADA
64	10.0 NE	43.0 SE	CERRADA
65	25.0 NE	48.0 NW	CERRADA
66	68.0 NE	50.5 NW	CERRADA
67	10.0 NE	71.0 NW	CERRADA
68	09.0 NE	39.0 NW	CERRADA
69	NORTE F	87.0 OESTE	CERRADA
70	84.5 NE	79.5 NW	CERRADA
71	86.0 NE	32.0 NW	CERRADA
72	85.0 NE	59.5 NW	CERRADA
73	27.0 NW	49.0 SW	CERRADA
74	69.0 NE	75.0 NW	CERRADA
75	19.0 NE	60.0 SW	CERRADA
76	18.5 NE	70.0 SE	CERRADA
77	66.0 NE	49.0 SE	CERRADA
78	68.0 NW	75.0 SW	CERRADA
79	52.0 NW	67.0 SW	CERRADA
80	58.0 NW	32.0 NE	CERRADA
81	ESTE F	55.0 NORTE	CERRADA
82	10.0 NW	26.0 SW	CERRADA
83	36.0 NW	29.0 SW	CERRADA
84	65.5 NW	35.0 SW	CERRADA
85	38.0 NW	49.0 NE	CERRADA
86	58.5 NW	78.0 SW	CERRADA
87	37.5 NW	63.0 SW	CERRADA
88	15.0 NE	37.0 SE	CERRADA
89	27.0 NW	72.0 SE	CERRADA
90	16.5 NE	72.0 SE	CERRADA
91	18.0 NW	57.0 NE	CERRADA
92	18.5 NW	36.5 NE	CERRADA

## RESUMEN DE FRACTURAS

FRACTURA No.	RUMBO	ECHADO	OBSERVACIONES
93	61.5 NE	69.0 SE	CERRADA
94	26.0 NE	22.0 SE	CERRADA
95	40.5 NW	25.0 SW	CERRADA
96	50.0 NW	37.0 SW	CERRADA
97	15.0 NE	29.0 NW	CERRADA
98	79.0 NW	40.0 SW	CERRADA
99	15.5 NW	45.0 SW	CERRADA
100	75.0 NE	76.0 SE	CERRADA
101	14.0 NW	90.0 VERTICAL	CERRADA
102	09.0 NE	85.5 SE	CERRADA
103	21.0 NE	72.5 SE	CERRADA
104	05.0 NE	85.0 SE	CERRADA
105	12.0 NE	82.0 SE	CERRADA
106	20.0 NW	70.0 NE	CERRADA
107	35.0 NW	77.0 NE	CERRADA
108	06.0 NE	86.0 SE	CERRADA
109	06.0 NW	84.0 NE	CERRADA
110	81.0 NE	79.0 SE	CERRADA
111	81.0 NE	84.0 SE	CERRADA
112	86.0 NE	85.0 SE	CERRADA
113	30.0 NE	75.0 SE	CERRADA
114	21.0 NE	70.0 SE	CERRADA
115	09.0 NW	73.0 NE	CERRADA

APENDICE D

D.1.1.- REGISTRO DE SISMOS OCURRIDOS DE 1922 A 1969 EN UN AREA QUE COMPRENDE DE 103 A 109 GRADOS DE LONGITUD OESTE Y DE 22 A 26 GRADOS DE LATITUD NORTE (Fuente: Instituto de Ingenieria, UNAM).

F E C H A	H O R A	LATITUD	LONGITUD	PROF.	ESCALA
	T M G	NORTE	OESTE	Km	RICHTER
120622	094426	24.00	108.50		6.0
190134	095821	22.00	109.00		-
100540	012450	24.00	108.00		5.5
090546	233430	22.78	108.08		5.8
010150	025747	23.55	108.76		-
200851	055000	23.55	108.76		5.5
200851	055911	23.55	108.76		-
200851	183834	23.55	108.76		-
260851	183834	23.55	108.76		5.8
170252	172859	23.70	107.63		5.0
170252	173603	23.70	107.76		5.5
210252	234726	23.50	109.00		5.5
050352	154605	24.50	108.50		5.7
170953	091614	23.51	103.81		4.7
300953	230403	22.35	108.33		6.5
300654	151828	24.00	109.00		5.5
051155	071923	24.50	109.00		5.3
051155	080951	24.50	109.00		5.2
281256	192125	22.00	109.00		6.0
010158	024007	23.70	107.63		4.0
311058	071002	22.36	108.36		5.0
101258	211413	24.50	109.00		-
101258	214923	24.50	109.00		5.7
101258	220954	24.50	109.00		5.0
111258	082220	24.16	108.66		4.5
141258	132651	23.00	108.00		4.6
030260	112955	23.70	107.63		5.0
060360	041200	24.00	108.00	60	5.1
300361	074316	22.36	108.33		5.8
300164	053944	24.50	108.60	49	4.5
030964	211442	24.50	108.78		5.1
030964	234156	24.20	108.80	15	4.6
040964	095006	24.20	108.60	33	4.6
290165	001129	23.90	108.70	33	5.3
290165	022155	24.20	108.80	33	4.9
290165	065807	23.70	108.50	33	4.5
080665	133958	23.30	108.50	33	4.2
180566	073207	24.48	108.98		5.4
180566	075334	24.80	108.90		4.4
180566	080459	24.60	108.90	33	4.5
290866	210656	23.10	108.00	33	4.6
290467	044518	24.30	108.10	33	4.3

F E C H A	H O R A T M G	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	PROF. Km.	ESCALA RICHTER
300567	142737	24.20	108.70	33	4.8
150767	120022	24.20	108.90	33	4.4
051067	185749	25.80	109.00	33	4.2
021267	003113	24.25	108.80		5.1
311268	045658	24.80	108.70		4.3
250369	150209	22.20	108.20		4.1
250369	201519	22.70	107.90		4.6
300469	055241	22.80	107.60	35	4.5
180869	021434	24.60	108.90		4.4
180869	034545	25.20	108.90		4.4
180869	070002	25.10	108.90		4.5
180869	110145	24.60	108.90		4.2
140969	182552	24.00	108.70		4.5
011169	093103	23.80	107.10		4.1
011169	110821	23.10	107.90		5.6
011169	155058	23.40	108.20		4.6
201269	095613	22.20	108.20		4.3

APENDICE D/52

311277	2112024	24.13	108.82	33	4.3
300578	0940282	24.75	108.98	10	4.7
300578	1343347	24.92	108.84	10	4.4
090279	1312541	24.00	108.56	15	4.4
100779	1359547	24.68	108.88	15	4.1
100779	1402341	24.93	108.47	15	4.7
081079	0600232	24.23	108.89	15	5.0
201280	1727376	24.15	108.90	15	4.9
200282	2150553	24.85	108.78	10	4.6
000570	0005150	25.75	108.55	10	4.6