



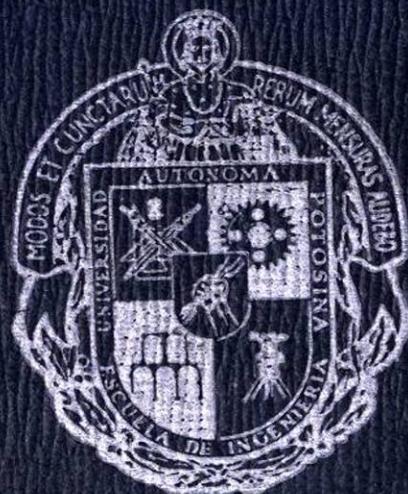
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE INGENIERIA

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DE LAS ZONAS
DE TEPEACA-TECAMACHALCO Y TEPANCO DE LOPEZ
EN EL EDO. DE PUEBLA."

TESIS PROFESIONAL

EDUARDO PORTALES PONCE



SAN LUIS POTOSI S. L. P.

1980

F
GBL 032
. P3
P6
C. 1



1080072875



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE INGENIERIA

**“ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DE LAS ZONAS
DE TEPEACA-TECAMACHALCO Y TEPANCO DE LOPEZ
EN EL EDO. DE PUEBLA.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O G E O L O G O

P R E S E N T A :

EDUARDO PORTALES PONCE

GB 1032
.P3
76

Central Market
FONDO
TESIS
(72875)

BURSA RANGAI FIDIAS
UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA



DIRECCION

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE INGENIERIA

AV. DE LOS POETAS NO. 8

TELEFONO 2-11-86

SAN LUIS POTOSI, S. L. P. - MEXICO

Septiembre 26, 1977

Al presente Sr. Eduardo Portales conca.

Presente.

En atención a su solicitud relativa me es -
credo informarle que el H. Consejo Técnico Consultivo
de la Escuela de Ingeniería ha designado como asesor del
proyecto de licenciatura que deberá desarrollarse en su examen
profesional de Ingeniería Geológica, al Sr. Ing. Victor Julian
Martínez Ruiz. Así como el lema propuesto para el mismo es:

"SERVICIO GEOLOGICO PRELIMINAR DE LAS ZONAS DE ALFARERIAS
Y CERAMICAS Y DE ICA EN EL ESTADO DE PUEBLA".

CONTENIDO:

- I.- INTRODUCCION
- II.- OBJETIVOS
- III.- GEOLOGIA
- IV.- GEOLOGIA
- V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Quiero a usted tomar debida nota de que en --
cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones --
debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de --
seis meses como requisito indispensable para sustentar su --
examen profesional.

Atentamente.

"DADOS DE CUNCE - JUN 26 1977 MEXICO"

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA

ING. MAXIMINO TORRES SILVA.

▲ la memoria de mis padres:
Lic. Jesús Portales Carvajal
Alicia Ponce de Portales.
Por su ejemplo de superación
y de sacrificio.

▲ mis Hermanos:
T. Evangelina.
Ma. Evangelina
Jesús
Jorge
Alejandro.
Marco Antonio
María Alicia.

▲ mi esposa:

Con profundo Amor.

▲ mi hijo:

Eduardo.

A mi familia Política.

A mi tía Celia.

Al Ing. Víctor Julián Martínez Ruiz.
En Agradecimiento a la gran paciencia
que tuvo para la elaboración de este
trabajo.

▲ mis maestros.

▲ mis compañeros.

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DE LAS ZONAS DE TEPEACA, TECAMA-
CHALCO Y TEPANCO DE LOPEZ EN EL ESTADO DE PUEBLA.**

I.- INTRODUCCION.-

- 1.1.- Prólogo.
- 1.2.- Objetivos del Estudio.
- 1.3.- Método de Trabajo.

II.- GENERALIDADES.-

- 2.1.- Localización y Extensión.
- 2.2.- Vías de Comunicación.
- 2.3.- Clima.

III.- GEOLOGIA.-

- 3.1.- Fisiografía.
- 3.2.- Geomorfología.
- 3.3.- Geología.
- 3.4.- Estratigrafía.
- 3.5.- Geología Estructural.
- 3.6.- Geología Histórica.

