

2130



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO  
LOS ARCOS - EL BATAN. MPIO. DE VILLA  
CORREGIDORA, QRO"

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A N :

JULIAN TELLEZ PEREZ  
HOMERO HERRERA RUIZ



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

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

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

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

# INDICE



## INDICE

PAG.

INTRODUCCION .....	1
 CAPITULO I . GENERALIDADES	
- Antecedentes .....	2
- Objetivos del trabajo .....	2
- Método de trabajo .....	3
- Localización geográfica y vías de acceso .....	3
- Clima y vegetación .....	3
 CAPITULO II . FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA	
- Provincia fisiográfica .....	6
- Orografía .....	6
- Hidrografía .....	8
- Etapa fisiográfica .....	9
- Geomorfología .....	9
 CAPITULO III . GEOLOGIA GENERAL	
- Estratigrafía .....	13
- Geología Estructural .....	24
- Historia geológica de la localidad .....	32
- Tectónica .....	35
 CAPITULO IV . ASPECTOS GEOTECNICOS	
- La Boquilla .....	37
- El Embalse .....	38
- Sismicidad .....	40
- Materiales de construcción .....	44
 CAPITULO V . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
- Conclusiones .....	47
- Recomendaciones .....	48
BIBLIOGRAFIA .....	50
APENDICE PETROGRAFICO .....	52

INDICE DE FIGURAS  
Y PLANOS

PAG.

- Localización del proyecto .....	4
- Provincias fisiográficas de México .....	7
- Tabla 1. Índice de sinuosidad .....	11
- Fotografía 1 . Unidades La Pita - El Batán .....	16
- Fotografías 2 y 3 .Basalto Peña Rajada y Toba El Batán .....	20
- Columna estratigráfica.....	23
- Fotografía 4 . Discontinuidad dentro del basalto Los Arcos .....	25
- Figuras 2 y 3 . Diagramas de polos .....	27 - 28
- Figuras 4 y 5 . Diagramas de densidad de puntos. ....	29 - 30
- Figura 6 . Rosa de fracturas para la boquilla .....	31
- Sección esquemática (Relaciones estratigráficas).....	34
- Figura 7 . Carta sísmica de la República Mexicana .....	41
- Figura 8 . Zonas sísmicas de México .....	42
- Figura 9 . Red de flujo de la zona El Batán .....	43
- Fotografía 5 . Diaclasamiento en el basalto Los Arcos .....	46
- Fotografías 6 " 7 . Cajas de núcleos .....	49
- Plano I . Geología del embalse , al final del texto	
- Plano II . Geología de la boquilla , al final del texto	
- Plano III . Sección geotécnica de la boquilla , al final del texto .	
- Plano IV. Sección geotécnica del embalse , al final del texto.	

# CAPITULO

## I



## INTRODUCCION.

La República Mexicana en la mayor parte del territorio presenta , en lo que a un recurso vital se refiere , una notable escasez de agua potable o susceptible de ser potabilizada .Ejemplos muy elocuentes se tienen en el noroeste de México , en la comarca lagunera , en Monterrey , el Bajío , San Luis Potosí y desde luego en la ciudad de México . Esta escasez ha obligado a los profesionales de nuestro país a buscar soluciones , en la mayoría de los casos de carácter técnico , que lleven a contrarrestar las consecuencias que trae consigo dicha escasez . Entre las soluciones técnicas que han sido propuestas para atacar este problema se encuentran : la explotación directa de acuíferos cercanos o no a las poblaciones necesitadas de agua potable , el aprovechamiento de manantiales , el almacenamiento de agua en presas , y la desalinización del agua de mar por medios artificiales . En todos los casos , salvo tal vez en el último mencionado , la participación del geólogo es indispensable para la consecución de resultados óptimos , pues es la Tierra , campo de acción del geólogo , de la que dependen todas las obras que se requieren para la explotación del preciado líquido . El presente trabajo trata del análisis y estudios geológicos que requiere un sitio que ha sido elegido de antemano , para formar un almacenamiento de agua para consumo humano . Asimismo , este trabajo incluye los datos geológicos básicos necesarios para el diseño de la obra civil que habrá de servir como elemento almacenador del mencionado cuerpo de agua , es decir , para el diseño de la cortina y sus obras auxiliares ( vertedor y obra de toma ) . También se incluyen los aspectos relacionados con la exploración y selección de materiales de construcción ( enrocamientos , arcillas y agregados ) para la cortina y obras auxiliares .

## CAPITULO I GENERALIDADES

### Antecedentes .

El Área donde se encuentra el sitio , del que trata el presente trabajo , ha sido objeto de varios estudios geológicos de distintos tipos y alcances , pero todos con el mismo objetivo : determinar las condiciones geológicas del lugar para establecer la factibilidad de construcción de una presa de almacenamiento . El sitio para el establecimiento de la cortina ha tenido varias alternativas como resultado de los estudios aludidos , sin embargo el Área que abarca el futuro embalse es prácticamente la misma desde las investigaciones iniciales . El primer trabajo fue realizado por el Dr. Paul Waitz , geólogo del Consultivo Técnico de la Secretaría de Recursos Hidráulicos , con fecha de 12 de marzo de 1937 , se tituló : " Condiciones geológicas de la boquilla de la Joya , sobre el río del Pueblito , Gro . " ; posteriormente se efectuaron otros estudios , algunos con la finalidad de complementar los primeros trabajos y otros con la finalidad de elegir nuevos sitios para la ubicación de la cortina . Dentro de estos estudios están las siguientes alternativas : El Molinito , La Joya , Ensedio , Los Arcos I y II ; quedando en proceso de estudio los ejes A , B , B' y C ; de estos se escogió como definitivo el que se localiza aguas arriba del B' pivotando en la margen izquierda , y que se denomina Eje Batán . ( Para localizar ejes A , B y B' ver informe inédito 19-25 de la SARH ) . El Eje Batán se pivotó , primero sobre la margen izquierda tomando como pivote el extremo izquierdo del eje B' . ( Para la decisión del eje Batán actual , ver el informe 19-55 de la SARH , inédito ) . El último de estos trabajos es el " Informe geológico exploratorio y pruebas de permeabilidad del proyecto Los Arcos , eje Batán . " del Ing. Jesús Escobar Marín . Todos estos estudios han sido realizados específicamente para la Secretaría de Recursos Hidráulicos , teniendo un carácter profesional , y los informes finales se encuentran en los archivos de la misma Secretaría , los cuales han concluido como no factible la construcción de una presa en el sitio .

### Objetivos del trabajo.

Con el presente trabajo se busca reunir la información geológica básica para determinar las condiciones geotécnicas del sitio para formar un almacenamiento de 12 millones de metros cúbicos de capacidad , y la factibilidad de construcción de una cortina en el sitio elegido , con el fin de dotar de agua para consumo humano e industrial a la Cd. de Querétaro así como para riego de los terrenos de cultivo de los alrededores del embalse . Para esto se hará uso de la información del subsuelo , pruebas de permeabilidad ya existentes y revisión de núcleos , y se complementará ésta con un levantamiento geológico detallado en la

superficie del terreno .

El actual proyecto Los Arcos ha sido retrasado en varias ocasiones debido principalmente a dos razones :

1.- No se habían encontrado las condiciones de impermeabilidad satisfactorias y ,

2.- Las características estructurales o conjunto de discontinuidades en el lugar , no proporcionaban la suficiente confianza en la zona de desplante de la cortina y en algunos puntos del embalse .

El primer obstáculo se ha salvado al reubicar la cortina en el actual eje Batán , de modo que el embalse al reubicar la cortina tendrá un terreno suficientemente impermeable como se demostrará más adelante en el presente trabajo . Se plantean todavía algunas dudas en lo que respecta a la estabilidad del terreno en los alrededores del eje y en otros puntos dentro del embalse , por lo que uno de los objetivos principales de este trabajo es el de abundar y profundizar en lo que se refiere al análisis de las discontinuidades presentes en el sitio , como son fracturas , fallas y juntas en general .

#### Método de trabajo .

El estudio se llevó a cabo mediante el levantamiento de datos por geología superficial , efectuando caminamientos a lo largo del embalse . A ambos lados del eje de la boquilla en una extensión de 100 m. se hizo geología de detalle poniendo énfasis en el aspecto estructural .

Se hizo uso de la planimetría ya elaborada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para el vaciado de datos geológicos , a escalas de detalle ( 1 : 500 ) para la boquilla , y de semidetalle ( 1 : 5 000 ) para el embalse y , por otro lado , para la geología del embalse se utilizó la cartografía elaborada por INEGI , y las fotografías aéreas de la Compañía Mexicana de Aerofoto a escalas 1 : 50 000 y 1 : 30 000 .

#### Localización geográfica y vías de acceso .

El eje Batán se encuentra localizado a 10 kilómetros al S-SW de la ciudad de Querétaro a los 20° 30' latitud norte y 100° 26' longitud oeste .

Para llegar a él , partiéndose de la Ciudad de Querétaro , se toma la carretera federal No. 45 ( carretera libre Querétaro-Celaya ) , sobre la que se recorren 6 Km. hasta el poblado Villa del Pueblito ; ahí se toma un camino empedrado que está en buenas condiciones en dirección a Coronero y se recorren 4 Km. hasta llegar a la hacienda El Batán . De aquí se continúa por un camino de terracería que está en buenas condiciones y que se tiende a lo largo de la margen izquierda del río Del Pueblito . El eje Batán se encuentra a 1.5 Km. de la hacienda en dirección al SE , recorridos sobre este último camino .

#### Clima y vegetación .

Según la clasificación de Koeppen , modificada por Enrique-ta García ( en Atlas Nacional del Medio Físico , SPP , 1981 ) ,



el tipo de clima que se presenta en la localidad del Batán es del Subtipo BS<sub>1</sub> hw ( W ) que a su vez pertenece al grupo de climas secos ; esto es , en el lugar se tiene un clima semiseco-semicálido con lluvias durante el verano y un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% , ( SPP , 1981 ) .

En base a los datos obtenidos por la estación climatológica más cercana al Batán , se sabe que la temperatura media anual ( calculada en esa estación ) es de 18° C , según información recopilada dentro de un periodo de 5 a 9 años , ( SPP , 1981 ) .

Por otra parte , la precipitación total anual para la localidad , es de 635.7 mm. , siendo los meses más lluviosos los de julio y de septiembre , con 104 y 121.8 mm. de precipitación total respectivamente ( Vivó, J. y Gómez , José , 1946 y SPP , 1981 ) .

La vegetación predominante en la localidad es de matorral subtropical que consiste en arbustos inermes o espinosos que bien se pueden presentar en forma densa o en claros ocupados por pastos ( SPP , 1981 ) . Entre los principales componentes se encuentran : Casahuates ( *Ipomoea* spp. ) ; Papelillo y Copales ( *Bursera* spp. ) ; Vara Dulce ( *Eysenhardtia polistachya* ) ; Tepame ( *Acacia pennatula* ) ; Acabucho ( *Forestiera* spp. ) ; Uña de gato ( *Mimosa* spp. ) ; Nopales ( *Opuntia* spp. ) ; Tepeguaje ( *Lysiloma* spp. ) ; Garambullo ( *Mirtocactus geometrizans* ) ; etc. , ( SPP , 1981 ) .

# CAPITULO

## II



## CAPITULO II

### FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

**Provincia fisiográfica.** La localidad que comprende el presente estudio, se encuentra situada en la zona limítrofe de las provincias fisiográficas denominadas "Eje Neovolcánico" y la "Mesa Central" (Raisz, 1964).

La provincia del Eje Neovolcánico se caracteriza por la presencia de numerosos volcanes que se elevan sobre cuencas que han sido llenadas por cenizas; dichos volcanes están casi todos extintos y se encuentran en todas las etapas de erosión, mientras que la mesa central se caracteriza por muy extensas planicies; en una de las cuales la más densamente poblada por cierto, denominada El Bajío, en su borde sur, se localiza el proyecto.

Según López Ramos (pag. 24-42, 1981), el vulcanismo de Querétaro queda comprendido dentro de lo que él denomina "Vulcanismo en el estado de Michoacán", que está delimitado al sur por la cuenca del río Balsas, al norte por la depresión del Bajío, al este por las fracturas Querétaro - San Miguel de Allende (Gto.) y por el anticlinal de Tzitzio - Huetamo (Mich.) y al oeste por la zona oligo - miocénica y cretácica del sur del lago de Chapala. Por su parte, Manuel Alvarez Jr. (1961, pag. 14), denomina a esta provincia "La zona de fosas tectónicas y vulcanismo reciente", caracterizada por predominar en ella derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos, cuya forma, orientación y distribución sugieren la idea de estar situados en fosas tectónicas.

**Orografía.** El paisaje en el Área se caracteriza por la presencia de mesas amplias que constituyen, al mismo tiempo, las porciones más altas de los márgenes de los valles. Estas mesas presentan frecuentemente una serie de lomeríos pobremente desarrollados que interrumpen su continuidad lateral. Dichos lomeríos se deben al inicio de la disección sobre la ígimbrita de forma tal que apenas son apreciables los cauces nacientes.

Con menos frecuencia, se observan en el Área de trabajo cerros cuyo cierre estructural es mayor a los cuarenta metros, siendo muy pocos aquellos que alcanzan hasta los sesenta metros.

En el lugar, la mayor parte de los cerros son aparatos volcánicos inactivos pero jóvenes, sobre los que se ha iniciado el proceso erosivo que, hasta ahora, ha generado laderas redondeadas y continuas, es decir, sin drenaje que las interrumpen.

La mayoría de estos cerros se encuentran más bien alejados del sitio del embalse. Así, entre 17 y 25 Km al sur del sitio, se tienen varias elevaciones importantes: el cerro Godoy cuya cima se encuentra a una altitud de 2750 metros, el cerro Azul (2890 m.), cerro las Pidinculas (2820 m.), cerro Prieto (2760 m.) y cerro Boludo (2590 m.).

Al SW de la zona de estudio se encuentran el cerro La Cruz (2590 m.) y el cerro Pelón (2470 m.) a 25 Km. de distancia aproximadamente.

Algunas coladas de lava se pueden observar en el cerro La Cruz, que fluyeron predominantemente al norte y que alcanzan una longitud mayor a los 7 Km. del punto de emisión.



FIGURA 1.

De manera particular, se encuentra una elevación cuya forma contrasta con el resto de los cerros hasta ahora mencionados, se trata del cerro Peña Rajada que se encuentra constituyendo la cima de la ladera izquierda del río del Pueblito, a unos cien metros aguas abajo del eje Batán. Este cerro presenta laderas irregulares con pendientes abruptas y está constituido por un basalto color gris claro de textura afanítica.

**Hidrografía.** En la localidad no se encuentran corrientes de importancia que presentan caudales permanentes, siendo estos más bien de carácter intermitente, pues la escorrentía se ve restringida sólo a las temporadas de mayor precipitación (meses de julio y septiembre) y aún en estos casos la precipitación es tan escasa que solamente en mínimas ocasiones pueden llegar a generarse caudales apreciables; con excepción de los casos en que la corriente esté alimentada por algún manantial.

La red hidrográfica general es de forma dendrítica y varía de muy densa a espaciada según la pendiente que presenta la roca en la que se ha generado este patrón de drenaje.

Se puede observar también, en menor grado, un patrón de drenaje paralelo muy poco desarrollado y que abarca pequeñas áreas.

El drenaje dendrítico se encuentra asociado a la ignimbrita en las porciones en las que esta presenta lomeríos pequeños desarrollados, sobre todo, al este del vaso. Asimismo, este patrón de drenaje se encuentra con mayor frecuencia, pero en menor extensión que en la ignimbrita, en las laderas que conforman los límites del vaso, desarrollándose sobre la toba y más específicamente en las porciones en que esta toba se presenta con una pendiente de poca inclinación.

El drenaje paralelo que se puede apreciar en el sitio está asociado a aquellos puntos en donde afloran los basaltos, como consecuencia de las pendientes pronunciadas que estos generan, y por efecto también del fracturamiento que presentan. Este patrón puede reconocerse sobre todo en el basalto Los Arcos y en mucho menor grado (casi nulo) en el basalto Peña Rajada.

Todos los cauces que se observan en el lugar, tanto los mayores (los que constituyen el embalse), como los menores, se caracterizan por estar enmarcados por valles poco profundos, en parte estrechos y en parte amplios, pero en ambos casos en forma de V.

Los cauces mayores presentan una orientación NW-SE entre aproximadamente el 80 y el 90% de los casos, mientras que la red hidrográfica menor presenta una orientación perpendicular a esta. El 10% restante de los cauces mayores tiene una orientación similar a la de los cauces menores, es decir, aproximadamente NE-SW.

La red hidrográfica menor muestra un claro control estructural pues se pueden reconocer varias familias dendríticas agrupadas en conjuntos cuya orientación se aproxima a la de uno de

los patrones de fracturamiento más abundantes observados en el campo (NW 68°).

Por el contrario, la red hidrográfica mayor presenta un control litológico más que estructural, con lo cual, cada arroyo fue excavando su cauce según los obstáculos que encontraba a lo largo de su trayecto.

En general, la pendiente de los arroyos principales es muy baja, y varía desde menos de un grado en su mayoría, hasta aproximadamente 6 grados en las porciones que podrían considerarse las más inclinadas y que constituyen la minoría de los casos.

Genéticamente, la red hidrográfica es, en la mayoría de los casos, de tipo consecuente, pues obedece a la pendiente original del terreno, que se encuentra en una etapa fisiográfica joven y son, por lo tanto, los primeros ríos que se forman en él.

Se observan también algunas corrientes subsecuentes que han seguido zonas de debilidad en las rocas o bien que se han generado por la presencia de rocas más débiles rodeadas por rocas más fuertes, (tobas (débiles) rodeadas por ignimbritas o basaltos (fuertes)).

Según el Índice de Sinuosidad (I.S.) definido por Brice en 1964 (Morisawa, 1980), los cauces principales de la localidad son del tipo recto, caso del arroyo Bravo (I.S. = 1.04); sinuoso, caso del arroyo Hondo (I.S. = 1.05); y del tipo meandriforme, caso del arroyo Huimilpan (I.S. = 1.61), (ver tabla 1).

**Etapas fisiográficas.** La etapa del ciclo fisiográfico en la que se encuentra el área estudiada es de juventud, pues es común observar en ella valles angostos y poco profundos alternando con parteaguas muy amplios en forma de mesas sobre las que apenas se ha iniciado el labrado de cauces y, por otra parte, la densidad de la disección regional es muy baja, 1.4 Km./Kmi.

**Geomorfología.** La morfología que presenta el área estudiada es el resultado tanto de los procesos endógenos que afectaron al lugar durante el Terciario y Cuaternario, como de los procesos exógenos que actuaron durante el Cuaternario, esencialmente la erosión fluvial y el intemperismo.

Los rasgos geomorfológicos más sobresalientes del lugar, de origen endógeno, son el conjunto de mesas de materiales volcánicos dispuestas a distintos niveles (a manera de escalones) y las disecciones que constituyen a los arroyos mayores, de carácter exógeno.

Estas mesas constituyen un conjunto de planicies denudatorias cuyos productos de erosión van a dar directamente al cauce de los ríos y arroyos que las limitan lateralmente.

Los procesos denudatorios en el área han tenido lugar por efecto de la escorrentía de carácter laminar que se presenta en las superficies ligeramente convexas de las mesas.

Por otra parte, los arroyos y ríos en el área han sido generados por el escurrimiento lineal que se originó a lo largo de las zonas de debilidad que presentaban los materiales volcánicos y que de manera consecuente fueron cavando los cauces, siguiendo la pendiente regional original (hacia el NW) y formando los cauces mayores.

Con la formación de los cauces mayores se dieron las condiciones necesarias para la formación de las corrientes menores de carácter subsecuente debido a que el desarrollo de las primeras dejaron al descubierto capas litológicas de menor resistencia que aquéllas que las rodean.

El trabajo de erosión ha originado valles bien marcados cuya profundidad varía entre 30 y 90 metros, mientras que su anchura varía de 183 a 528 metros. La profundidad y ancho promedio de estos valles son, respectivamente: 62 y 366 metros.

Posteriormente el lugar estuvo afectado por levantamientos regionales que dieron lugar al encajonamiento de los ríos principales, pues estos, siguiendo su dirección de flujo continuaron buscando su nivel base, ( estos ríos pertenecen al sistema hidrográfico del río Lerma - Santiago y el nivel base definido por esta cuenca es el que dichos ríos buscan alcanzar ).

Se hizo un análisis sobre las cartas topográficas ( hojas Querétaro y Apaseo el Alto ) para determinar la densidad de la disección en el Área de trabajo, con lo cual se obtuvo información de apoyo para determinar la etapa fisiográfica del lugar. La disección obtenida fue de 1.4 Km./Km.<sup>2</sup>, esto es, en esta Área se han labrado 1.4 Km. de ríos por cada kilómetro cuadrado. Esta es una densidad de disección muy baja, típica de terrenos planos como el que aquí nos ocupa.

Por último, el intemperismo ha afectado el relieve del Área principalmente por medio de la alteración química de los materiales. Las unidades litológicas que se han visto más afectadas por este proceso modelador son las constituidas por cenizas, como es el caso de la toba El Batán cuyo proceso de degradación es el de mayor rapidez en comparación con el resto de las unidades. Tanto los basaltos como las ignimbritas se ven menos afectados por el intemperismo y sólo generan capas delgadas (nunca mayores a los 2 mm. ) de alteración química que, no obstante, ha contribuido durante el tiempo geológico al modelado del relieve.