IV.- GEOHIDROLOGIA.-

- 4.1.- Unidades Geohidrológicas.
- 4.2.- Piezometría.
- 4.3.- Red de Flujo.
- 4.4.- Características Físicas de los Acuíferos.
- 4.5.- Evolución del Nivel Piezométrico.
- 4.6.- Aprovechamientos Superficiales.
- 4.7.- Aprovechamientos Subterráneos.
- 4.8.- Calidad de las Aguas.
- 4.9.- Ecuación del Balance.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

VI.- BIBLIOGRAFIA.-

I.- INTRODUCCION.

1.1.- Prólogo.-

El uso y distribución del agua, ha sido siempre un factor determinante para el desarrollo integral de una comunidad.

Una de las causas que ha permitido al hombre establecerse sedentariamente, es sin duda el agua que obtenían sin ninguna o poca dificultad de las orillas de los lagos y ríos.

Las corrientes superficiales son el tesoro máspreciado a que puede aspirar el hombre del campo, ya que es fuente de riqueza inagotable entendiéndolo así, aquéllos que jamás han tenido a su alcance este privilegio o, quienes han recurrido a complicados sistemas de captación.

En la actualidad, ante un aumento incuestionable de necesidad de alimentos, las corrientes superficiales con sus incontables obras de captación y distribución, resultan insuficientes para satisfacer la demanda de agua para terrenos de cultivo.

Es por esto, que cada día el alumbramiento de aguas subterráneas resulta de mayor interés tanto para el sector agropecuario, como para el abastecimiento de agua potable para comunidades que por su situación geográfica no es posible llevarlo a cabo de otra manera.

1.2.- Objetivos del Estudio.-

La finalidad principal del presente estudio es para conocer la influencia que ejerce el parteaguas continental que separa los

valles de "Tecamachalco" y el valle de "Tlacotepec", tanto superficial como subterráneamente. Además, de conocer el comportamiento de las aguas subterráneas en ambos valles y su disponibilidad de explotación para el beneficio de tierras de cultivo.

1.3.- Método de Trabajo.-

Para la realización del presente trabajo, se llevó a cabo una recopilación de datos en las oficinas de la "Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos" y, se procedió a la elaboración de un plano geológico en base a fotografías aéreas; una vez recopilados y procesados los datos de interés, se procedió a efectuar una serie de visitas a la zona para un conocimiento de la misma y, en base a esto, comprobar y checar el plano fotogeológico y la información recabada.

II.- GENERALIDADES.

2.1.- Localización y Extensión.-

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte central - sureste del "Estado de Puebla", entre los paralelos 18°40' de latitud norte y los meridianos 97°30' y 97°55' de longitud oeste de Greenwich, con una altura promedio de los valles de 2,000 m. sobre el nivel del mar.

Esta zona presenta una forma alargada, con una orientación aproximada Noroeste-Sureste, encontrándose limitada al norte por la "Sierra de Cuesta Blanca", al sureste por el valle de "Tehuacán", al suroeste por las sierras del "Tentzo" y de "Zapotitlán" y al noroeste por la sierra de "Tepeaca".

La extensión de la zona es de 1,900 Km² aproximadamente, ubicada toda dentro del "Estado de Puebla".

2.2.- Vías de Comunicación.-

La zona de estudio se localiza a 25 Kms. al sureste-este, en línea recta de la ciudad de "Puebla"; estando bien comunicada por carreteras y ferrocarril.

Carreteras.-

Las carreteras federales que comunican el área de estudio son: "La Autopista No. 150, Puebla-Orizaba"; "La carretera Federal No. 150, México-Puebla-Veracruz", "La Carretera Federal No. 125, - Ramal-Tepeaca-Nautla"; que entronca con la "Carretera Federal No. 140, México, -Apizaco-Veracruz".

Existe un gran número de carreteras estatales que comunican numerosas poblaciones pequeñas y rancherías.

Ferrocarril.-

La única comunicación ferroviaria de la zona, la establece el ferrocarril "Puebla-Tehuacán".

2.3.- Clima.-

El clima resulta un factor de suma importancia para cualquier estudio geohidrológico en cualquier lugar, ya que las características atmosféricas de la región influyen en una forma directa en su potencialidad hidrogeológica.

De acuerdo a la "Clasificación de Climas", según Köpen, modificada por E. García (1964), del "Instituto Nacional de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México", el clima es templado, semiseco, siendo el verano fresco y largo, y el invierno benigno.

Temperatura.-

La temperatura media anual es de 17.5°C., siendo el mes más cálido antes de junio. La Temperatura máxima es de 33°C., y la mínima de 3°C.

Precipitación.-

La precipitación promedio anual es de 658 mm. efectuándose esta casi en su totalidad durante los meses de mayo a septiembre, - con escasas lluvias durante los meses de diciembre y enero.

Dentro del área de estudio se observó que la zona que cuenta con mayor precipitación pluvial es la de "Tepeaca", pudiendo deberse esto a la influencia de la "Malinche".

Evaporación.-

Se considera que la evaporación es la cantidad de agua que se evapora de la superficie del suelo bajo disponibilidad de agua suficiente. Bajo este concepto, se obtuvo que en la zona la evaporación media es de 800 mm. anuales superando a la precipitación pluvial anual, siendo durante los meses de marzo y septiembre, cuando es mayor la evaporación.

III.- GEOLOGIA.

3.1.- Fisiografía.-

El área estudiada pertenece a la "Provincia Fisiográfica denominada Zona de Fosas Tectónicas" (Alvarez Jr., 1966). Caracterizada por derrames basálticos y numerosos volcanes y lagos, cuya morfología, orientación y distribución es típica de fosas tectónicas.

Localmente, esta provincia presenta elevaciones que van desde los 200.00 m., hasta los 2,500 m., en sus partes más altas.

Dentro del área en estudio se observan sierras formadas por rocas sedimentarias de tipo calcáreo principalmente, que presentan diferente altitud y grados de erosión, denominadas "Tepeaca", del "Monumento" y "Tetzoyocan".

Dentro de la zona de estudio, se encuentran conos volcánicos andesíticos, basálticos y materiales piroclásticos. Cabe indicar que la mayor parte de las sierras se encuentran coronadas de material tobáceo, probablemente de la "Malinche" y el "Pico de Orizaba"

3.2.- Geomorfología.-

El área de estudio se divide geomorfológicamente en dos zonas:

La primera, denominada "Zona de Tepeaca", que se encuentra en una etapa de rejuvenecimiento, dentro del ciclo geomorfológico, en la que se nota que los arroyos están volviendo a trabajar sobre la zona, teniendo poco cauce a la fecha.

La segunda parte, que comprende casi toda el área, se encuentra en una etapa de madurez, dentro del ciclo geomorfológico particularmente las zonas de valles con líneas de drenaje espaciadas y de baja pendiente, manifestándose una peneplanación general.

3.3.- Geología.-

Las rocas más antiguas que afloran en la región son de edad cretácica, las cuales fueron depositadas en un medio ambiente nerítico, como lo muestran los estratos formados por una "Caliza Brechada" y por "Fragmentos de Fósiles".

El "Terciario Inferior", se encuentra representado por un conglomerado que sobreyace en una discordancia angular a las calizas.

En la zona de "Tepeaca", afloran depósitos de tipo lacustre - del "Terciario Superior", que forman terrazas hasta de 50.00 m., - de espesor debido a una serie de bloques dislocados.

Existen una serie de derrames volcánicos a los que se les ha asignado una edad entre el "Terciario" y el "Cuaternario", Perteneciendo así mismo a esta edad los depósitos de piamonte sobre las - sierras.

Por último, se encuentran sedimentos clásticos de relleno, - distribuidos de manera irregular sobre los valles en las partes bajas, asignándoseles una edad "Cuaternaria".

3.4.- Estratigrafía.-

De acuerdo a Federico Mina V., 1972, las formaciones que afloran en el área son las siguientes:

3.4.1.- Cretácico.-

Formación Cipiapa (Kc).-

Aunque descrita originalmente por Aguilera (1906); Calderón - (1956), restringe el nombre aclarando que varias calizas incluidas por Aguilera dentro de esta formación, pertenecen a otras unidades

tanto por su litología, como por su relación estratigráfica con el resto de las formaciones de la región.