INDICE DE SINUOSIDAD

	Long. del canal		Long. eje del valle		I.S.=Long. canal/Long. eje del valle	Tipo de río
		Prom.		Prom.		
Arroyo	2.6 Km.		1.6 Km.			I.S. > 1.5
Huimilpan	2.6 Km.	2.63 Km.	1.7 Km.	1.63 Km.	I.S.=2.63 Km./1.63 Km. = 1.61	
	2.7 Km.		1.6 Km.			Río méndrico
Arroyo	2.1 Km.		2.0 Km.			1.05 < I.S. < 1.5
Rondo	2.1 Km.	2.10 Km.	2.0 Km.	2.00 Km.	I.S.=2.10 Km./2.00 Km. = 1.05	
	2.1 Km.		2.0 Km.			Río sinuoso
Arroyo	1.1 Km.		1.1 Km.			I.S. < 1.05
Bravo	1.0 Km.	1.07 Km.	1.0 Km.	1.03 Km.	I.S.=1.07 Km./1.03 Km. = 1.04	
	1.1 Km.		1.0 Km.			Río recto

TABLA 1 . Cálculo del Índice de Sinuosidad por el método de Brice .

# CAPITULO

## III



## CAPITULO III

### GEOLOGIA GENERAL

La Faja Volcánica Transmexicana ( FVT ) o Eje Neovolcánico, ha sido objeto de diversos estudios que en general han dado lugar a controversias , sobre todo en lo que a historia geológica y terminología se refiere .

Entre los trabajos más recientes , es significativo el de Alain Demant ( 1978 ) , por la introducción de una nueva subdivisión más específica de la Faja Volcánica Transmexicana , que permitió a dicho autor determinar que la edad del vulcanismo que originó a la faja es únicamente plio-cuaternario .

Esta Faja Volcánica Transmexicana está formada por dos episodios volcánicos principales , ( según Venegas , 1985 ) :

1.-Un vulcanismo basamental que descansa sobre rocas sedimentarias marinas del Cretácico , ( Pozo Tulyehualco I , Cd. de México , ( Academia Mexicana de Ingeniería . Mesa Redonda sobre Riesgo Geológico , 1988 ) , que encontró debajo de los productos volcánicos de la FVT las calizas de la formación Morelos ; los pozos H-2 y H-5 en los Humeros , Puebla , de la CFE que pasaron de unas andesitas pliocénicas a las rocas de la formación Tamaulipas Inferior ( Gutierrez N . , 1983 ; en Venegas , 1985 ) . Este vulcanismo basamental datado por K /Ar en muestras tomadas de pozos de la CFE en los Azufres Mich . , La Primavera Jal . , y Los Humeros Pue . ( con excepción de las andesitas del Plioceno en los pozos H-2 y H-5 en Los Humeros Pue . , ya que en esos pozos el vulcanismo basamental no se encontró ) da edades que varían según el lugar , pero en términos generales ocurrió entre los 20 y los 4 m.a . , siendo Mioceno o a lo sumo Mioceno-Plioceno ( S. Venegas S. et al . , 1985 ) .

2.- El episodio volcánico que en sí es lo que se conoce como Faja Volcánica Transmexicana , ocurrió entre los 4 m.a. y el presente ( plio-cuaternario ) . Entre estos dos episodios volcánicos existe un hiatus en la actividad volcánica que es apenas de unos cuantos m.a . , 1.5 a 6 m.a. aproximadamente , dependiendo y variando según el lugar ( S. Venegas S. et al . , 1985 ) .

## Estratigrafía . ( PLANO I )

A continuación se hará una breve descripción de las distintas unidades litológicas existentes en el Área, señalando sus principales características litológicas, rasgos geomorfológicos y estratigráficos. Para todas las unidades estudiadas se infiere una edad cuaternaria, en base a las dataciones realizadas al SE del sitio en la caldera de Ansalco, Gro. ( Ferriz y Mahood, 1986 ). Se hace además, referencia al informe geológico exploratorio del Ing. Jesús Escobar Marín de 1979 quien informalmente designó a las unidades litológicas existentes en el Área y que de la más antigua a la más reciente son:

### Basalto Los Arcos (GB1a) .

Esta unidad fue informalmente denominada Los Arcos en la localidad que se encuentra a 1.5 kilómetros al E de la hacienda El Batán sobre el río del Pueblito; se describió como: " un basalto lajeado que en general se presenta fracturado ." ( Escobar M., 1979 ).

**Litología y espesor .** La unidad consiste de un basalto que, en términos generales, es de color gris claro; en algunos casos gris oscuro y menos frecuentemente pardo oscuro. Presenta una textura predominantemente afanítica, aunque en algunos casos se llega a observar una incipiente textura porfirítica.

Son observables a simple vista cristales de feldespatos que constituyen aproximadamente el 20% de la roca, dichos feldespatos son esencialmente plagioclasas; asimismo se pueden reconocer megascópicamente algunos cristales de minerales máficos en proporciones por debajo del 10%, y algunos óxidos de hierro en proporciones también menores al 10%.

La roca intemperiza en color rosado claro a pardo rosado, formando una capa de intemperismo de aproximadamente 0.5 mm.

El estudio petrográfico de las láminas delgadas ( HT-87-63B, HT-87-643 y HT-87-648, ver apéndice petrográfico al final del texto ) de esta unidad litológica, indica que se trata de un basalto de augita-olivino que como plagioclasa contiene labradorita; en algunos casos está ligeramente sericitizada; como minerales accesorios se encuentra solamente a la magnetita, y como alteración de esta, a la hematita.

En las exploraciones realizadas en 1979 este basalto presentó un espesor máximo de 22.3 metros.

Este basalto se encuentra intensamente diaclasado y fracturado, ( ver geología estructural ).

**Distribución .** Dentro del Área de estudio el basalto Los Arcos se encuentra aflorando únicamente en el sitio de la boquilla, en ambas laderas, y abarca desde las orillas del río del Pueblito hasta más arriba de la cota correspondiente al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias ( NAME ). Esta unidad fue detectada en todos los pozos exploratorios efectuados tanto en la boquilla como en el vaso.

**Expresión morfológica .** Esta unidad se caracteriza por ser un macizo rocoso aislado en el que se generan laderas planas a convexas, debido a que los agentes modeladores exógenos ( viento , agua , temperatura , humedad , principalmente ) actúan de forma tal que , el desgaste mecánico que afecta a la unidad tiende a ser de carácter laminar , y sólo en aquellos puntos en los que se ha desarrollado fracturamiento mayor , la roca se ve afectada por procesos erosivos en forma lineal que han dado lugar a la intensificación de la disección .

En relación al resto de las unidades litológicas del embalse , y para fines de construcción de la cortina sobre este basalto , la unidad es tanto litológica como morfológicamente inmejorable .

**Relaciones estratigráficas .** El basalto Los Arcos descansa concordantemente sobre un basalto compacto de color gris y textura afanítica , detectado en todas las exploraciones del vaso ( Escobar Marin , 1979 ) y subyace concordantemente al basalto La Pita en algunos sitios , y la toba El Batán en la mayor parte del vaso ( según observaciones de campo de los autores del presente trabajo e información de pozos exploratorios ) . Aproximadamente a 200 metros aguas arriba del eje , el basalto Los Arcos se encuentra subyaciendo discordantemente al basalto Peña Rajada que ha formado diques de fisura dentro del basalto Los Arcos , y a un horizonte piroclástico arenoso , estratificado .

Entre el basalto Los Arcos y la toba El Batán se encuentra un aglomerado basáltico de color rojo a marrón que interperiza a color pardo amarillo y anaranjado . Presenta fragmentos de tezontle y bombas de diámetro de 40 a 90 cm y excepcionalmente de más de un metro ( ver columna estratigráfica y figura 6a ) .

Sobre el basalto Los Arcos existe un horizonte piroclástico que aflora únicamente en la cima de la margen derecha en una área pequeña ( no cartografiada ) localizada por arriba del NAME . Presenta una ligera inclinación de 9° al NW y un rumbo de SW 72° ; tiene un espesor observable de un metro y se reconocen varias emisiones cíclicas :

- capas delgadas ( 4 a 5 mm ) de material arenoso fino a medio ( menos de 1 mm a 1 mm ) intercalado con ceniza volcánica , de color gris claro .
- capas de 2 cm de espesor de arena gruesa negra ( 1 mm a 1.5 mm ) .
- horizontes gruesos ( 2 cm de espesor ) de piroclastos gruesos subredondeados ( de 2 mm a 1 cm ) y fragmentos de basalto , subredondeados también , de color gris oscuro a negro .

#### **Basalto La Pita (QBp) .**

Esta unidad fue definida informalmente como : " un basalto de color negro , vesicular , masivo y compacto . " Fue descrita en la localidad del Batán sobre el cauce de los arroyos Bravo y Huimilpan , por Escobar M. , en 1979 .

**Litología y espesor .** Es un basalto de color negro a gris oscuro de textura porfiritica y presenta hacia la superficie

(dos metros aproximadamente) una textura vesicular. Se observan algunos fonocristales de feldespatos, en menor número cristales de minerales máficos y más escasamente algunos óxidos de hierro contenidos todos ellos en una matriz afanítica. La roca intemperiza a un color negro, y la superficie de intemperismo varía en espesor según la existencia de cavidades comunicadas entre sí, aunque no es mayor a los 10 mm.

Las vesículas son el resultado en su mayor parte del contenido de gases que estaban presentes en el magma durante su solidificación, pero en otros casos se encuentran relictos de cristales que antiguamente ocupaban el espacio de algunas de las actuales cavidades y que por intemperismo (químico principalmente, por estar sujeto a la acción del agua) han sido alterados, es decir, se trata de un basalto en partes amigdaloides.

En base al estudio petrográfico (lámina delgada HT-88-3), se determinó que esta unidad es un basalto de olivino, constituido además por augita y labradorita, y tiene como mineral accesorio la magnetita, y como minerales secundarios a la hematita e idingsita. La roca se encuentra debilmente alterada, ya que el estudio petrográfico demostró que los minerales formadores de la roca están "sanos", y la alteración importante se lleva en las vesículas de la roca.

Esta unidad es muy compacta y puede asegurarse que tiene una alta resistencia al desgaste físico, al intemperismo químico y a la ruptura por la acción de esfuerzos; de comprobarse un volumen importante y una extracción accesible, constituiría un buen banco de material.

Según los pozos exploratorios, esta unidad tiene un espesor de 16.5 metros. Se presenta ligeramente fracturada, distinguiéndose 3 patrones de fracturamiento, uno de rumbo aproximado NW-SE 68°; otro de rumbo promedio NE-SW 50°, y el último de rumbo NE-SW 4°.

**Distribución.** Esta unidad aflora dentro del Área estudiada, en el arroyo Bravo, constituyendo las cotas más bajas del mismo, y en una longitud de aproximadamente 540 metros. Aflora también en cuatro puntos del arroyo Huimilpan, entre las cotas 1910 y 1915 de dicho arroyo cerca de la confluencia de este con el arroyo Mondo.

**Relaciones estratigráficas.** Sobreyace concordantemente, con un contacto bien definido, al basalto Los Arcos y subyace a la toba El Batán (ver fotografía 1). El contacto La Pita-El Batán, en algunos casos de carácter interdigitado, como se observa en algunos afloramientos del arroyo Huimilpan.

Entre el basalto Los Arcos y el basalto La Pita existe una secuencia piroclástica no diferenciada que aflora sobre uno de los meandros del arroyo Huimilpan en su ladera izquierda, aproximadamente sobre la cota 1904. Dicha secuencia muestra una clara estratificación en capas más bien delgadas de aproximadamente 10 cm. de espesor cada una de ellas. Dicha secuencia consiste de partículas de ceniza gruesa (1/4 de mm. a 4 mm.) sobremente consolidada y litificada. El espesor observable de esta secuencia es aproximadamente de 1.5 m., y muestra una inclinación (acumamiento) hacia ambos extremos del afloramiento.



Fotografía 1. Contacto litológico entre las unidades basalto La Pita y la toba El Batán , sobre la ladera derecha del arroyo Huimilpan .

probablemente debido a compactaciones diferenciales de la secuencia. Es perceptible un ligero buzamiento de 9° al NE y un rumbo NW-SE 66°.

#### Toba El Batán (QTbB).

Fue informalmente denominada arenisca El Batán en el año de 1979 por Escobar M., en la localidad del Batán, en los arroyos Hondo, Huimilpan y Bravo, así como en el río del Pueblito, como: "una arenisca compuesta de dos miembros: uno depositado en un medio acuoso, de color crema y amarillenta, que contiene gravilla y arena formando bandas y fragmentos subredondeados basálticos de hasta veinte cm de diámetro y fragmentos de pómez." El miembro superior lo describe como "una toba brechoide de color gris oscuro con fragmentos angulosos de basalto y pómez negro de 1 a 10 cm. de diámetro, en una matriz de arena fina volcánica, medianamente compactada y masiva."

**Litología y espesor.** Está formada por una secuencia que varía en color, del crema-amarillo al rojo, dependiendo del lugar y de las condiciones hidratantes en las que se depositó. Presenta intervalos que tienen una compactación mayor a la de otros intervalos de esta misma secuencia. En términos generales se trata de una toba arenosa (toba lítica con ausencia de matriz, y una existencia mínima - casi nula - de cementante (carbonato de calcio), los tamaños de los constituyentes van desde arenas medias al de arenas finas, con fragmentos subangulosos de cuarzo, fragmentos subredondeados a subangulosos de feldespatos, y fragmentos líticos de composición ácida subredondeados. Se compone además de ceniza volcánica del tamaño de arena fina a media de color pardo grisáceo que constituye la matriz en la que están contenidos fragmentos líticos subredondeados a subangulosos de basalto negro (muy poroso) de 0.5 a 3 cm de diámetro, pómez de entre 1 y 3 cm y fenocristales subredondeados (en ocasiones euedrales) de feldespatos de hasta 1 mm de diámetro; asimismo se encuentran en proporciones muy bajas (menos del 5%), fragmentos angulosos de vidrio volcánico negro de entre 2 y 5 mm de diámetro. Dadas las características anteriores, se puede inferir cierto transporte de las partículas que conforman esta secuencia (además del transporte aéreo). Se observan de acuerdo a la gradación normal de los diferentes tamaños de cada horizonte piroclástico, varios episodios o eventos de actividad volcánica.

En algunos sitios (zona de la boquilla, ladera izquierda) se rompe esta generalidad, encontrándose fragmentos del tamaño de bloques (15 a 35 cm) en la parte superior de la toba El Batán.

**Distribución.** Esta unidad aflora a lo largo de los arroyos Hondo, Huimilpan y Bravo, así como a lo largo del río Del Pueblito, en todos los casos, conformando las laderas de los valles. De las unidades estudiadas es la que muestra una de las mayores áreas de exposición.

**Expresión morfológica.** La toba El Batán se caracteriza por desarrollar laderas planas de pendientes moderadas que dominan

el paisaje de los valles. Dicha unidad presenta una pendiente aproximada de  $18^\circ$ , y en algunas zonas -como en el arroyo Bravo- esta pendiente varía a  $53^\circ$  hacia la cima de la unidad.

Sobre esta unidad se desarrollan en algunos lugares (como en el arroyo Huimilpan y algunas porciones del arroyo Bravo) una serie de canales pequeños (escurrideros) que en conjunto generan un drenaje paralelo a subparalelo de pequeña escala.

Sobre la ladera derecha del arroyo Hondo, la toba El Batán desarrolla cantiles de aproximadamente 10 a 15 metros de altura (fotografía No. 2), mientras que sobre la ladera izquierda del arroyo Huimilpan por arriba de la cota 1915 y casi al extremo del embalse, se desarrollan algunos depósitos de tipo coluvial que generan una morfología similar a la de pequeños abanicos aluviales, como resultado de la inestabilidad de la ladera y de la facilidad con que se erosiona esta unidad.

Por otra parte, el miembro lacustre de esta toba (ladera izquierda del río del Pueblito, aguas abajo del eje Batán) muestra una pared vertical y en algunos casos incluso una pendiente negativa muy probablemente generada como resultado del desprendimiento del que fuera su contacto con otra unidad litológica que bien pudo haber sido también el límite de la cuenca lacustre en la que se depositó.

#### Basalto Peña Rajada (QBpr).

Fue descrita informalmente en el año de 1979, por Escobar M., en la localidad del Batán, como "un basalto porfirítico de color gris en general fracturado" y su nombre fue tomado del cerro Peña Rajada que se puede considerar como su localidad tipo.

**Litología y espesor.** La unidad basalto Peña Rajada consiste en una roca volcánica que se presenta en forma de diques y derrames, tiene un color gris oscuro, presenta una coloración ocre al intemperismo y una textura porfirítica en la cual son observables fenocristales de ferromagnesianos alterados y feldespatos. Estos feldespatos presentan un tamaño aproximado de 2.5 mm, mientras los fenocristales de ferromagnesianos 1 mm en promedio; tanto los feldespatos como los ferromagnesianos se encuentran incluidos en una matriz afanítica de color gris oscuro.

Esta unidad se encuentra de nula a escasamente intemperizada, presenta una superficie de intemperismo de menos de 1 mm de espesor en superficie y en los planos de fractura la abertura de estas discontinuidades es menor de 0.5 mm sin relleno alguno observable; el espaciamiento entre ellas es menor a 1 metro siendo en ocasiones mayor. La persistencia o longitud de las fracturas es de 50 centímetros a 2 metros aproximadamente y existen 2 patrones de fracturamiento. Por medio de pruebas de campo o "in situ" y correlacionando con lo que se obtendría en una prueba de laboratorio, la unidad basalto Peña Rajada tiene una gran resistencia a la compresión simple (100 MPa, según anónimo, 1977, en González Huesca, 1984). El estudio petrográfico de las láminas delgadas (HT-87-639, HT-87-641, HT-87-642) de esta unidad litológica, indica que la presente unidad es un basalto de olivino-augita y labradorita,

como mineral accesorio presenta magnetita , los minerales secundarios como producto de alteración son : idingsita , sericita y hematita. La textura que presenta esta roca es pilotaxítica principalmente aunque presenta también una textura glomeroporfirica .

Distribución . La unidad basalto Peña Rajada aflora únicamente en el Area correspondiente a la boquilla , se presenta en ambas laderas y corresponde a las partes altas de estas en las cotas 2000 a 2040 .

Expresión morfológica . Esta unidad resulta ser la más contrastante del sitio en lo que a morfología se refiere , pues desarrolla pendientes más abruptas que las unidades restantes tratadas en este trabajo . Se observa como una unidad de forma masiva conformada por una serie de bloques angulosos cuya disposición da la impresión de constituir un cuerpo continuo . Esta unidad constituye la parte más alta del cerro del mismo nombre donde se desarrollan laderas más irregulares .

Relaciones estratigráficas . El basalto Peña Rajada corta discordantemente a las unidades : basalto Los Arcos y toba El Batán . Este basalto presenta una estructura de dique y de derrames , con una orientación NE-SW en ambas laderas ( el dique no se observa en las partes bajas por efecto de la erosión y fenómenos de acumulación ) , las partes donde aflora está en contacto discordante con la toba El Batán y el basalto Los Arcos , presentando en algunas porciones un echado casi vertical mientras que coronando el Cerro Peña Rajada y la cima de la ladera derecha , aproximadamente 100 metros aguas arriba del eje , la relación tiende a ser concordante horizontal ( ver fotografía No. 3 y figura 6a ) .

El espesor observable de este cuerpo es variado y va de 3 a más de 40 metros aproximadamente .

#### Toba Rancho Nuevo (OTbrn) .

Esta unidad fue denominada así , de manera informal , por Escobar M. , en el año de 1979 , y descrita como : " una toba andesítica de color rosa a violáceo que intemperiza en color crema y café , de textura porfirítica y matriz afanítica , en la que se observan fenocristales de feldespatos . "

Litología y espesor . Consiste en una toba de color rosado a rosa pálido en la que se observan a simple vista cristales de feldespatos y algunos óxidos de hierro que en la mayoría de los casos se presentan orientados y se observan contenidos en una matriz de grano fino muy compacta . En algunos casos la orientación de los cristales no es tan evidente y esto ocurre en las porciones más cercanas a la cima de la unidad en donde el material volcánico que la constituye no soportaba la misma presión que en las partes más bajas de la misma .

El estudio petrográfico ( HT-B7-640 , HT-B7-647 , HT-B8-2 , HT-B8-4 ) indica que se trata de una ignimbrita riolítica constituida esencialmente por vidrio de composición ácida ( matriz ) , andesina , oligoclasa , feldespatos potásicos y cuarzo ;



Fotografía 2. Cantiles desarrollados por la unidad toba el Batán .



Fotografía 3. Dique de fisura generado por la unidad basalto Peña Rajada .

por augita y zircón como minerales accidentales, y por hematita, magnetita y sericita como minerales secundarios.

La roca presenta una textura eutaxítica con una matriz vítrea de composición ácida.

El espesor de esta unidad varía entre 3 y 4 metros, presenta un alto grado de compactación y una alta resistencia al intemperismo químico. ( La roca se encuentra fracturada en bloques que varían de 1 a 2 metros aproximadamente ).

**Distribución.** Esta unidad es la más expuesta en la localidad, se encuentra coronando a la toba arenosa en todos los alrededores del embalse, aflora además en la mayor parte de la región y llega a constituir áreas continuas de hasta 25 Km. formando extensas planicies.

**Expresión morfológica.** Esta unidad da lugar al rasgo morfológico más evidente de la localidad, pues constituye las extensas mesas que ahí predominan, y que se caracterizan por su superficie prácticamente plana. En algunas porciones esta unidad origina algunos montículos extensos de apariencia redondeada sobre los cuales la capa de suelo se presenta lo suficientemente gruesa para aprovecharse como tierras de cultivo. Ahí en donde la ignimbrita genera planicies francas, el suelo presenta un espesor muy pobre ( no medido ) apenas suficiente para permitir el desarrollo de algunas especies vegetales pequeñas. A partir de esto se deduce que las porciones de la ignimbrita aprovechadas para cultivo se han visto más afectadas por el intemperismo y constituyen asimismo las capas menos soldadas de la misma, de ahí su morfología más suave, mientras que las planicies constituyen las porciones más soldadas de la unidad y de las que los agentes de intemperismo y erosión han renovado las capas menos consolidadas, estando ahora expuestas a los agentes modeladores del relieve. En sus cercanías con el basalto Peña Rajada, la toba Rancho Nuevo presenta una ligera inclinación en las mesas que genera.

**Relaciones estratigráficas.** La toba Rancho Nuevo se encuentra sobreyaciendo, en su mayor parte, a la toba el Batán. Con un contacto concordante, franco y menos claro; sobreyace también al basalto Peña Rajada rodeándolo casi en su totalidad en su cercanía con el cerro del mismo nombre ( Cerro Peña Rajada ).

**Traquiandesita (QT).**

**Litología y espesor.** Roca de apariencia basáltica de color negro en superficie fresca que altera a pardo rosado y rojizo formando una capa de intemperismo de 2 a 4 mm de espesor.

Presenta una textura porfirítica, con fenocristales de feldespatos contenidos en una matriz afanítica de color gris oscuro a negro.

En la superficie de intemperismo se desarrolla una textura pseudobandeada debida al seguimiento de la alteración a lo largo de los planos de cruce de los minerales. Se observa asociado a esta roca sílice coloidal.

En base a la petrografía ( HT-88-6, HT-88-7 ) se deter-

minó que la roca es una traquiandesita de augita , constituida por microlitos de oligoclasa y fenocristales de andesina como minerales esenciales , augita , lamprobolita y magnetita como accesorios , y hematita y minerales arcillosos como secundarios . Presenta una matriz compuesta por vidrio volcánico de composición ácida y , por lo tanto , una textura hialopilitica . Presenta un espesor observable de aproximadamente 35 metros .

**Distribución .** Se localiza sobre la ladera izquierda del arroyo Bravo , arriba de la cota 1915 .

**Expresión morfológica .** Esta unidad forma una topografía de pendientes moderadas a fuertes , en las partes altas macizas rocosas con pendiente fuerte ; la pendiente es moderada donde se observa esta unidad como una estructura de flujo de lava .

Existe un cambio morfológico en este lugar debido a la mencionada unidad , ya que la morfología general es de mesas debidas a la unidad toba Rancho Nuevo , mientras que la traquiandesita cambia la morfología a cerros de pendientes abruptas a moderadas .

**Relaciones estratigráficas .** La presente unidad sobreyace concordantemente a la unidad toba Rancho Nuevo y resulta ser la más reciente observada en el Área de estudio ya que corona a toda la secuencia estratigráfica del lugar . Presenta de manera general , una estructura de flujo de lava que tiene una dirección aproximada al SE .

#### Suelos y Acarreos (Gal) .

Consisten de materiales que varían en tamaño desde arcillas y limos hasta arenas medias y gruesas , siendo mayor la proporción de arenas ( 60% ) con respecto al de arcillas y limos ( 40% ) . Se encuentran aquí , fragmentos de basalto gris oscuro y piroclastos de composición ácida , subredondeados y de hasta 2mm de diámetro . Sobre la toba Rancho Nuevo el suelo tiene un espesor de hasta 25 cm y es ahí donde este presenta mayor continuidad ( respecto a otros lugares del sitio ) .

Sobre la unidad Los Arcos ( ladera izquierda , alrededores de la boquilla ) el suelo varía de tamaño desde gravas hasta arcillas . Gravas y arenas en el sitio del eje constituidos por fragmentos de basalto y arcillas en el cauce y a los lados de éste .

En los cauces de los arroyos Hondo , Huimilpan , Bravo , y del Pueblito se observan materiales de acarreo que consisten desde fragmentos rocosos del tamaño de bloques ( de 1 metro de diámetro ) hasta arcillas ; siendo las arenas y cantos rodados ( aprox. 20 cm ) los tamaños que predominan . Los cantos son principalmente de basaltos y tobas de los alrededores cercanos , es decir , han experimentado un corto transporte .

A continuación se muestra la columna estratigráfica del sitio con una descripción resumida de la litología .

m	Secuencia	Litología	Edad	Simbología
17.5		Compuesto por arcillas grises y fragmentos de roca de la zona del basalto, se encuentra también arcilla roja del tipo en las arcillas de la bapilla.	Cuaternario	Suelo.
35		Traquiandesita de augita con clinopiroxeno y andesina como minerales esenciales; augita, fengpirrolita y magnetita como accesorios, y hematita y minerales arcillosos como secundarios. Todos en una matriz vítrea ácida. Su textura es porfírica en una matriz filopilitica. Es de color negro y otros a partes ensada y rajado. Genera sacos rocosos con proclinas fuertes a moderadas.		Traquiandesita.
41		Ignea de vidrio ácida compuesta por una matriz de vidrio ácida, con andesina, augita y zircón como minerales accesorios y hematita, magnetita y sericita como minerales secundarios. Presenta una textura porfírica. De lugar a extensas zonas que danan el poro del sitio y que en algunas áreas presentan una ligera concavidad.		Toba Rancho Nuevo. Basalto Peña Rajada.
40		Basalto de olivino-augita y labradorita, con magnetita como mineral accesorio, e idroglauca y hematita como secundarios. Su textura es porfírica en una matriz filopilitica en la que algunos minerales de gran tamaño en las unidades El Batán, La Pita y Los Arcos. Genera sacos rocosos con labras de tipo a irregular.		Toba El Batán (aérea). Toba El Batán (acueva). La Pita
50.7		Toba arenosa (filica) con ausencia de matriz y escasa cementante (CaCO <sub>3</sub> ). El tamaño de arena fina a media y contenido de fragmentos de cuarzo (subanguloso), feldespatos (subredondeados a subangulosos), fragmentos filicos de composición ácida (subredondeados), cenizas volcánicas del tamaño de arena fina a media, fragmentos filicos de basalto negro (subredondeados a subangulosos), puzos y vidrio volcánico negro. Se distinguen del tipo de la secuencia algunos fragmentos de arena fina, única diferencia es el color que es de un rojo oscuro a burgo, debido a que presenta mayor homogeneidad en su composición.		Aglomerado basáltico. Basalto Los Arcos. Toba aglomerática. Basalto.
29.3		Toba arenosa (filica) compuesta por material porfírico del tamaño de arena gruesa que consiste de fragmentos de feldespatos (subangulosos), fragmentos filicos de basalto negro (subredondeados a subangulosos) y bombas de lava. El matriz de tipo. Presenta un cementante de arena media a gruesa que genera con un modo de depósito acuevo. Entre esta unidad y Los Arcos se reconoce un aglomerado basáltico compuesto por bombas y fragmentos de basalto porfírico.		
16.3		Basalto de olivino-augita negro y gris oscuro de textura porfírica en una matriz filopilitica. Consiste de olivino, augita y labradorita como minerales esenciales, magnetita como mineral accesorio, y hematita e idroglauca como secundarios. Genera un matriz rizada de morfología mal definida, dando una estructura filopilitica.		
22.3		Basalto de augita olivino de textura afanítica y un alquico como porfírica, con augita, olivino y labradorita como minerales esenciales, magnetita como mineral accesorio y sericita y hematita como minerales secundarios.		
12.7		1. Lito aglomerada de tipo lava en los sacos. Basalto compuesto por...		

Columna Estratigráfica, El Batán, Querétaro.

Herrera Ruiz H.  
Tález Pérez J.  
Tesis Profesional  
1988.

## Geología estructural .

Las principales estructuras que se distinguen en el Área de estudio son : fracturas , fallas y diaclasas .

Estas se encuentran distribuidas según la litología en la que se presentan , así , la mayor parte del fracturamiento está asociado a los basaltos y en menor proporción a la ignimbrita ; mientras que las fallas existentes se encuentran asociadas a la secuencia piroclástica , y por último el diaclasamiento está asociado únicamente a la unidad basáltica Los Arcos .

El diaclasamiento que se observa en el basalto Los Arcos , muestra tres sistemas preferenciales y un cuarto sistema no tan marcado , que es perpendicular al tercer sistema . De acuerdo a los datos tomados para el estudio estadístico de fracturas y diaclasas del sitio de la boquilla ( ver figuras 2 a 6 ) , se detectaron los siguientes comportamientos :

El sistema que se observa con más claridad (D1) , y que representa el 27.77% del fracturamiento-diaclasamiento del basalto , tiene un rumbo preferencial promedio SW-NE 70° .

El segundo sistema en importancia (D2) , tiene un rumbo promedio NW-SE 10° , y representa el 14.81% del total del fracturamiento-diaclasamiento .

El tercer sistema preferencial (D3) presenta un rumbo promedio NW-SE 50° que del total analizado representa el 12.03% .

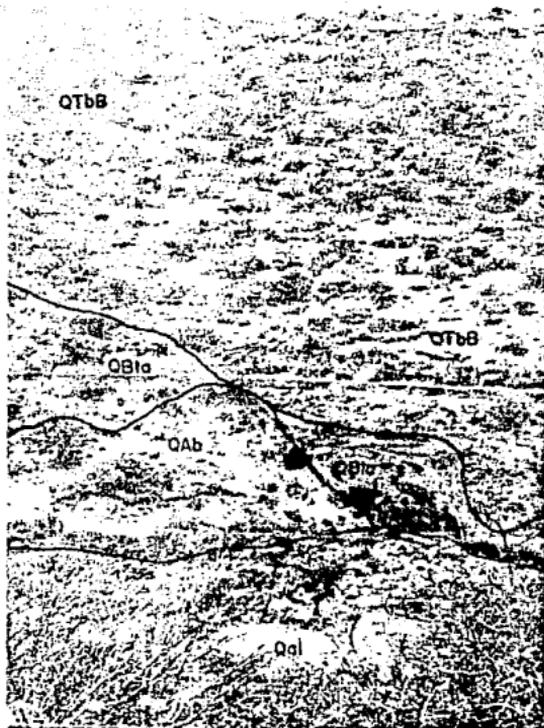
El cuarto sistema que se detectó (D4) , y que es perpendicular al último mencionado , tiene un rumbo promedio NE-SW 40° , y representa el 12.03% del total analizado .

Las fallas detectadas en el sitio son más bien escasas , todas ellas de tipo normal y asociadas a la unidad piroclástica (toba El Batán) . Su salto es menor a los cinco metros ; el relleno de estas fallas es de material arcilloso y arenoso ; estas fallas no forman familias definidas y su actitud es más bien arbitraria ; el echado promedio que presentan es casi vertical , aproximadamente de 80° a 85° . La mayoría de estas fallas son producto de la compactación diferencial de la toba El Batán y por sus características no se consideran de importancia como posibles puntos de fuga en el embalse .

La falla que podría considerarse más importante se encuentra a 440 metros aguas arriba del eje , tiene una longitud aproximada de 178 metros , un rumbo promedio de SW 37° ( en la margen izquierda ) y un echado de 60° al SE .

Esta falla fue definida en trabajos anteriores por ingenieros de la S.A.R.H. mientras que en este trabajo dudamos de su existencia , sobre todo en la porción comprendida en la ladera derecha , debido a que no contamos con los elementos suficientes (evidencias) para afirmar que tal discontinuidad sea efectivamente una falla . Por esta razón consideramos a esta discontinuidad como un contacto litológico entre el basalto Los Arcos (QB1a) y el aglomerado basáltico (QAb) (ver fotografía 4) . Sobre la ladera izquierda del río del Pueblito esta falla es más evidente y sobre el cauce su existencia se infiere (ver plano I) .

No obstante esta discrepancia y dada la importancia que esta posible falla pudiera tener para la obra , resumimos a continuación los resultados de las exploraciones hasta ahora efectuadas .



Fotografía 4. Contacto entre el basalto Los Arcos (QBla) y aglomerado basáltico (QAb) sobre la ladera derecha del río del Pueblito, considerado en trabajos anteriores como una falla normal.

En abril de 1964 el estudio fue realizado por la Compañía Solum y consiste de 6 sondeos inclinados en los que se realizaron pruebas Lugeon a lo largo del plano de falla. En julio de 1968 la Dirección de Geología de la SARH, realizó otro estudio que consistió en 3 exploraciones verticales en las que se efectuaron pruebas Lugeon. De las 3 perforaciones, dos se construyeron en el bloque del alto y una en el bajo. Los resultados de las primeras pruebas Lugeon fueron totalmente contradictorios respecto de las últimas, pues, mientras en las primeras el resultado indicó que en general las unidades cortadas (toba El Batán; "aglomerado basáltico"; basalto Los Arcos; y el material de relleno de la "falla"), eran muy permeables, las segundas pruebas indicaron que esas mismas unidades resultaban ser de poco permeables a impermeables.

Las pruebas de permeabilidad realizadas por el Ing. Escobar Marín en 1979 indicaron también que en general, como en el caso de las pruebas realizadas por Solum, el plano de "falla" es permeable.

Desde el punto de vista geotécnico estos resultados indican condiciones desfavorables para el proyecto, pues si esta estructura realmente existe y no se conoce su extensión a profundidad, debe considerarse por seguridad para el almacenamiento, que es un punto seguro de fugas, sobre todo si se toma en cuenta que en este lugar el tirante de agua podrá alcanzar una altura de hasta 34 metros, lo cual implica una presión hidráulica considerable. No obstante esto, no existe uniformidad en el grado de permeabilidad de las unidades cortadas y, como se observa en el informe de Escobar Marín (1979), los resultados de las pruebas de permeabilidad corresponden no sólo al "material de relleno de la falla", sino también y principalmente al basalto Los Arcos, al aglomerado basáltico y a la toba El Batán, unidades que han sido estudiadas en otros puntos del embalse y para cuyas características se han encontrado soluciones hasta cierto grado satisfactorias desde el punto de vista geológico (ver conclusiones).

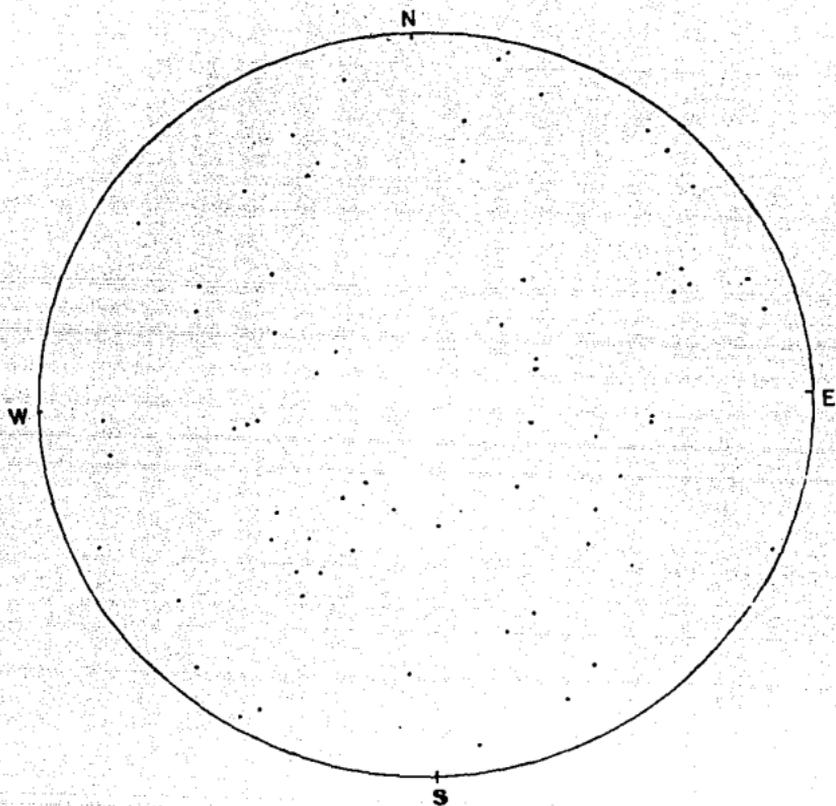
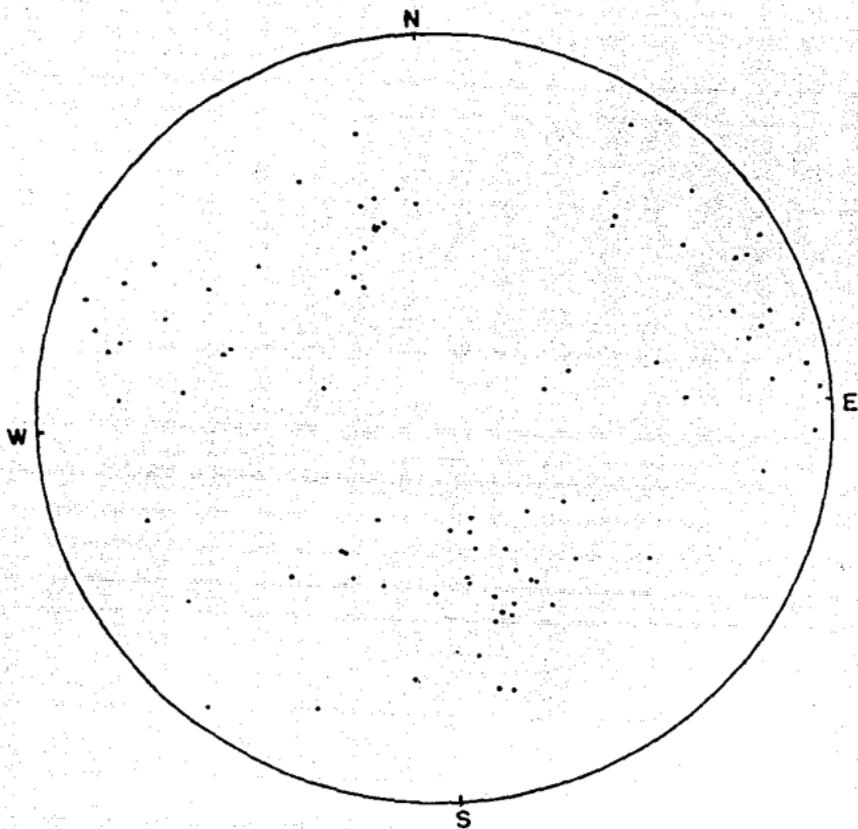


Fig.2 Diagrama de polos, ladera izquierda-boquilla.



**Fig.3 Diagrama de polos.ladera derecha-boquilla.**

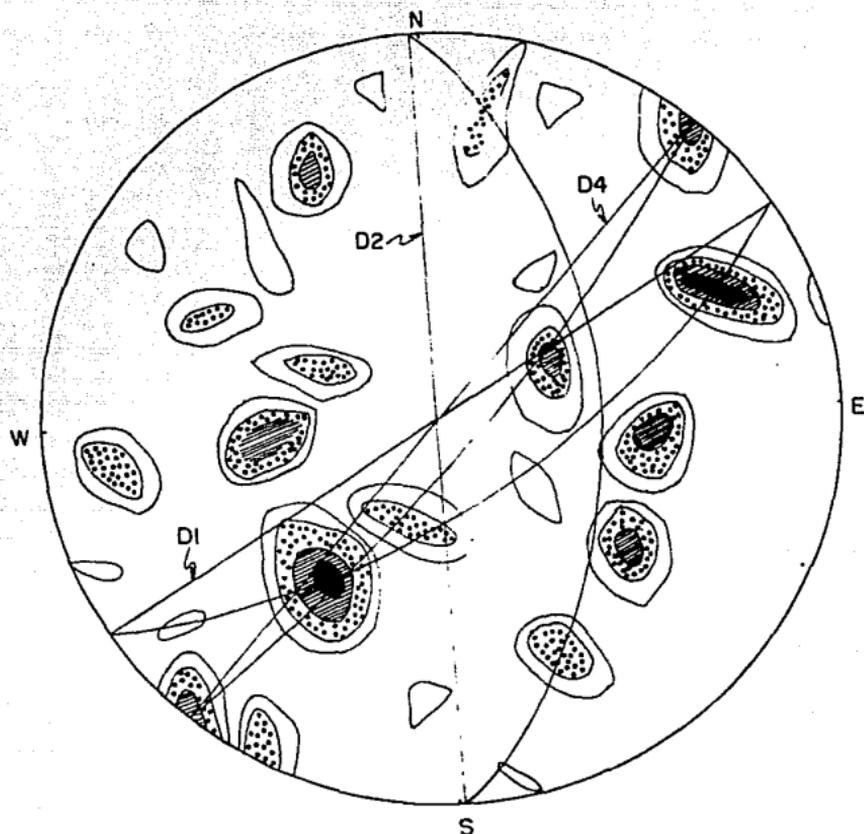
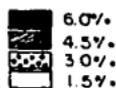


Fig.4 Diagrama densidad de puntos para diachasmiento en la boquilla, ladera izquierda.