De acuerdo con Calderón, la formación "Cipiapa", consiste en calizas de color gris crema, compactas, conteniendo nódulos de pederal gris humo, presentándose generalmente en estratos gruesos - de 4.00 a 6.00 m., siendo en algunas partes de 20 a 25 cms. Los - estratos de caliza están interestratificados con delgadas capas de unos 10 cm. de lutitas y margas de color amarillento; presentándose varios horizontes con paquiodontos, miliolitas y bancos de ostrácos. Su bien delineada estratificación le da una característica - muy peculiar en las fotografías aéreas, siendo su espesor, aunque incompleto, del orden de los 800.00 m.

En el área de estudio, la "Formación Cipiapa", aflora en la - sierra de "Tepeaca", "Tetzoyocan" y, en la del "Monumento".

En la sierra de "Tepeaca", se observaron afloramientos de caliza compacta y sin estratificación, de color gris claro a rojo - claro e intemperizando a un gris casi blanco o rojizo, presentándose en grandes bloques, con vetillas de calcita, empacados en un material calcáreo, arcillo-arenoso.

En algunos bancos se observaron drusas de 4 a 5 m. de longitud con cristales de calcita en su interior.

En el poblado de "Tepeaca", se observaron estratos de calizas de 30 a 40 cms. de espesor, mal definidos y con una orientación general NW-SE, y un echado de 21° al NE; presentando lentes de pederal con la misma orientación. La caliza que se presenta de color - gris oscuro, intemperiza en colores más claros.

La sierra de "Tetzoyocan", está constituida por colores que van del gris oscuro al rojo, intemperizando en colores más claros. La caliza se presenta sumamente fracturada con bloques de tamaño considerable, dislocados, mal empacados y mal cementados.

En la sierra del "Monumento", desde el poblado de "Alseseca", hasta la altura de "Cacaloapan", existen afloramientos de caliza de color gris oscuro que intemperiza en gris claro. Su estratificación varía de 1.00 a 2.00 m., de espesor, con un rumbo de N51°W, y un echado general de 35° al NE. En la parte inferior del afloramiento, a la altura de "Alseseca", se observó una caliza brechada, formada por clastos de caliza cementada por caliza, debiéndose esto a que el oleaje en los mares someros fractura las rocas volviendo a depositarlas y cementarlas. Estos estratos se encuentran intercalados con estratos delgados de pedernal, y según se sube estratigráficamente se transforman en nódulos. Al martillar las rocas de estos afloramientos se percibe cierta fetidez que revela la descomposición de un contenido de materia orgánica, observándose además, una gran cantidad de ostrácodos. Algunos estratos están formados exclusivamente con fragmentos de fósiles.

Desde el poblado de "Alseseca", hasta el de "Tecamachalco", la caliza se presenta de un color rosa pálido que intemperiza en colores que van del blanco al amarillo. En esta parte de la sierra, no se observa ninguna estratificación, sino por el contrario, se observan grandes bloques fracturados y dislocados. En la caliza se observa un cierto metamorfismo.

Sobre el poblado de "San Simón Yehualtepec", aflora una lutita de color amarillento, compacta de 30.00 m., de espesor. Esta lu

tita, está formada por gran cantidad de fósiles de 8 a 12 cms., de diámetro clasificados como moluscos.

Al pie de la sierra de "Zapotitlán", a la altura de "Cacaloapan", se observaron lutitas de diversos colores predominando en rojo y el amarillento, las cuales se encuentran suprayaciendo intercaladas con las calizas.

Las lutitas y las calizas se cartografiaron en una sola unidad, debido a que las primeras afloran en un área muy pequeña y, que corresponden más o menos a la misma edad de la caliza.

Por último, cabe mencionar que sobre la sierra del "Monumento" entre "Tuzuapan" y "Tecamachalco", existe una dolina sobre las calizas de 40.00 m., de diámetro, dando una idea del grado de solubilidad de las calizas.

3.4.2.- Terciario.-

Formación Capas "Huajuapan" (Tcb).-

Salas (1949), dió el nombre de las capas "huajuapan" a los sedimentos continentales rojos que afloran en el valle y alrededores de "Huajuapan de León, Oax."