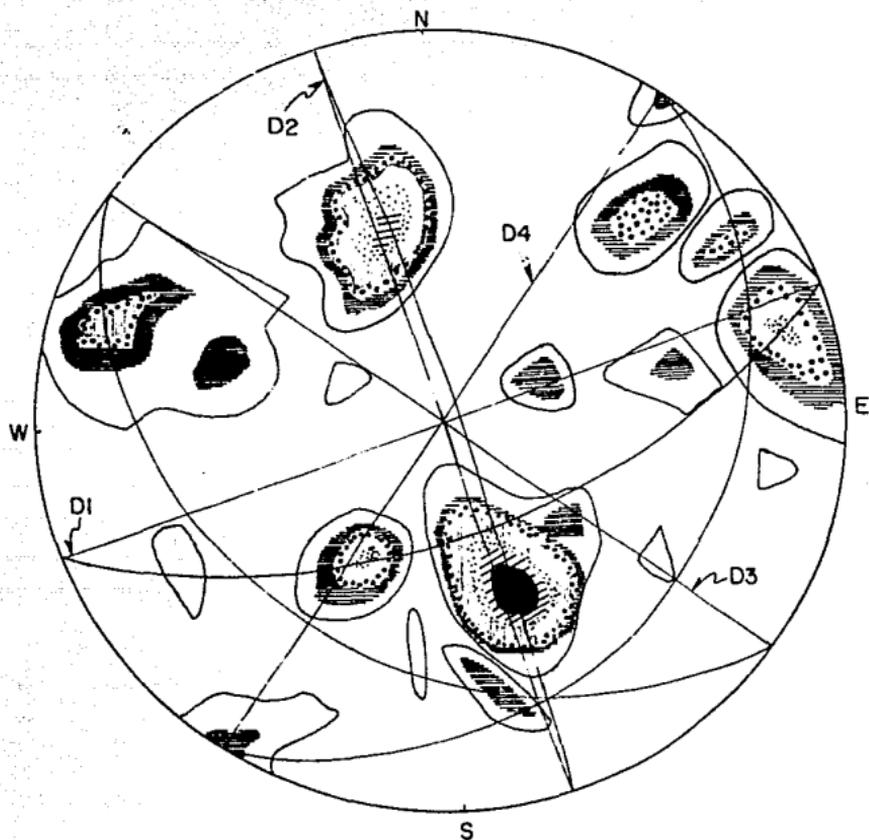
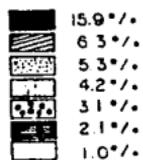


Fig.5 Diagrama de densidad de puntos para diacrasamiento en la boquilla, ladera derecha.



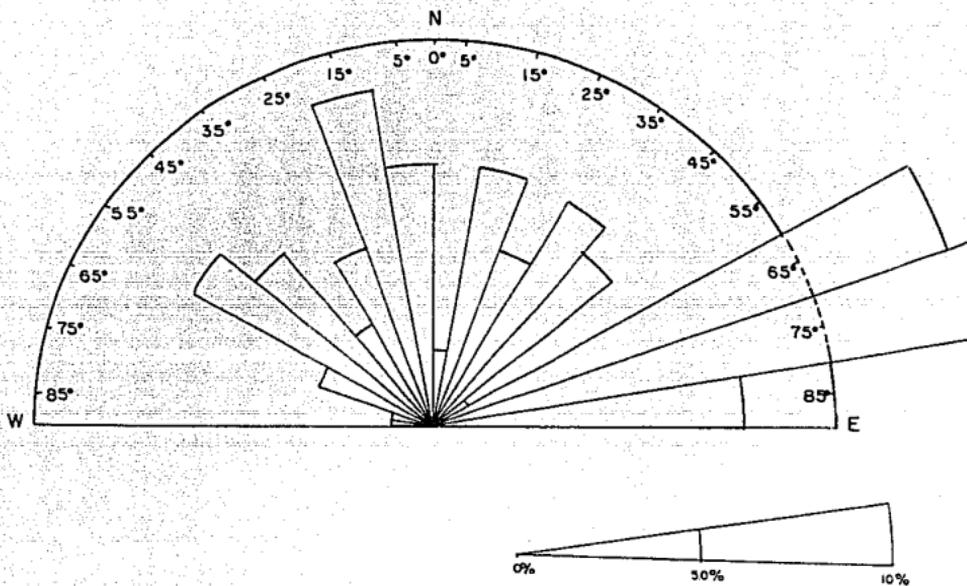


Fig.6 Rosa de fracturas-diaclases,boquilla.

## Historia Geológica de la localidad .

Las rocas predominantes del lugar son aparentemente del Pleistoceno y la litología aquí estudiada corresponde a esa edad , puesto que el vulcanismo de esta faja volcánica ha sido restringido a 2 m.a., según Demant (1978) , para el segundo episodio volcánico .

En base a los estudios de campo efectuados para la elaboración de este trabajo se ha podido determinar la historia geológica asociada a las rocas de la localidad :

Se distinguieron en los alrededores del embalse 6 unidades que caracterizan 6 emisiones diferentes , todas del Cuaternario. La unidad aflorante más antigua corresponde al basalto Los Arcos. Esta unidad se encuentra sobre otra unidad basáltica detectada por las perforaciones efectuadas en diversos puntos del vaso .

Según se puede constatar por las evidencias de campo , dichas unidades basálticas debieron haberse emplazado indirectamente sobre una serie de "altos" y "bajos" estructurales ( horsts y grabens ) cuyo origen debió de estar asociado a la acción de las fallas de desplazamiento lateral generadas durante el Oligoceno por efecto del desplazamiento relativo entre las placas del Caribe y norteamericana . Es decir , en el Oligoceno temprano , se generó la topografía sobre la cual se depositaron las emisiones volcánicas del Mioceno-Plioceno ( basamento de la FVT ) y del Plioceno-Cuaternario ( FVT ) .

Así algunos derrames basálticos que afloran en la localidad ( como el Basalto Los Arcos ) adoptan indirectamente una forma ondulante , con lo cual se generan cuencas aisladas sobre las que se depositaron algunas otras de las unidades que ahí mismo se observan , ( como son el basalto La Pita , y la toba El Batán ) , y además , por otra parte , existen evidencias de que algunas de esas cuencas estuvieron inundadas a manera de pequeños lagos ( de por lo menos algunos kilómetros cuadrados ) y en otro caso cuencas aún más pequeñas , como lo pueden constatar los miembros acuáticos de la toba El Batán .

La formación de las primeras unidades del Área , fue debida a procesos geológicos endógenos muy activos (vulcanismo). La unidad basalto Los Arcos se generó en el Cuaternario o tal vez en el Plio-Cuaternario , mediante un vulcanismo tranquilo de importantes emisiones de lava . Posteriormente, lavas con un contenido significativo de gases , fueron depositadas sobre el basalto Los Arcos ; la composición química de este magma es muy semejante a la de Los Arcos , dada la mineralogía que presentan las rocas de ambas unidades ; esta segunda unidad es el basalto La Pita . Las evidencias que se tienen para indicar cantidades significativas de gases , es la textura que presenta el basalto La pita y una textura vesicular ; aunado a esto , la evidencia de un vulcanismo de tipo violento o explosivo que genera material piroclástico de composición básica , que se deposita en forma concordante sobre el basalto La Pita ; se reconoce ahí un evento que consiste de cuatro emisiones de material piroclástico . Esta actividad volcánica de tipo explosiva siguió presentándose en la zona , aunque con una composición básica-intermedia. Este vulcanismo explosivo genera grandes volúmenes de material piro-

clástico , con variaciones laterales y verticales de acuerdo al medio en el cual se deposita ( aire o agua ) , y al paleorelieve del lugar . Esta secuencia llega a rellenar cuencas o zonas con un relieve negativo , este material piroclástico es la toba El Batán .

Casi contemporáneo al basalto Peña Rajada , se depositó sobre un área considerable , y encima de este y de la toba El Batán , una unidad de "flujo ardiente" , la ignimbrita Rancho Nuevo ; la cual contiene minerales accidentales de una roca de composición básica ( muy probablemente basaltos cercanos al Área de depósito de esta ignimbrita ) .

Ya en el Reciente esta zona, como muchas otras de la Faja Volcánica Transmexicana, ha estado sujeta a regímenes de distensión , que provocan fracturamiento y fallamiento normal . En el Área de estudio , las fracturas son muy pequeñas (escala detalle) y a escala regional se observan fallas considerables con rumbo NW-SE 20° aproximadamente .

Sobre estas discontinuidades ( principalmente fracturas ) , han actuado los agentes físicos modeladores del relieve que dan la morfología actual al Área del Batán ( ver fisiografía y geomorfología , capítulo II ) .

SECCION ESQUEMATICA, (Relaciones estratigráficas).

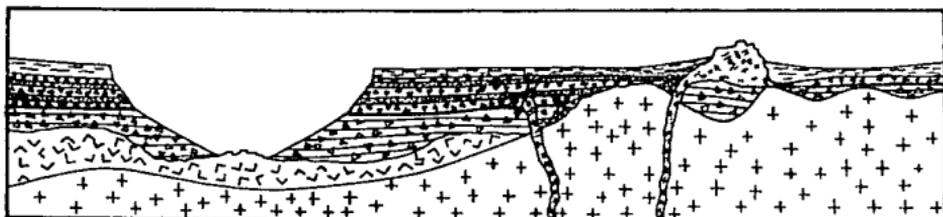


FIGURA 6a.

## Tectónica .

La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) presenta una orientación este - oeste y está formada por grandes estratovolcanes andesíticos , campos de conos cineríticos, basálticos y andesíticos , centros volcánicos silícicos y campos de domos riolíticos y riódacíticos .

Las diferentes interpretaciones acerca del significado tectónico de la FVT es materia de controversia . Hipótesis como la de una actividad volcánica con una zona estrecha de debilidad cortical ( Humboldt , 1867 ; en Demant , 1978 ) ; una extensión continental de fracturas oceánicas ( Menard , 1955 ; en Demant , 1978 ) ; una zona de sutura entre bloques cratónicos ( Mooser , 1969 , 1972 ; en Demant , 1978 ) ; fallas de desplazamiento lateral ( Gastil y Jensky , 1973 ; Le Pichon y Fox , 1971 ; en Demant , 1978 ) ; o una zona incipiente de extensión continental ( Stewart , 1971 ; Mooser et. al. , 1974 ; en Demant , 1978 ) son incompatibles de acuerdo a las características petrológicas , geológicas y de edad del vulcanismo de la FVT , características como:

-Vulcanismo predominantemente calcoalcalino que indica un régimen de subducción .

-Vulcanismo de edad plio-cuaternaria.

-No se observa un cambio o evolución de edad en el vulcanismo de oriente a poniente en la FVT , lo que haría pensar en un régimen "hot spot" .

Existe una hipótesis en la cual varios autores ( Molnar y Sykes , 1969 ; Urrutia y Del Castillo , 1977 ; Couch y Woodcock , 1981 ; Nixon , 1982 , en Demant 1978 ) proponen que el magmatismo de la FVT está asociado al proceso de subducción de la placa de Cocos debajo de la norteamericana , y atribuyen la falta de paralelismo entre la FVT y la trinchera o fosa de Acapulco a procesos tales como cambios a lo largo de la trinchera en la velocidad de la subducción , en el ángulo de subducción o en el espesor y edad de la placa oceánica , o cambios durante los últimos millones de años en la velocidad u orientación de subducción . Datos como los ángulos de subducción de Urrutia y Del Castillo ( 1977 ) no concuerdan con los que se pueden obtener a partir de datos sísmicos ; otro factor que impide pensar en un ángulo importante de subducción es la ausencia de focos sísmicos profundos superior a los 150 Km. en México ( Molnar y Sykes , 1969 , en Venegas et.al. , 1985 ) .

Una de las hipótesis más aceptadas y acorde con las características de la FVT es la que propone Demant ( 1978 ) , quien dice que :

"En el Oligoceno temprano ( 36.6 a 30.0 m.a. ) se inicia el desplazamiento relativo entre las placas caribeña y norteamericana y este movimiento es responsable en México de la formación de pliegues perpendiculares a la dirección de compresión y de fallas de tensión paralelas a la dirección de los esfuerzos principales .

Simultáneamente a la subducción de la placa Farallón ( en el Oligoceno temprano ) por debajo de las placas norteamericana y del Caribe se generan , en el Oligoceno - Mioceno , los magmas que dan origen a las rocas de la Sierra Madre Occidental .

La FVT en sí tiene su origen, según la mayoría de los autores que la han estudiado, en la existencia de un mecanismo de subducción a lo largo de la fosa de Acapulco (o mesoamericana). Dicho mecanismo inicia su actividad desde el Mioceno tardío cuando el paso del sistema Pacífico - Farallón al sistema Pacífico - Cocos provoca un cambio en el sentido de desplazamiento de la placa de Cocos. Este cambio producido como consecuencia del raito de la cordillera del Pacífico oriental y de un cambio en el polo de rotación de la placa de Cocos, (según Truchan y Larson, 1973, en Demant 1978) proporciona un elemento para explicar la orientación de la FVT."

Con esto quedan dadas las condiciones para que en el Plioceno - Cuaternario se generen los magmas que dieron lugar al segundo evento volcánico de la FVT, y para que los movimientos "neotectónicos" de tipo distensivo dieran lugar a las fosas tectónicas "grabens" de Tepic, Colima y el Bajío (Demant, 1976).

Por otro lado, la actividad tectónica en el reciente ha dado lugar a la generación de sismos someros que se encuentran cerca de la trinchera, y a sismos profundos que se concentran bajo la FVT y en el Istmo de Tehuantepec (Urrutía y Del Castillo, 1977). El sitio del proyecto se encuentra localizado en el límite de la zona penesísmica, en donde los sismos son poco frecuentes, y la zona de focos profundos (generados entre los 60 y 300 Km. de profundidad), con lo cual puede concluirse que la obra estará situada en una zona de bajo riesgo sísmico (ver figura 7).

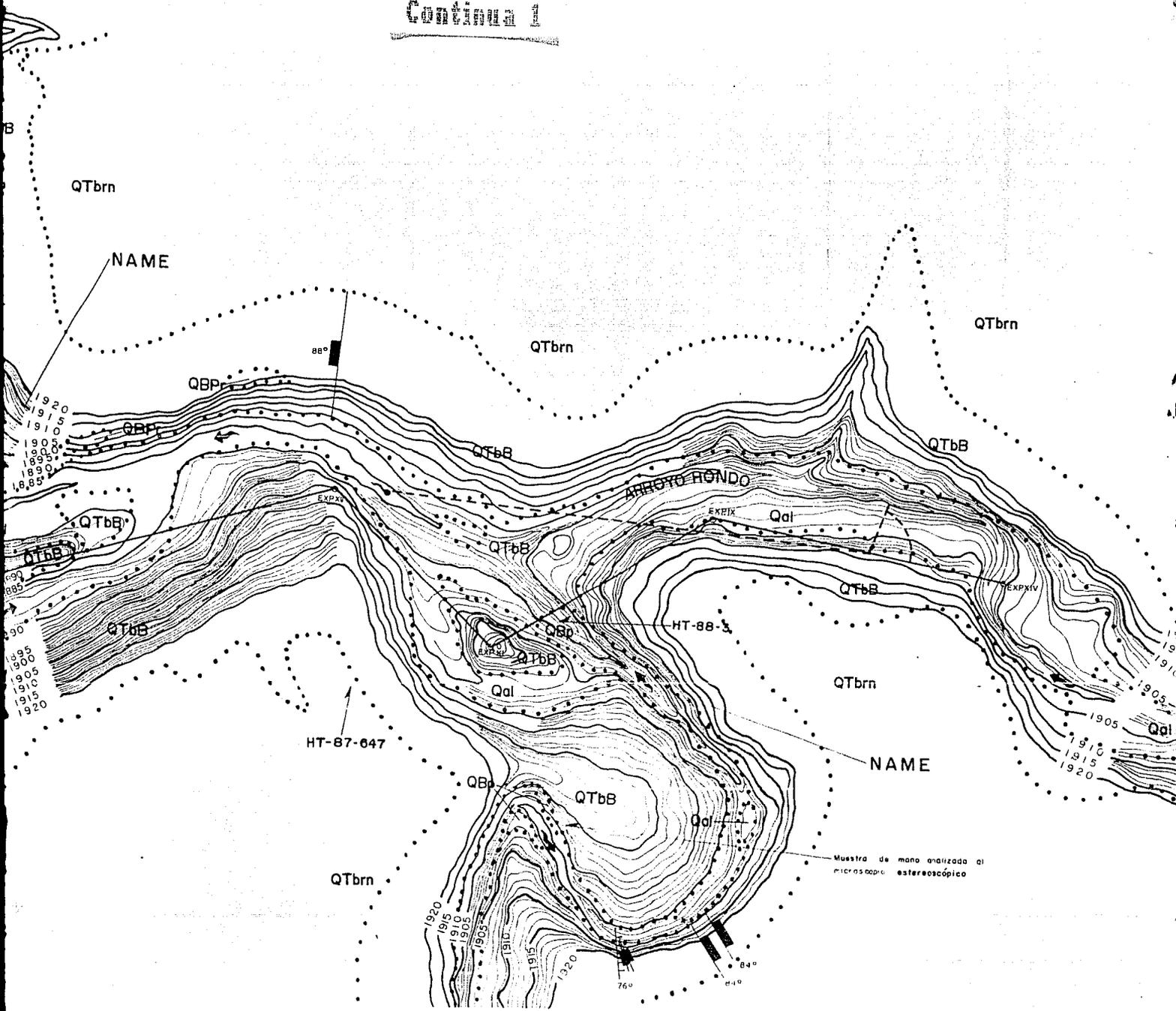
# CAPITULO

## IV

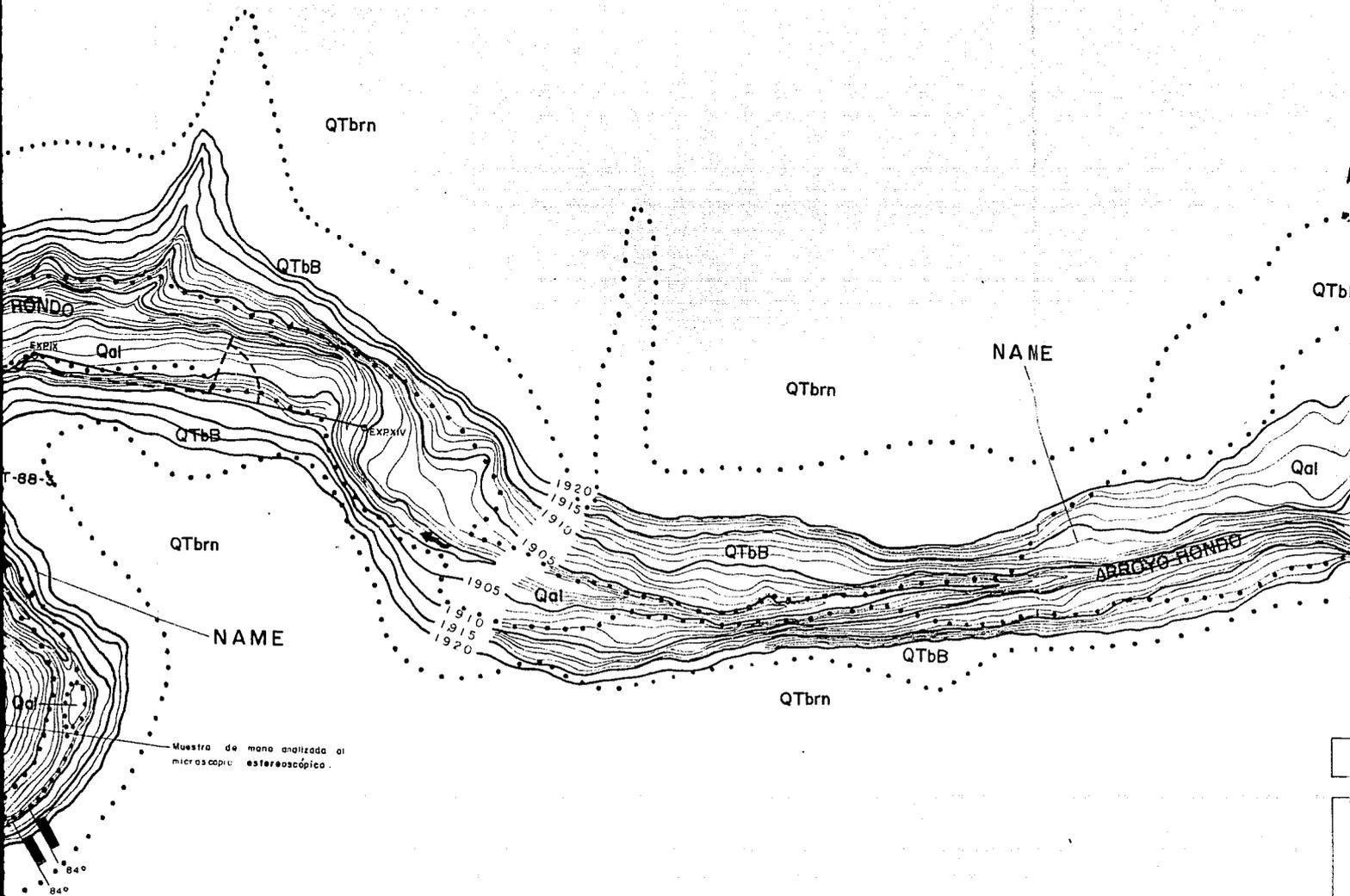


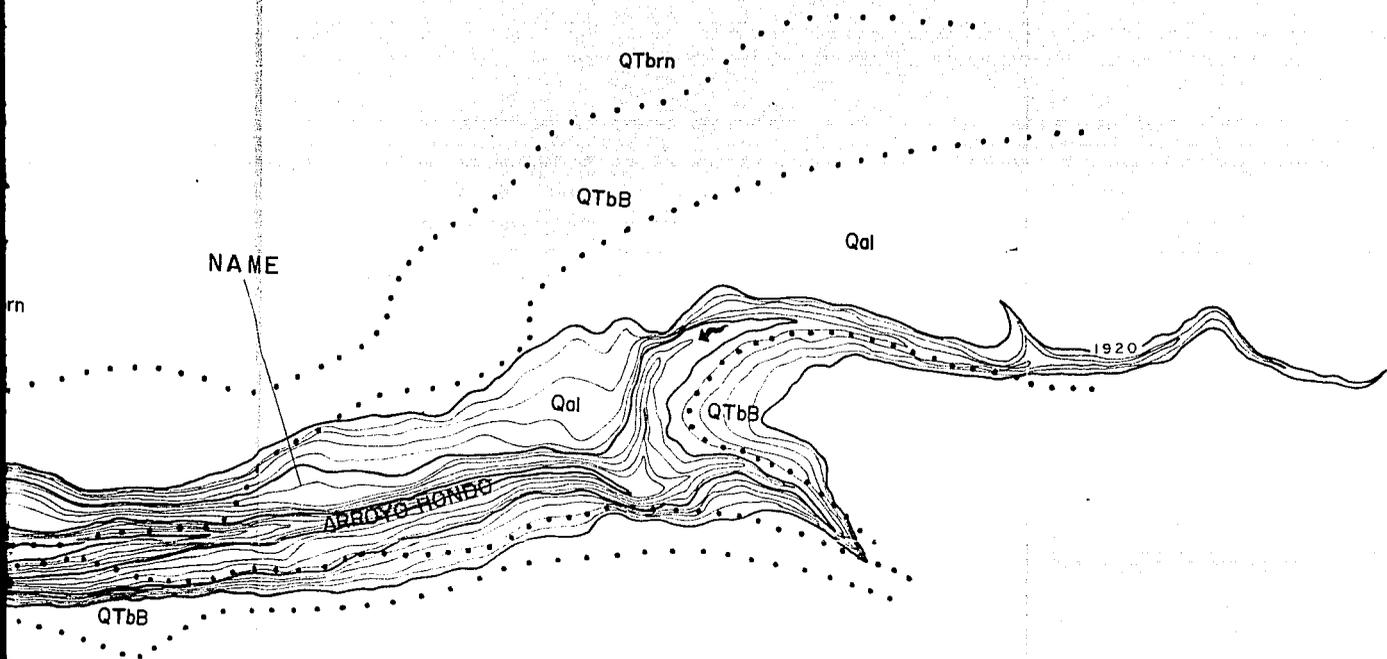


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



-->  
Continua i





### SIMBOLOGIA

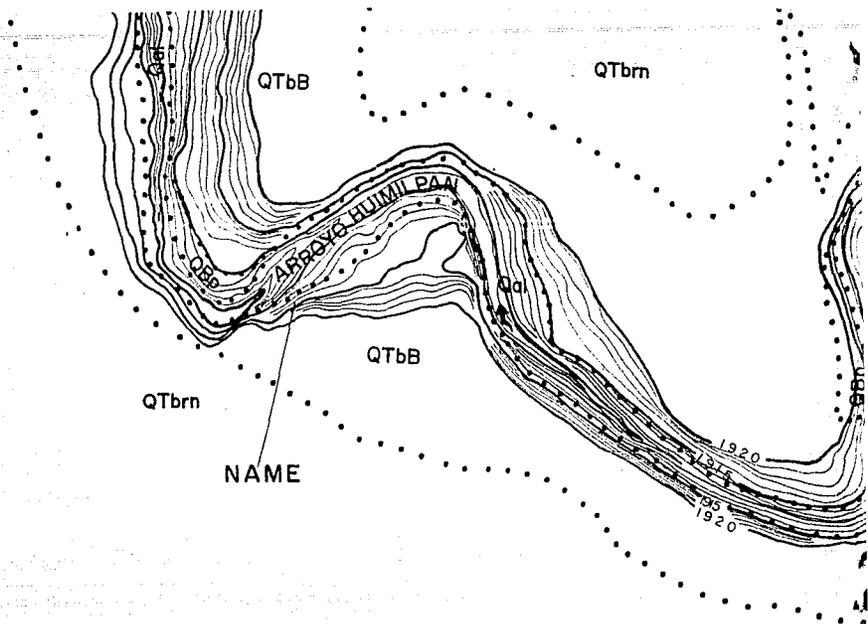
Qal

Aluvión

QT

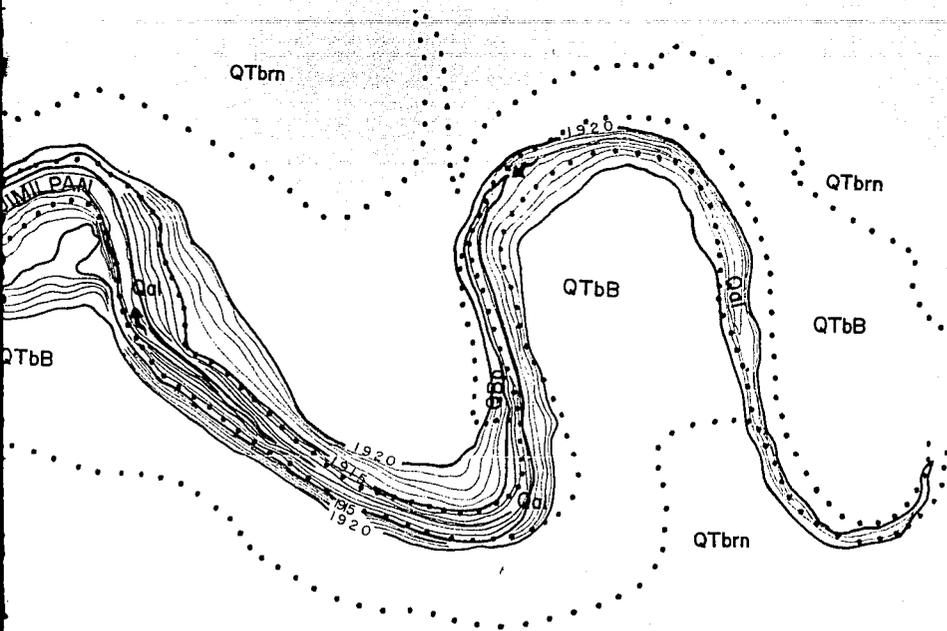
Traquiandesita





0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 metros

ESCALA



PLANO I

	Toba Rancho Nuevo
	Basalto Peña Rajada
	Toba El Batán
	Basalto La Pita
	Aglomerado basáltico
	Basalto Los Arcos
	Contacto litológico
	Falla normal
	Falla normal incierta
	Fractura vertical
	Fractura inclinada, intensidad
	Manantial
	Dirección de flujo del caudal
	Pozo exploratorio y línea de sección
	Túnel
	Clave de la muestra con petrografía

Equidistancia entre curvas de nivel: 1 metro (entre curvas maestras: 5 metros)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGÍA DEL EMBALSE

PROYECTO LOS ARCOS-EL BATÁN

MUNICIPIO DE  
VILLA CORREGIDORA  
QUERÉTARO

BASE TOPOGRÁFICA TOMADA DEL  
PLANO ELABORADO POR LA S.A.R.H.  
EN DICIEMBRE DE 1976.

PLANO I

Herrera Ruíz Homero  
Téllez Pérez Julián

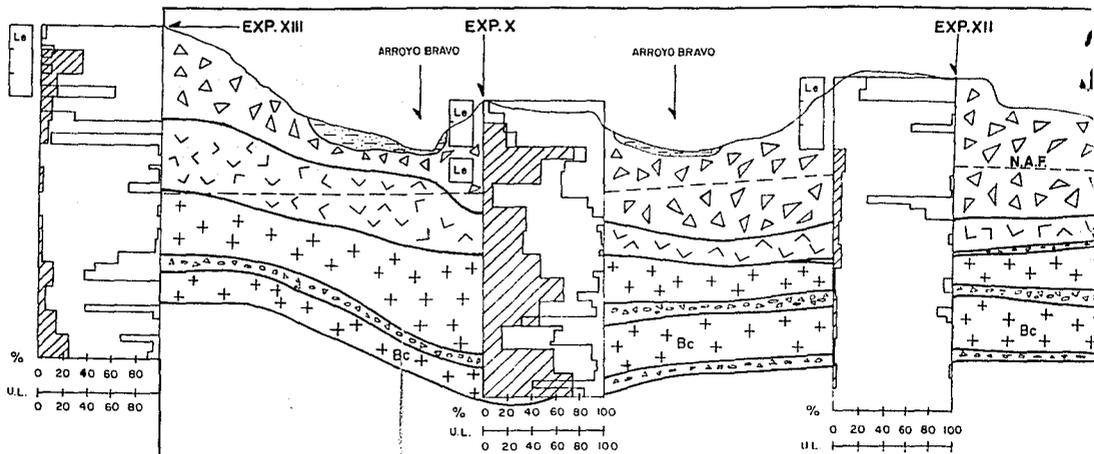
Tesis Profesional  
Octubre 1987-Marzo 1988.

Continúa I

UNIDADES LUGION	PERMEABILIDAD
0-3	Impermeable
4-11	Poco permeable
12-25	Permeable
26-40	Muy permeable
> 40	Altamente permeable

ESCALA HORIZONTAL 1:5000

ESCALA VERTICAL 1:1000



TRAMO(m)	cm/seg.
0-5	$1.93 \times 10^{-4}$
5-10	$3.45 \times 10^{-3}$
10-15	$2.51 \times 10^{-3}$

PRUEBAS LEFRANC

TRAMO(m)	cm/seg.
0-5	$3.01 \times 10^{-4}$
5-10	$4.66 \times 10^{-3}$
12.5-17.5	$1.15 \times 10^{-6}$

PRUEBAS LEFRANC

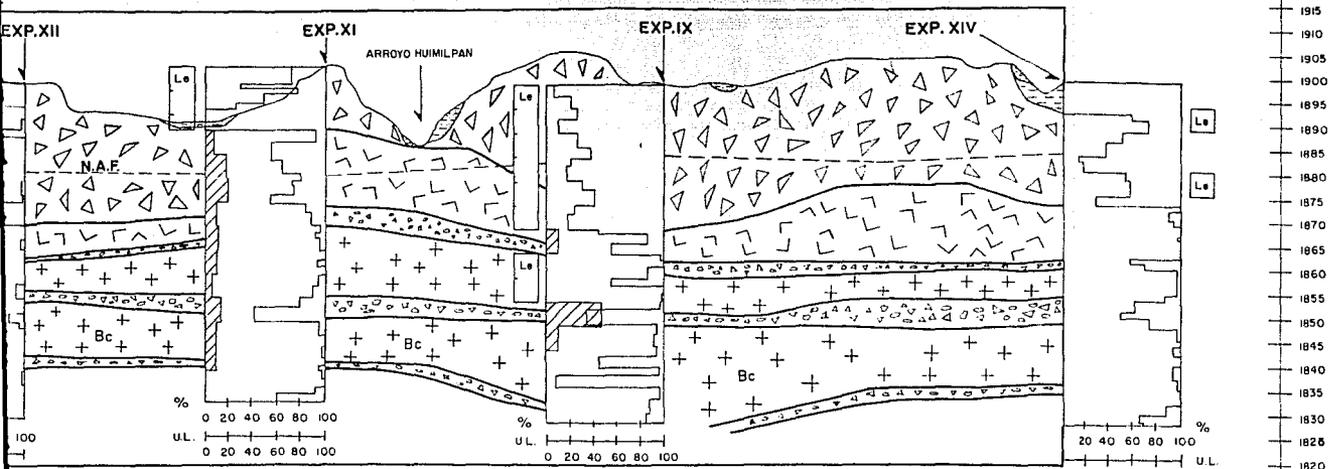
TRAMO(m)	cm/seg.
0-5	$1.26 \times 10^{-5}$
5-10	$2.04 \times 10^{-5}$
10-15	$4.05 \times 10^{-9}$

PRUEBAS LEFRANC



Continúa I

PROYECTO DE OBRAS



10<sup>-5</sup>  
10<sup>-5</sup>  
10<sup>-4</sup>

TRAMO (m)	cm/seg.
0-5	$3.06 \times 10^{-5}$
5-10	$4.4 \times 10^{-5}$
10-15	$3.9 \times 10^{-5}$

PRUEBAS LEFRANC

TRAMO (m)	cm/seg.
0-5	$4.73 \times 10^{-5}$
5-10	$2.48 \times 10^{-5}$
10-15	$7.49 \times 10^{-4}$
15-20	$2.95 \times 10^{-4}$
20-25	$1.7 \times 10^{-4}$
25-30	$5.04 \times 10^{-4}$
36-40	$3.52 \times 10^{-3}$
40-45	$2.14 \times 10^{-3}$

PRUEBAS LEFRANC

TRAMO (m)	cm/seg.
5-10	$3.11 \times 10^{-3}$
18.4-23.4	$4.76 \times 10^{-4}$

PRUEBAS LEFRANC

PLANO IV

UN

Herr  
Téll

## SIMBOLOGIA



Aluvión



Toba El Batán



Basalto La Pita



Toba aglomerática



Basalto Los Arcos



Basalto compacto



Recuperación (en %)



Permeabilidad (pruebas Lugeon)



Permeabilidad (pruebas Lefranc)



Nivel de aguas freáticas (N.A.F.)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

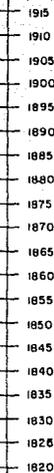
FACULTAD DE INGENIERIA

SECCION GEOTECNICA DEL EMBALSE  
PROYECTO LOS ARCOS-EL BATAN

Herrera Ruíz Homero  
Téllez Pérez Julián

Tesis Profesional

M. S. N. M.

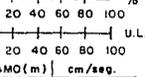


Le

Le

%

U.L.



MO (m)	cm/seg.
0	$3.11 \times 10^{-3}$
23.4	$4.76 \times 10^{-4}$

RUEBAS LEFRANC

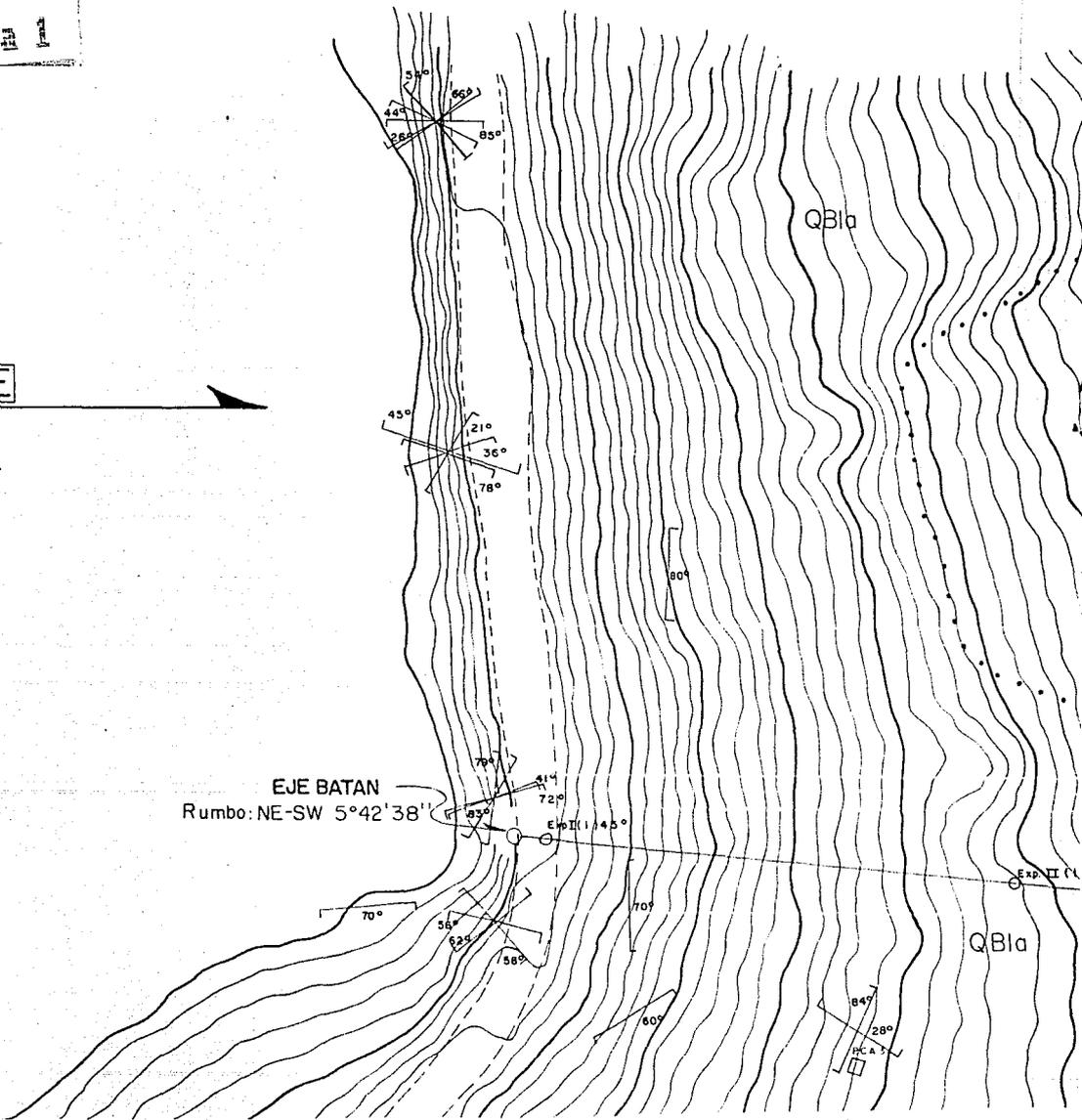
PLANO IV

1000  
900  
800  
700  
600  
500  
400  
300  
200  
100  
0

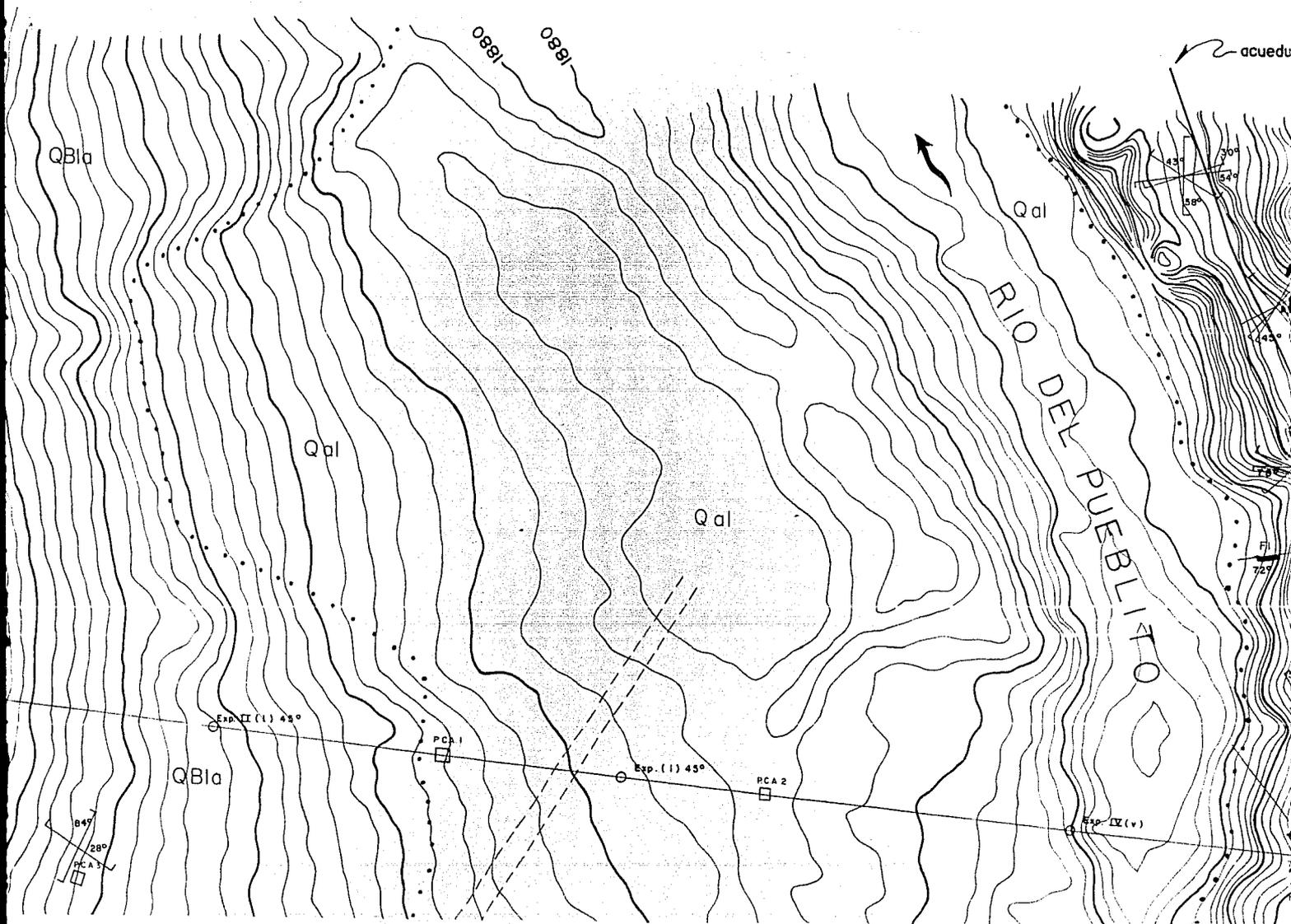
NORTE

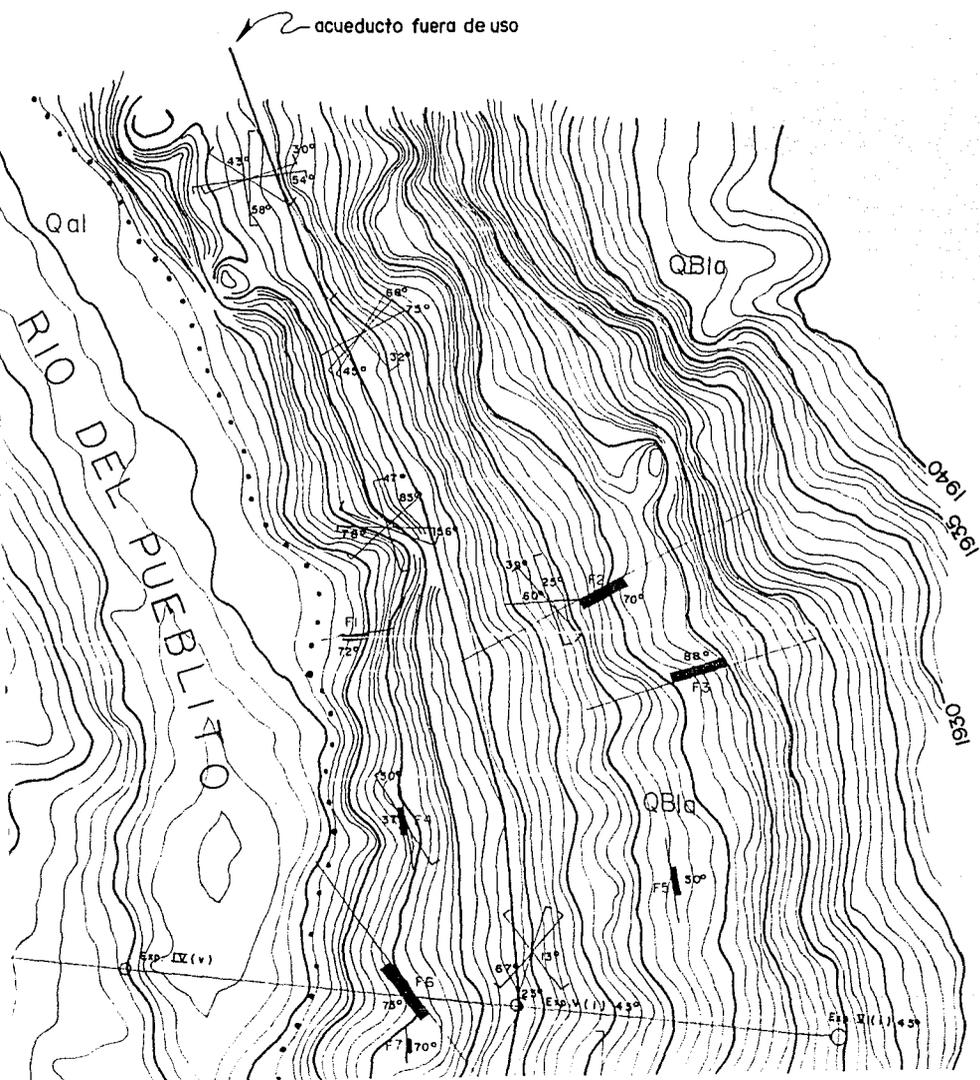
EJE BATAN  
Rumbo: NE-SW 5°42'38"

NAME



Continúa I

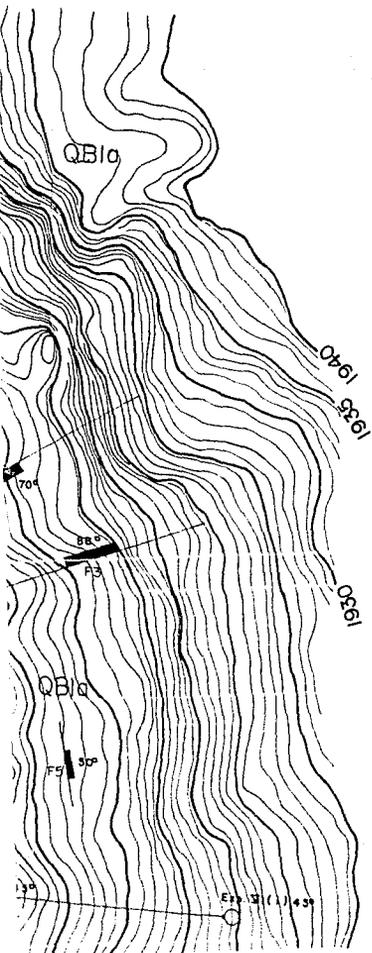




## SIMBOLOGÍA

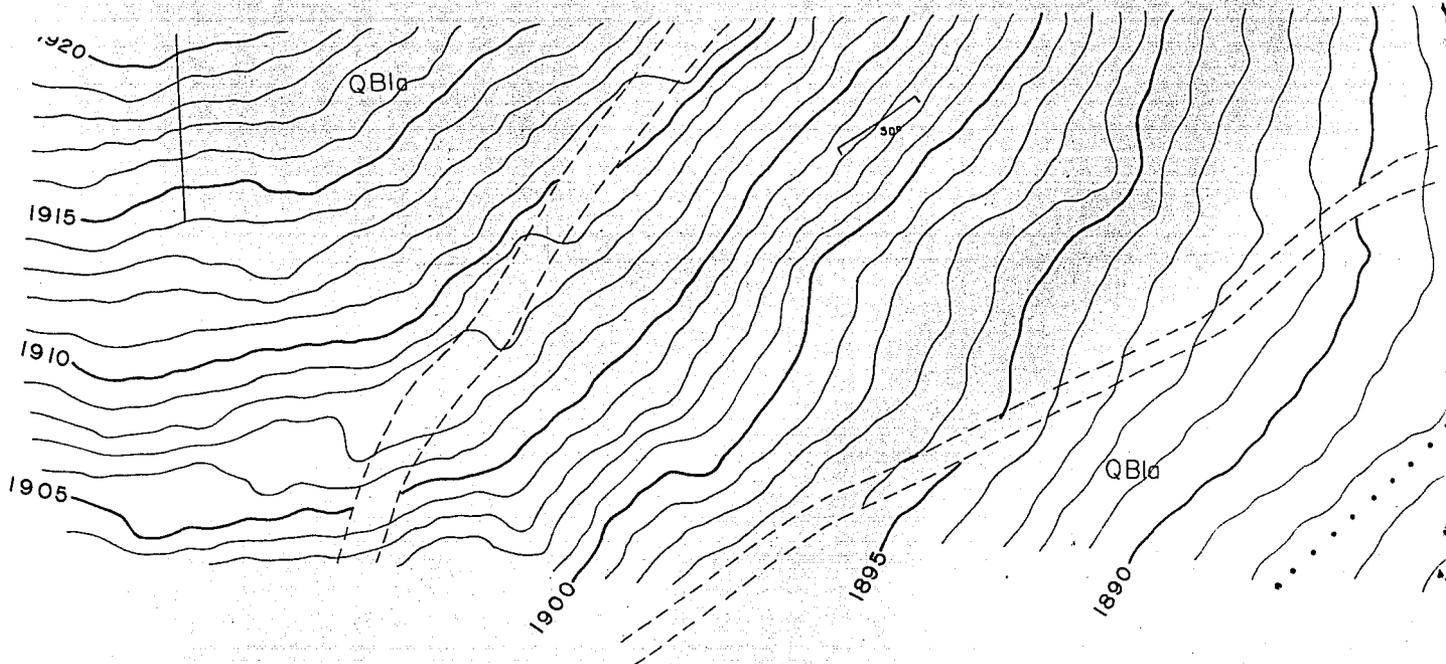


Pozo Exp. III(i) inclinado.



## SIMBOLOGÍA

○	Pozo Exp. III( i ) inclinado.
---	-------------------------------



Continua 1

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 metros



ESCALA

Bla

Qal

Qal

1885

1880

1875

1870

1870

1875

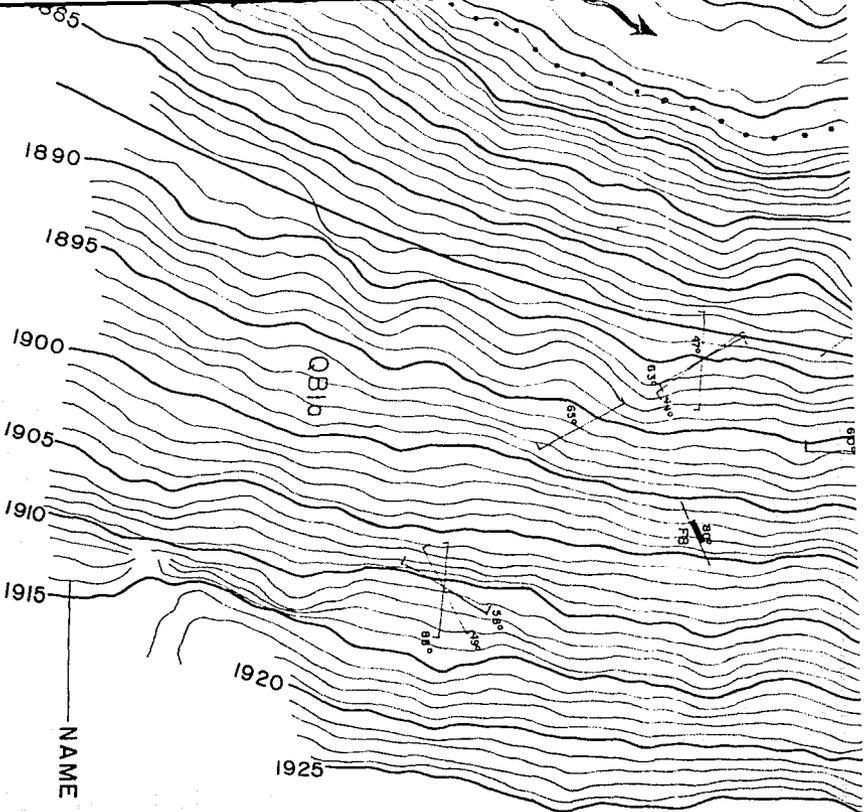
1880

1885

1890

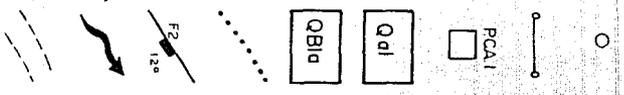
1895

→  
Continued



PLANO II

Continúa I



○ Pozo. Exp. (Z/V) vertical.

—+— Eje cortina.

□ Pozo a cielo abierto.

Aluvión.

Basalto los arcos.

QB1b

Qdl

..... Límite litológico.

F2 12° Fractura.

↗ 34° Irajamiento.

—+— Dirección de flujo del caudal.

- - - - - Camino de terracería.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA

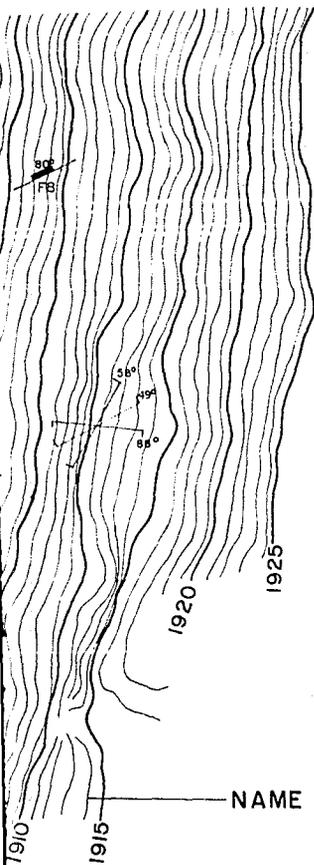
PROYECTO LOS ARCOS-EL BATÁN

MUNICIPIO DE VILLA CORREGIDORA QUERÉTARO

BASE TOPOGRÁFICA TOMADA EN EL PLANO ELABORADO POR LA S.A. EN DICIEMBRE DE 1976.

Herrera Ruiz Homero  
Tellez Pérez Julían

Tesis Profesional  
Octubre 1987-Marzo 1988



-  Pozo Exp. IV (v) vertical.
-  Eje cortina.
-  PCA I  
Pozo a cielo abierto.
-  Aluvión.
-  Basalto los arcos.
-  Límite litológico.
-  Fractura.
-  34°  
lajeamiento.
-  Dirección de flujo del caudal.
-  Camino de terracería.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA

PROYECTO LOS ARCOS-EL BATÁN

MUNICIPIO DE  
VILLA CORREGIDORA  
QUERÉTARO

BASE TOPOGRÁFICA TOMADA DEL  
PLANO ELABORADO POR LA S.A.R.H.  
EN DICIEMBRE DE 1976.

Herrera Ruíz Homero  
Téllez Pérez Julián

Tesis Profesional  
Octubre 1987-Marzo 1988

PLAN O II

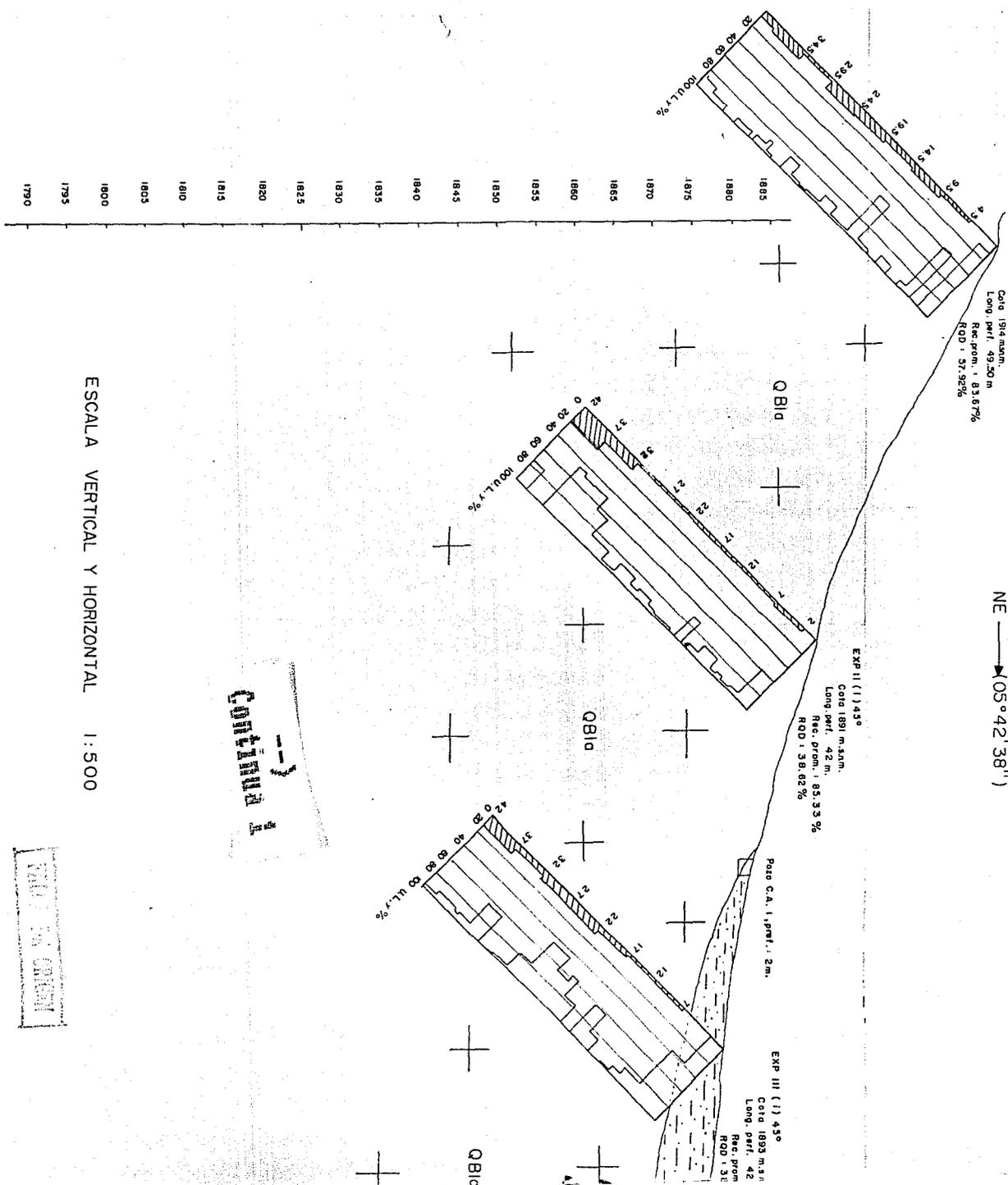
NE ———> OS° 42' 38"

EXP I (1) 45°  
Cota: 1914 mm.  
Long. perf.: 49.50 m  
Rec. prom.: 1.83.67%  
R.O.D.: 37.92%

EXP II (1) 45°  
Cota: 1891 m. a.s.m.  
Long. perf.: 42 m.  
Rec. prom.: 85.33%  
R.O.D.: 38.82%

Paso C.A.: 1, perf.: 5m.

EXP III (1) 45°  
Cota: 1893 m. a.s.m.  
Long. perf.: 42  
Rec. prom.: 85.33%  
R.O.D.: 38.82%



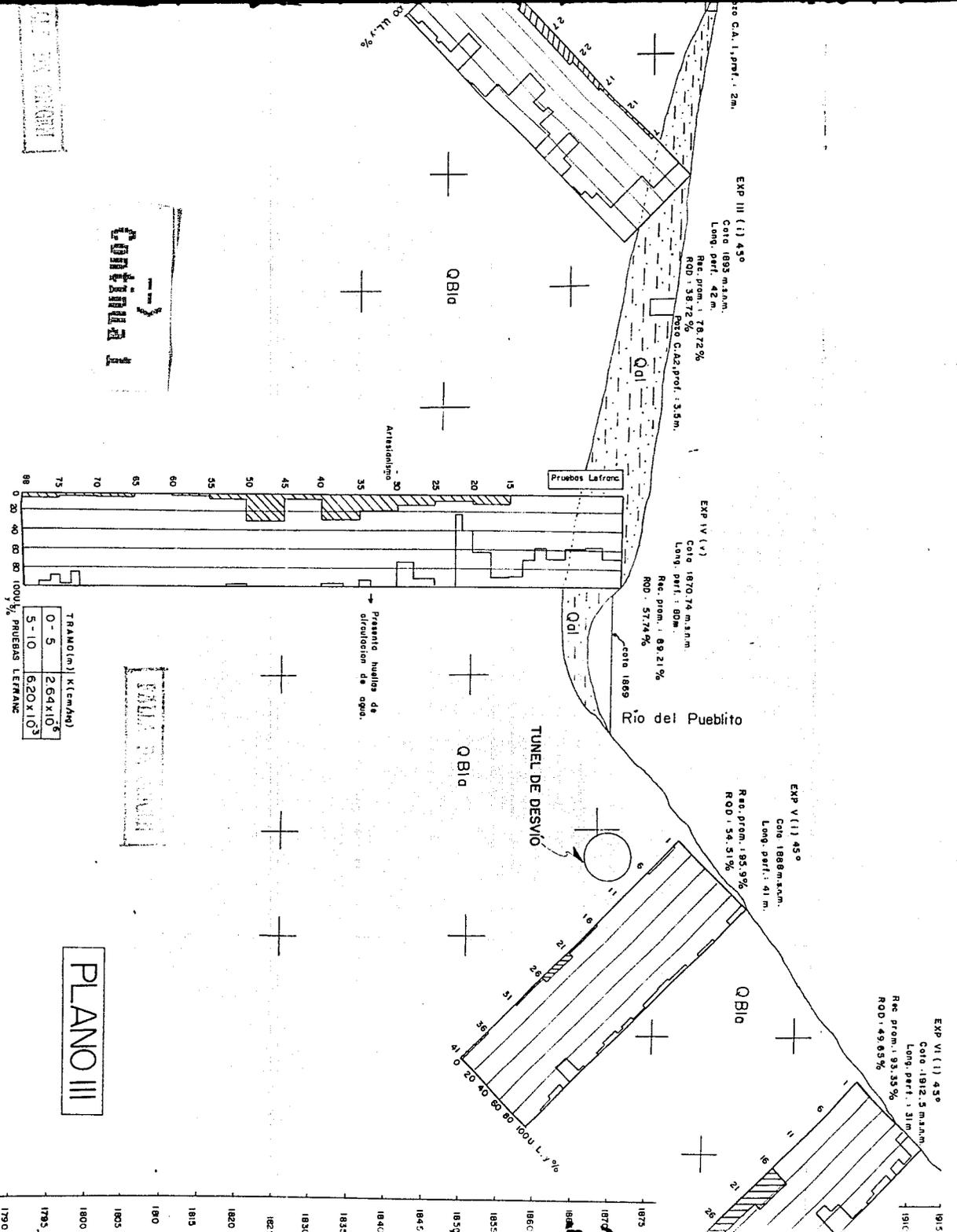
ESCALA VERTICAL Y HORIZONTAL 1:500

Continúa

ENCUENTRO DE CARRETERAS

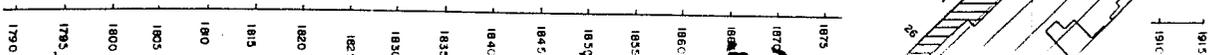
ESTADO DE GUATEMALA

Continúa



TRAMO (m)	Kilómetros
0 - 5	264x10 <sup>5</sup>
5 - 10	620x10 <sup>3</sup>

PLANO III



EXP VI (1) 45°  
 Cota: 1912.3 m.s.n.m.  
 Long. perf.: 31 m  
 Rec. prom.: 93.35%  
 RQD: 49.63%

1915  
 1910

EXP V (1) 45°  
 Cota: 1889 m.s.n.m.  
 Long. perf.: 41 m.  
 Rec. prom.: 95.9%  
 RQD: 54.31%

QBla

UNIDADES LUGEON	PERMEABILIDAD
0-3	Impermeable
4-11	Poco permeable
12-25	Permeable
26-40	Muy permeable
>40	Altamente permeable

DESVÍO

1875  
 1870  
 1866  
 1860  
 1855  
 1850  
 1845  
 1840  
 1835  
 1830  
 1825  
 1820  
 1815  
 1810  
 1805  
 1800  
 1795  
 1790

## SIMBOLOGÍA

 Aluvión

 Basalto Los Arcos

 Permeabilidad (U.L.)

 Recuperación en %

PLANO III

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
 DE MÉXICO.

SECCIÓN GEOTÉCNICA DE LA BOQUILLA.

PROYECTO LOS ARCOS EL BATÁN, GRO.

HERRERA RUÍZ HOMERO.

Tesis Profesional

TÉLLEZ PÉREZ JULIAN.

Facultad de Ingeniería.

Octubre 1987-Marzo 1988.

## CAPITULO IV

### ASPECTOS GEOTECNICOS

#### La Boquilla ( PLANO II ).

En esta área se reconoce unicamente una unidad litológica que abarca ambas márgenes y en la cual la cortina estará desplanada. Se trata del basalto Los Arcos (QBl<sub>a</sub>), sobre el que los procesos erosivos han labrado un perfil francamente asimétrico (plano III) y que constituye una roca de excelente calidad.

**Discontinuidades.** Estructuralmente la boquilla está afectada por varios sistemas de diaclasamiento que varían de moderado a intenso y por un fracturamiento que en ocasiones se confunde con el diaclasamiento. El fracturamiento es más bien escaso y no es de gran importancia por las dimensiones que presenta ya que, si bien algunas fracturas tienen una longitud mayor a los 30 metros (fracturas F2, F3 y F6, en el plano II) y hasta 45 cm de ancho (fracturas por arriba del NAME), todas ellas se encuentran bien selladas (por suelo arcilloso en un 40% y material detrítico en un 60%), además de que a medida que profundizan en la roca se van estrechando.

El espaciamiento entre las discontinuidades varía de 30 a 15 cm, donde el diaclasamiento es moderado, y de 15 a 5 cm, donde el diaclasamiento es intenso. Para este caso (diaclasamiento intenso) el tamaño de los fragmentos rocosos varía desde pequeños bloques al de gravas gruesas; donde existe un espaciamiento moderado los bloques presentan un tamaño promedio de 20 a 30 cm y una forma tabular.

La apertura de las diaclasas en la zona de la boquilla varía de 0.5 a 10 mm, siendo en promedio de 2 mm. Estas discontinuidades se encuentran rellenas por material arcilloso principalmente y, en menor proporción material detrítico; en todas las diaclasas observadas, a medida que éstas se profundizan se van cerrando o estrechando (la abertura).

Las diaclasas observadas en pozos a cielo abierto, o en cortes del camino muestran que su persistencia es mayor a los 2 metros.

Con base a las características de éstas discontinuidades y con apoyo en la información del subsuelo (perfil geotécnico), la unidad Los Arcos resulta ser impermeable.

**Geodinámica externa.** Dadas las características litológicas y estructurales que presenta la boquilla, no son previsibles fenómenos de derrumbes en las laderas pues resultan ser estructuralmente estables. Es de mencionarse que por cuestiones de litología, a unos 100 metros aguas abajo del eje y en la ladera izquierda existe la posibilidad del desprendimiento de un bloque de grandes dimensiones de la toba El Batán, el posible desprendimiento de este bloque no dañaría a la cortina, pero sí en cambio afectaría al camino que da acceso al sitio.

Cambios provocados en cuanto a la estabilidad de la roca

que estará bajo el NAME y arriba de él no los habrá. El basalto Los Arcos, que es la unidad aflorante en la boquilla, es una roca resistente a la compresión y al esfuerzo cortante y desde luego a las condiciones de inundación a las que estará sometida por la construcción de la cortina. La roca se encuentra prácticamente sana presenta solamente una pequeña costra de intemperismo cercana a los 2 mm.

Geodinámica interna. Asociada a la boquilla no se encuentra ningún tipo de actividad geodinámica interna que considerar, dado que no se observaron señales directas o indirectas de fallamiento activo o vulcanismo, así como tampoco se observaron evidencias que nos lleven a concluir que el sitio ha sido afectado por sismicidad o tectonismo.

#### El Embalse ( PLANOS I y IV ) .

Se reconocen en el embalse 5 unidades litológicas, de las cuales 3 quedarán inundadas al alcanzarse el nivel de aguas máximas extraordinarias ( NAME ). Estas unidades son el basalto Los Arcos, el basalto La Pita y la toba El Batán ( unidades a inundarse ); la toba Rancho Nuevo y la traquiandesita quedarán por encima del NAME .

Discontinuidades. El basalto Los Arcos (QB1a), se encuentra afectado por el diaclasamiento del que se hizo mención al hablar de las discontinuidades en el Área de la boquilla. Este diaclasamiento es extensivo a toda la unidad tanto lateral como verticalmente, es decir, tanto en superficie como a profundidad.

En el periodo comprendido de enero a mayo de 1988, la Compañía Carolus Perforaciones, S.A. ha efectuado 5 sondeos en varios puntos en los alrededores de la boquilla, de los que hasta el momento no se tiene información formal. Sin embargo, durante la realización de uno de estos pozos exploratorios, los autores del presente trabajo pudimos constatar la presencia de un moderado diaclasamiento-fracturamiento a todo lo largo de la columna perforada ( 57.8 metros ) y que cortó únicamente al basalto Los Arcos. Por otra parte, las exploraciones efectuadas en 1979, indican que " en general este basalto se encuentra fracturado en todos los pozos en que fue cortado y a lo largo de todo su espesor."

El basalto La Pita es la unidad que se encuentra más sana de entre aquellas que quedarán inundadas. En superficie presenta un ligero fracturamiento que define tres patrones ( ver estratigrafía ), y a profundidad, según pozos exploratorios, se presenta fracturado a todo lo largo de su espesor excepto en un tramo de 7.6 metros ( a una profundidad de 29 metros ) en la exploración XII (plano IV). Sin embargo este fracturamiento, como se observa en superficie, no es de grandes dimensiones, pues en general el ancho de las fracturas es de 2 mm.

De las unidades a inundarse, la toba El Batán es la que deberá tener mayores consideraciones, tanto del punto de vista litológico como del punto de vista estructural. Las discontinuidades que aquí se presentan son fallas, fracturas y contactos litológicos.

Dado que es una de las unidades con mayor superficie de afloramiento, es posible apreciar en ella grandes fracturas que abarcan todo su espesor observable, como ocurre en las paredes que esta unidad forma en la ladera izquierda del arroyo Bravo y en las laderas derechas del arroyo Huimilpan y del arroyo Hondo. Este fracturamiento se continúa a profundidad según se observa en los pozos exploratorios efectuados en diversos puntos del embalse. Sólo en la exploración XII se encontró un tramo de 25.6 metros en el que la unidad aparece sana (Plano IV).

El fracturamiento de la toba El Batán, aunado a su bajo grado de cementación da lugar al constante desprendimiento de bloques, sobre todo en aquellos puntos en los que la roca forma paredes verticales (fotografía 2).

Respecto a la presencia de fallas, estas son más bien escasas y de pequeñas dimensiones (poca longitud). El afallamiento que se observa es del tipo normal en todos los casos, afecta a todo el espesor observable de la toba El Batán y se considera que se debe a la compactación diferencial del material piroclástico del que está compuesta. Existe una falla en la ladera derecha del arroyo Huimilpan y dos en la ladera izquierda del río del Pueblito. El salto de estas fallas varía entre 0.5 y 1 metro y sólo en el caso de la falla más cercana a la boquilla se observa un salto aproximado de 5 metros.

Las fallas antes mencionadas no representan puntos importantes de fuga, ya que su abertura es mínima (no mayor a los 5 centímetros) y se encuentran rellenas por material arcilloso y arenoso que las sellan.

Otro tipo de discontinuidades que se aprecian en la toba El Batán son los contactos litológicos de los horizontes arenosos que se observan dentro de la unidad. Sin embargo estos contactos no representan problema alguno dado que son todos horizontales y no existe, por lo tanto, ninguna separación que pueda constituir algún plano de deslizamiento o punto de fuga.

La última unidad a inundar que aquí se considera es un aglomerado basáltico que se localiza a unos 400 metros aguas arriba del eje, en ambas laderas del río del Pueblito.

En esta unidad no se observa ningún tipo de discontinuidad de importancia, fuera de la falla que la pone en contacto con la toba El Batán. Es por lo tanto, una litología sana que no representa ningún problema estructural.

**Geodinámica externa.** Dadas las características litológicas, estructurales y morfológicas de la unidad El Batán, es previsible el comportamiento inestable de las laderas que conforma. La toba El Batán se encuentra escasamente cementada y litificada, el poco cementante que presenta es de carbonato de calcio - material soluble en agua - y por otra parte, se trata de una roca que presenta todo tipo de discontinuidades (fracturas, fallas y contactos litológicos) que junto con sus características morfológicas (algunas laderas de los arroyos Bravo, Huimilpan y Hondo, forman paredes verticales) hacen de esta unidad un cuerpo muy inestable bajo la acción de la gravedad en el actual estado seco por lo que cabe esperar un comportamiento aún más inestable al quedar inundada.

La unidad litológica denominada toba Rancho Nuevo, aún

cuando se localiza por arriba del NAME, puede verse afectada indirectamente debido a que descansa sobre la toba El Batán y con ello, pueden generarse fenómenos de remoción masiva por inestabilidad del sustrato pues si bien la toba Rancho Nuevo es una roca sumamente fuerte, existen en ella algunas fracturas que dan lugar a bloques de grandes dimensiones ( 3 a 8 metros cúbicos aproximadamente ) cuya estabilidad depende del sustrato.

Así, las áreas del embalse que por ésta causa resultan en laderas inestables son : la ladera izquierda del arroyo Bravo, entre las cotas 1905 y 1920 ; la ladera derecha del arroyo Huimilpan cerca de su confluencia con el arroyo Hondo, entre las cotas 1900 y 1920 y la ladera derecha del arroyo Hondo cerca de su confluencia con el arroyo Huimilpan, entre las cotas 1905 y 1920, ( ver geología del embalse ).

**Geodinámica interna.** Aún cuando la región en la que se encuentra el proyecto es de actividad geológica reciente, no se detectó en los alrededores del sitio falla activa alguna o vulcanismo que pudiera afectar el funcionamiento de la obra.

Del mismo modo el tectonismo, si bien ha dejado evidencia de su actividad en el Cuaternario ( el encajonamiento de los ríos mayores, p.e. ) no se encontró evidencia ni registro bibliográfico alguno que indique movimiento tectónico de consideración para el proyecto.

**Sismicidad.** El sitio del proyecto está localizado en la zona penesísmica en donde los sismos son poco frecuentes ( Figueroa, J., 1959 ), pero en las cercanías del único foco sísmico que se tiene registrado a 210 Km. del sísmológico de Tacubaya, localizado a los 20° 32' latitud norte y 100° 42' longitud oeste ( el eje Batán se localiza a los 20° 30' latitud norte y 100° 26' longitud oeste ); este foco sísmico dió lugar a un sismo que tuvo una magnitud de cinco grados en la escala de Richter. El foco es poco profundo ( menor a los 60 Km. ), En el lapso comprendido entre 1927 y 1959, este punto se ha movido una sola vez. Según Esteva ( 1970 ) el sitio se localiza en lo que él denomina zona de baja sismicidad, ( ver figuras 7 y 8 ).

**Permeabilidad.** Del embalse, el aspecto geotécnico más discutido y, por lo tanto el más estudiado, es el referente a la permeabilidad. El embalse es de poco a regularmente permeable de acuerdo a la litología considerada, siendo permeable en la unidad toba El Batán, miembro arenoso ( hasta 4.66 x 10 cm/seg. en pruebas Lefranc y hasta 46.0 unidades Lugeon ) e impermeable en la unidad La Pita y en la parte superior ( hasta los 30 metros de profundidad ) del basalto Los Arcos.

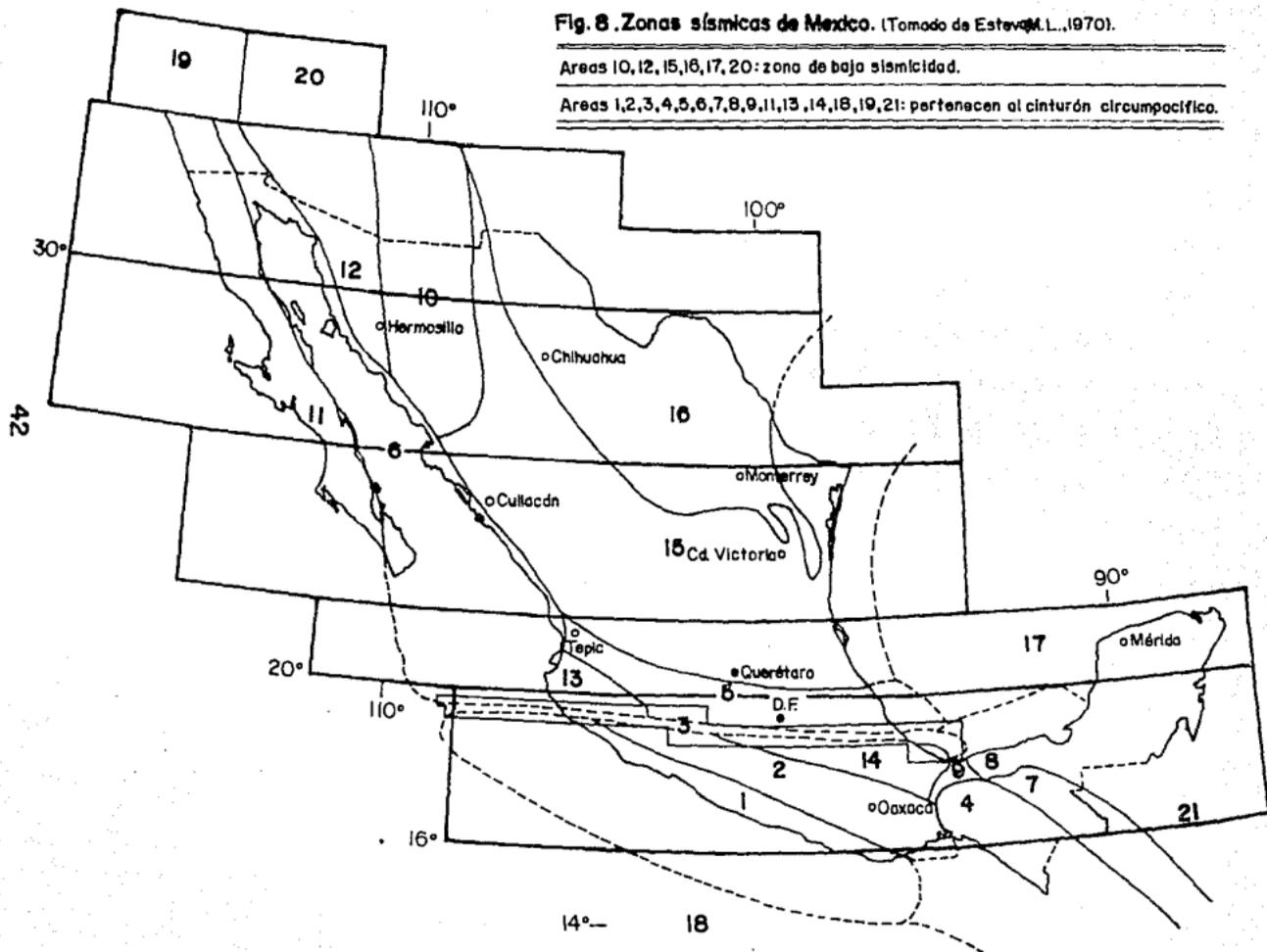
En parte del terreno que abarca el vaso, existe un manantial ( Molina, C., 1987 ) que descarga sus aguas en el arroyo Hondo ( manantial San Francisco ) y que está ligado, este último, a la unidad toba El Batán, miembro arenoso. Pozos perforados son productores en los sitios donde cortan al acuífero contenido en la toba, otros pozos perforados con el mismo fin han resultado estériles donde cortan ya sea roca basáltica o andesítica. En base a estos pozos, pruebas de aforo y geología superficial, se

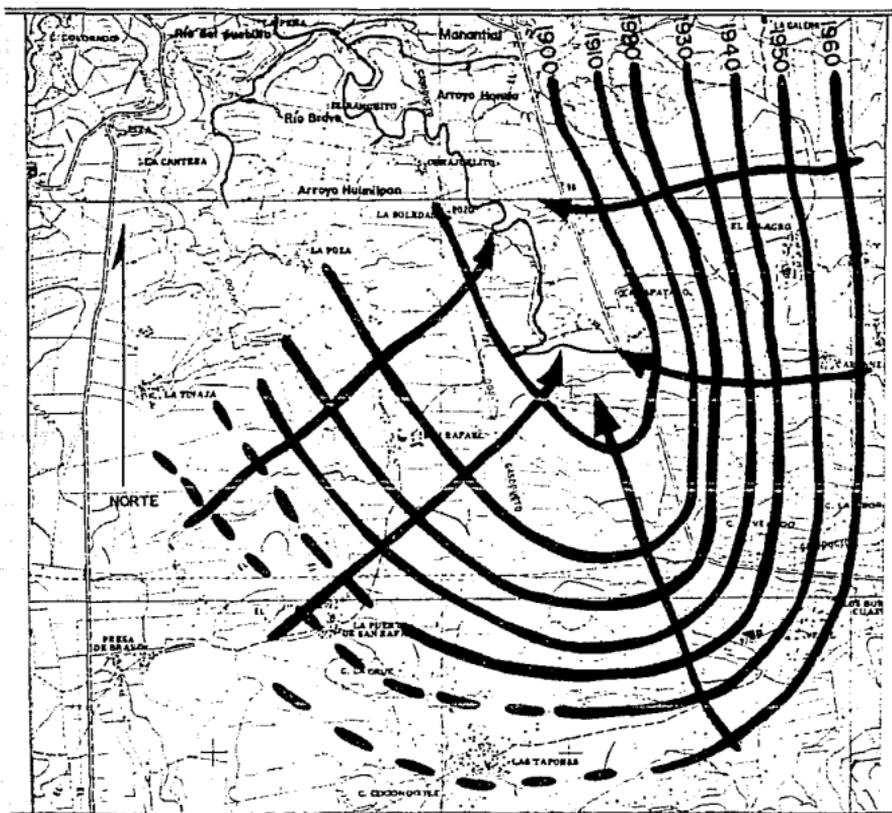


Fig. 8. Zonas sísmicas de México. (Tomado de Esteva, M.L., 1970).

Áreas 10, 12, 15, 16, 17, 20: zona de baja sismicidad.

Áreas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 19, 21: pertenecen al cinturón circumpacífico.





CURVA DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO 1900  
 DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

ESCALA 1:50 000

FIG. 9 RED DE FLUJO SUBTERRANEO DE LA ZONA EL BATAN  
 (Tomado de Moine, 1987)

ha podido interpretar tentativamente la distribución espacial del acuífero , así como la red de flujo del mismo en el lugar de estudio .

Esta red de flujo ( ver figura 9 ) señala que el acuífero del que proviene el agua del manantial San Francisco , constituye un cuerpo que confluye hacia los ríos Hondo y del Pueblito que forman parte del embalse , y es esta condición la que permite afirmar que no existe posibilidad de fuga en el embalse , aún cuando la toba El Batán presenta permeabilidad , además de la existencia de una unidad impermeable que la subyace ( basalto La Pita ) . Es decir , si la toba arenosa representa una condición desfavorable para el almacenamiento del cuerpo de agua , las condiciones geohidrológicas y de permeabilidad de la unidad que la subyace representan el aspecto favorable que contrarresta la primera condición ( la permeabilidad ) de manera que sólo quedará esperar la saturación casi total de la toba El Batán ( en el Área que abarca el embalse ) para que el vaso comience a acucular . Estudios recientes realizados por la Comisión Federal de Electricidad ( 1988 ) , determinaron que el agua proveniente de los acuíferos al sur de la ciudad de Querétaro es de origen meteórico .

#### Materiales de construcción .

**Arcillas .** Para el corazón impermeable de una cortina de materiales graduados se requieren materiales arcillosos que se encuentren en las cercanías del sitio de la obra . En los alrededores inmediatos del embalse no se encuentran suelos arcillosos aprovechables debido a su escaso volumen y a que en su mayoría están siendo aprovechados en cultivos . Por ello , se buscaron por cartografía y fotogeología posibles sitios que deberán ser sujetos de cubicación para la determinación del volumen requerido . Estos sitios son : los alrededores de Villa del Pueblito que constituye una planicie de acumulación de los sedimentos acarreados fluvialmente a partir de los cerros que se localizan al sur de este poblado . Otro posible banco de materiales arcillosos se localiza sobre la carretera federal número 45 ( carretera de cuota Querétaro - Celaya ) a 2 kilómetros de la salida de la Cd. de Querétaro .

**Enrocamientos .** En la parte superior de la ladera de la margen derecha del río del Pueblito a 500 metros a NW del eje Batán , se encuentra el poblado San Francisco , justo a 350 metros al sur de este lugar , se localiza un banco de material constituido por un basalto de buena calidad aunque ligeramente lajeado . Este banco ha sido cubicado y proporciona 1.5 veces el volumen de roca que se requerirá para la cortina ( Maya , F. , comunicación oral ) . Este banco proveerá de materiales de enrocamiento del tamaño de bloques de 30 a 75 cm . Asimismo , existe la posibilidad de explotar roca a partir de otro banco , localizado sobre el cauce del arroyo Huimilpan y al que se tiene acceso a través de la carretera pavimentada a Huimilpan . El material es un basalto negro ( basalto La Pita ) que tiene un espesor total de 16.5 metros y un espesor aflorante de 4 metros , con una

extensión aproximada de 340 metros y un ancho promedio de 45 metros y proporciona bloques de más de un metro cúbico . Para comprobar un volumen suficiente de roca en este banco se requiere cubicar con precisión la unidad.

**Agregados** . Los tamaños de los agregados varían desde el de arenas al de pequeños bloques , siendo el tamaño de arena a grava el que comunmente o el que con mayor frecuencia se utiliza.

La unidad basalto Los Arcos presenta varios sistemas de discontinuidades ( 4 sistemas ) , los cuales forman independientemente tamaños variados de bloques dado el espaciamiento que hay en cada sistema y el que existe entre ellos mismos en conjunto ; llegándose a formar especies de cuerpos geométricos , algo parecido a un poliedro ( fotografía No. 5 ) producto de la orientación , espaciamiento e intersección de estos cuatro sistemas de diaclasamiento .

Por lo tanto , el tamaño de los agregados en esta unidad varía , ya que no es homogéneo en cuanto a forma , tamaño y por consiguiente a la clasificación de estos . Para poder obtener el tamaño necesario ( arena y/o grava ) según se requiera , la roca tendrá que triturarse .

El material de acarreo , como ya se mencionó ( ver estratigrafía ) , varía desde fragmentos rocosos del tamaño de bloques hasta arcillas . Si bien los fragmentos rocosos pueden ser útiles para agregados por su tamaño , la diversidad en la composición de los mismos obligaría a hacer antes una selección de materiales ( pues existen rocas silíceas ) y entonces , muy probablemente , las rocas útiles ( los basaltos ) resultarían insuficientes .

En términos generales , se puede decir que existen materiales ya sea para una estructura deformable o para una estructura rígida .

# CAPITULO

# V





Fotografía 5. Pozo a cielo abierto (P.C.A. 3) ubicado en la margen izquierda en la zona de la boquilla, donde se observa el diaclasamiento desarrollado en el basalto Los Arcos . La acción de la intemperie ha dado lugar a formas exfoliadas.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones .

Aún cuando en el sitio se presentan condiciones aparentemente adversas , existen algunos factores que nos permiten asegurar la viabilidad del proyecto :

-Desde el punto de vista topográfico , el lugar elegido para la obra resulta ser adecuado , ya que el sitio para la cortina es estrecho y aguas arriba de este punto el valle se amplía dando lugar a un vaso morfológicamente adecuado que asegura el volumen de almacenamiento requerido .

-En lo que se refiere al espesor de depósitos aluviales en la boquilla , estos resultan ser mínimos , pues si bien en la ladera izquierda se alcanza un espesor de 7.4 metros , lateralmente éste no es muy grueso por lo que los trabajos de limpieza no tendrán un costo alto .

-En el aspecto relativo a la calidad de la roca en el sitio de la cortina no representa problema alguno , ya que se trata solamente de una unidad litológica que , aún cuando presenta un intenso diaclasamiento - fracturamiento , este tiende a disminuir a profundidad y además se infiere que esta litología es suficientemente resistente a la compresión y al esfuerzo cortante .

-Con respecto a la permeabilidad el macizo rocoso que soportará , además de la cortina , la mayor carga hidráulica , resultó ser de permeable a impermeable ( según pozos exploratorios I , II , III , IV , V y VI ) , lo que garantiza una barrera confiable en este aspecto .

-La estabilidad de las laderas en la boquilla es excelente aún en la margen derecha donde la pendiente es mayor a los 30° y en donde el rumbo del echado del diaclasamiento principal es contrario a la pendiente del terreno , por lo que no se afecta la estabilidad de esta ladera .

Así , en base a lo mencionado en los párrafos anteriores , se puede concluir que :

- La unidad toba El Batán en sus miembros arenoso y arcillo-arenoso funciona como un acuífero libre en el que las líneas de flujo van hacia el cauce del río del Pueblito .

-Las unidades La Pita y Los Arcos que subyacen a la toba El Batán , son prácticamente impermeables y representan un sello litológico que garantiza el almacenamiento .

- La posibilidad de fugas por causas estructurales tanto en la boquilla como en el embalse es mínima , pues no se detectaron discontinuidades de importancia que dieran lugar a fugas , aunque por otro lado hay que considerar la posible existencia de una falla normal a 440 metros aguas arriba del eje .

- El acuífero que proporcionará una parte del agua que se pretende almacenar tiene su origen en la recarga de aguas meteoricas , y

- Con la construcción de la presa se pretende elevar el nivel freático local , ya que la saturación que tendrá que ocurrir antes de que el vaso empiece a acumular , servirá para alimentar el acuífero del que proviene el agua , pues según señalan algunos autores , en terrenos volcánicos ( como los que afloran en la zona del vaso y boquilla ) , cuando el nivel de aguas freáticas (N.A.F.) se encuentra por debajo del nivel del máximo embalse (NAME) , existe una gran posibilidad de pérdidas por infiltración y en este caso el N.A.F. está por debajo del caudal de los arroyos Huimilpan y Bravo (plano IV) .

En resumen , las condiciones geológicas en general , no representan un obstáculo insalvable para la realización del proyecto . Si bien en el presente trabajo no se analiza de manera específica la geohidrología del sitio , el considerar las condiciones geológicas sin tomar en cuenta el flujo de agua subterránea nos llevaría , sin duda , a considerar el proyecto como no factible . Así pues , considerando todos los aspectos geológicos ( incluyendo el geohidrológico que aquí no se desarrolla ) , concluimos que el sitio es adecuado para la construcción de la obra civil proyectada .

#### Recomendaciones .

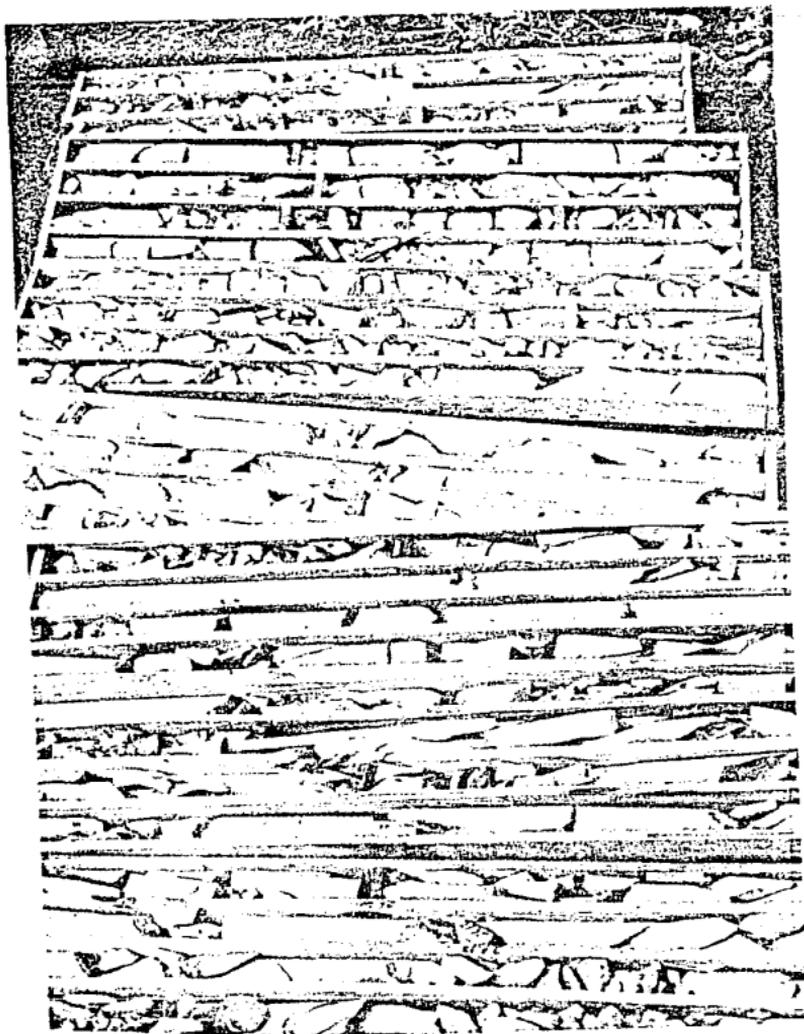
Tipo de cortina . En base a las características sísmológicas de la localidad , a la cercanía y disponibilidad de los materiales , al relativamente bajo costo de los mismos y a la homogeneidad de la roca en la boquilla , consideramos apropiado la construcción de una cortina de concreto del tipo gravedad , con vertedor central .

Obra de desvío . La zona se caracteriza por presentar valles encajonados y profundos ( en promedio 62 m. ) . En los alrededores de la boquilla el valle alcanza alturas de más de 50 metros y para fines de obras de desvío , es aconsejable ubicar el túnel del lado de la margen derecha y revestirlo ( ver plano III ) dado que las características estructurales del macizo sobre el que quedaría localizada esta obra no garantizan la seguridad del túnel si este no lleva revestimiento .

Obra de toma . Dados los fines para los que ha sido proyectada esta obra ( dotar de agua para consumo humano e industrial a la Cd. de Oro. y para riego ) , es recomendable situar la obra de toma sobre la ladera derecha debido a que con esto :

- se evita la necesidad de realizar obras específicas para hacer cruzar las instalaciones de conducción por el río .
- se tiene acceso fácil y directo ( ya disponible ) a cualquier punto de la ladera derecha .

Por último , es recomendable realizar un estudio más detallado tendiente a definir , primeramente , la existencia de la falla del río del Pueblito (ver página 24) y , posteriormente , determinar con certeza el grado de permeabilidad del posible plano de falla . Para este fin recomendamos que las pruebas de permeabilidad sean efectuadas sobre la ladera izquierda donde la falla es más evidente haciendo una socavón de por lo menos 15 metros de profundidad , siguiendo la "traza" .



Fotografías 6 y 7. Cajas de núcleos en las que se observa la calidad de la roca del basalto Los Arcos .

# BIBLIO- GRAFIA



## BIBLIOGRAFIA

- Academia Mexicana de Ingenieria , Mesa Redonda sobre Riesgo Geológico , 1988 .
- Alvarez Jr . , Manuel , Provincias Fisiográficas de la República Mexicana , Sociedad Geológica Mexicana , Bol . No . 2 , Tomo XXIV , México , 1961 , 20 pp .
- C.F.E. , Manual de diseño de obras civiles , Geotécnia , Tomo I , tema 1 , Capítulo 1 , 34 pp . , Capítulo 3 , 55 pp . , México , 1979 .
- Demant , Alain , Contribución a la definición de las diferentes fases volcánicas y tectónicas del Eje Neovolcánico Mexicano , Congreso Latinoamericano de Geología , 3 , Resúmenes , Acapulco , Gro . , México , 1976 , Pag. 41 ( resumen ) .
- Demant , Alain , Características del Eje Neovolcánico Mexicano y sus problemas de interpretación , Revista del Instituto de Geología de la UNAM , Vol. 2 , Núm . 2 , 1978 , pp. 172 - 187 .
- Escobar Marín , Jesús , Informe geológico exploratorio y pruebas de permeabilidad del proyecto " Los Arcos " - Eje Batán , sobre el río del Pueblito , Municipio de Villa Corregidora , Edo. de Querétaro , S.A.R.H. , 1979 , México , inédito .
- Esteva M. , Luis , Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería , Instituto de Ingenieria , UNAM , Publicación 246 , México , 1970 , 24 pp .
- Ferriz , H. y Mahood , G.A. , Volcanismo riolítico en el Eje Neovolcánico Mexicano , Geofísica Internacional , UNAM , Vol. 25-1 , México , 1986 , pp. 117-156 .
- Figueroa , Jesús , Carta sísmica de la República Mexicana , anales del Instituto de Geofísica , UNAM , Vol. 5 , México , 1959 , pp. 45 - 164 .
- González Huesca , Irma Silvia , " La geología aplicada a la ingeniería civil " , tesis profesional , Facultad de Ingenieria , UNAM , México , 1984 , pp. 186 - 224 .
- López Ramos , E. , Geología de México , tomo III , 2a. edición , Ed. Resendiz , México , 1981 , pp. 24-42 .
- Molina , Claudio , visita realizada al proyecto " Los Arcos o El Batán " , informe técnico , I.M.T.A. , México , 1987 , 8 pp.
- Morisawa , Marie , Rivers , form and process , capítulo 7 , Edit. Longman , ( No. 7 de la serie Geomorphology texts ) , Nueva York , 1980 , pp. 90 - 114 .

- Secretaría de Programación y Presupuesto , Atlas Nacional del Medio Físico , México , 1981 .

- Urrutia , Jaime H. y Castillo G. , Luis del , Un modelo del Eje Neovolcánico Mexicano , Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo XXXVIII , No. 1 , 1977 , pp. 18 - 28 .

- Venegas S. , S. , Herrera , J.J. , Maciel , R. , Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y sus recursos geotérmicos , Geofísica Internacional , Vol. 24 - 1 , México , 1985, pp. 47 - 81 .

#### CARTOGRAFIA

- CETENAL , Cartas topográfica y geológica F-14-C-65 y F-14-C-75, México , 1973 .

- DETENAL , Carta de variación anual de la declinación magnética en la República Mexicana , 1970 .

- Raisz , Erwin , Landforms of Mexico , prepared for geography branch of the office of Naval Research , second corrected edition , Cambridge , Mass . , 1964 , escala 1 : 3 000 000 .

# APENDICE PETRO- GRAFICO





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO PETROGRAFICO  
 PROYECTO LOS ARCOS-EL BATAN

Herrera Ruiz Homero  
 Téllez Pérez Julián

Tesis  
 Profesional

### DATOS DE CAMPO

Muestra No. HT-87-639

Localidad, El Batán, Villa de Corregidora, Qro.

Descripción del afloramiento Macizo rocoso de color gris oscuro presentándose como crestones, e interdigita con una toba arenosa de color crema-ocre.

**DESCRIPCION MACROSCOPICA** Roca de color gris oscura, textura porfirítica; con feldespatos y ferromagnesianos (alterados); feldespatos con tamaño > 1mm; ferromagnesianos  $\approx$  1mm., incluidos en una matriz afanítica de color gris oscuro.

### DESCRIPCION MICROSCOPICA

Minerales esenciales Olivino Augita Labradorita	Minerales secundarios Idingsita Sericita
Minerales accesorios Magnetita	Textura . Cristalinidad: Hipocristalina . Granularidad: Porfirítica de grano intermedio . Fábrica: Traquítica-Glomeroporfídica.

**OBSERVACIONES** Microfítos de labradorita y augita. Fenocristales de labradorita, augita y olivino.

ORIGEN DE LA ROCA

Ignea extrusivo

CLASIFICACION

Basalto de olivino-augita







**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTUDIO PETROGRAFICO**  
**PROYECTO LOS ARCOS-EL BATAN**

**Herrera Ruiz Homero** Tesis  
**Téllez Pérez Julián** Profesional

**DATOS DE CAMPO**

**Muestra No.** HT-87-643

**Localidad** El Batán, Villa de Corregidora, Gro.

**Descripción del afloramiento** Macizo rocoso de color gris, el cual se encuentra muy fragmentado producto de una serie de diaclasamientos

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Roca de color gris; textura afanítica, - cristales de feldspatos y ferromagnesios (alterados) < 1 mm.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA**

<b>Minerales esenciales</b> Augita Labradorita	<b>Minerales secundarios</b> Idingsita Hematita Sericita
<b>Minerales accesorios</b> Magnetita	<b>Textura</b> . Cristalinidad: Hipocristalina . Granularidad: Afanítica - microcristalina . Fábrica: Trauítica, con poikilitica.

**OBSERVACIONES**

Gran abundancia de microlitos de augita.

<b>ORIGEN DE LA ROCA</b> volcánica extrusiva	<b>CLASIFICACION</b> Balsato de augita
---	---





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE INGENIERIA.

ESTUDIO PETROGRAFICO  
PROYECTO LOS ARCOS-EL BATAN

Herrera Ruiz Homero  
Téllez Pérez Julián

Tesis  
Profesional

### DATOS DE CAMPO:

Muestra No. HT-37 647

Localidad El Batán, Villa de Corregidora, Qro.

Descripción del afloramiento: Macizo rocoso color rosa, formando mesas; descansa concordantemente sobre una toba arenosa.

DESCRIPCION MACROSCOPICA: Roca de color marrón oscura de textura porfirítica en la cual los minerales observables (feldespatos) presentan una -- orientación en la matriz. Pueden observarse también fragmentos líticos de una coloración un poco más clara a la de la matriz marrón oscura, el tamaño y forma de estos fragmentos varía de 2 cm. - 3 cm., forma -- alargada a semiesférica.

### DESCRIPCION MICROSCOPICA

Minerales esenciales <sup>1</sup>	Minerales secundarios
Sanidino Vidrio Volcánico Cuarzo Andesina - Oligoclasa	Hematita
Minerales accesorios	Textura
Olivino Augita                      accidentales Idingsita	Eutaxítica (no muy clara)

OBSERVACIONES Vidrio volcánico desvitrificado, fragmentos de cuarzo andesales y angulosos. Plagioclasas eudrales y rotas; algunas -- carcomidas, semejando una textura mirmekítica en la matriz de la -- roca.

ORIGEN DE LA ROCA

Ignea volcánica (piroclástica)

CLASIFICACION

Ignimbrita





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTUDIO PETROGRAFICO**  
**PROYECTO LOS ARCOS-EL BATAN**

**Herrera Ruiz Homero** Tesis  
**Télez Pérez Julián** Profesional

**DATOS DE CAMPO**

Muestra No. HT -88-2

Localidad Arroyo Hondo, El Batán, Gro.

Descripción del afloramiento Macizo rocoso color rosa que forma mesas y sobreyace a una toba arenosa.

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Roca color rosa; textura afanítica, con cristales de feldespatos 1mm. Presentan orientación estos cristales de feldespatos.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA**

Minerales esenciales Oligoclasa Vidrio volcánico Cuarzo Feldespatopotásico (producto de desvitrificación).	Minerales secundarios  Sericita Hematita
Minerales accesorios Magnetita Augita                    accidentales <<olivino	Textura  Eutaxítica

**OBSERVACIONES** Mucha alteración a sericita; fragmentos líticos de una roca volcánica rica en hierro.

<b>ORIGEN DE LA ROCA</b> Ignea extrusiva (piroclástica)	<b>CLASIFICACION</b> Ignimbrita
--	------------------------------------