La formación consiste de sedimentos bien estratificados de areniscas, limolitas y conglomerados generalmente rojos, de origen continental con intercalaciones de cenizas volcánicas, arcillas y mantos intrusivos de traquita. Frecuentemente, se observa en su base un conglomerado rojo con fragmentos de las rocas "Jurásicas Continentales" y "Cretácicas Marinas", sobre las que descansa en discordancia angular. Sus echados en general son suaves, teniendo un espesor observado del orden de los 100.00 m., alcanzando en algu--



nos lugares espesores mayores por tratarse de sedimentos de relleno.

Dentro del área de estudio es posible observar esta formación entre "Tuzuapan" y "Tecamachalco", al pie de la sierra del "Monumento"; presentando estratos de 1.00 a 1.50 m., de espesor con un echado casi horizontal e intemperizando en un color rojo, formado por clastos de sílice que varían de 5 a 1 cms. de diámetro, empacados en una matriz arenosa y cementado por carbonato de calcio y óxidos ferrosos. —

Materiales semejantes se observaron en todo el flanco sur de la sierra del "Monumento". En la zona del poblado denominado "Santiago Alseseca", se observa un banco de material constituido por clastos de origen calcáreo que varían desde gravas hasta cantos de 3 cms. de diámetro, empacados en un material arenoso producido por la desintegración de calizas y cementados por carbonato de calcio; su posición es netamente horizontal con una pseudo-estratificación debido a cambios de granulometría.

Todos estos afloramientos intemperizan en un color rojizo, debido al gran contenido de óxidos de fierro y al probable ambiente oxidante, de la época en que se depositó.

Estos conglomerados, se encuentran depositados discordantemente sobre los depósitos marinos de edad "Cretácica".

3.4.3.- Terciario Superior Lacustre (Tsl).-

Esta unidad se encuentra perfectamente expuesta en una serie de dislocamientos localizados entre los poblados de "San Hipólito Xochitenango" y "Acatzingo de Hidalgo". Está constituida por estratos de caliza lacustre de .20 a 1.50 m. de espesor, que textural-

mente se puede clasificar como calcarenita y en algunos lugares como caliza arcillosa; su color es crema intemperizando en blanco. No se observa ningún contacto inferior.

Otra zona donde están expuestos estos materiales, es la que se localiza al SW de la sierra de "Tepeaca", Su mejor exponente está en "San Buena Ventura Tetlananca", en la que los materiales están representados por interdigitaciones de lentes arenosos y arcillosos. Estos materiales se encuentran contaminados por gran cantidad de material tobáceo, lo que da una idea de la actividad volcánica de la "Malinche", al norte de la zona de estudio.

Alrededor de la sierra de "Tetzoyocan", esta caliza lacustre se transforma en una marga, debido a que dicha sierra se encontraba sobresaliendo al nivel del agua, originando que aportara sedimentos terrígenos tales como arcillas y limos, ocurriendo un cambio transicional de marga a caliza, según se va retirando de la sierra.

Dentro de esta unidad, se presenta una "Facies Travertino", -- que tiene su mejor exposición en el cañón que forma el arroyo "El Aguila", a la altura del poblado de "San Hipólito Xochilténango". En este sitio, se encuentran expuestos espesores de travertino precipitado sobre materia orgánica, hasta de 20.00 m., el material de la parte superior es sumamente poroso, haciéndose masivo hacia la base.

En el poblado de "San Pablo Actipan", existen pozos artesianos saturados con carbonato de calcio, que depositan su contenido sobre materia orgánica, elevando su cauce hasta formar una especie de bordos entre los que circula el agua. El travertino de estos --

depósitos es de color amarillo e intemperiza en color blanco

Estos afloramientos se cartografiaron al igual que las calizas lacustres, por ser de una extensión muy pequeña.

3.4.4.- Terciario Cuaternario Conglomerado (Tqc).-

Esta unidad consiste en un conglomerado formado por cantos y gravas sub-angulosos, derivados de la desintegración de materiales heterogéneos, cementados en una matriz de materiales arcillo-arenosos y, en ocasiones, de origen tobáceo siendo común encontrar la combinación de dos de estos materiales; dicho conglomerado se encuentra expuesto en los arroyos de "San Andrés Cacaloapan" y, en los cortes de las carreteras, teniendo una posición horizontal.

3.4.5.- Terciario Cuaternario Basaltos (TQb).-

Esta unidad está constituida por derrames y conos de basalto que se encuentran distribuidos en toda la zona, sobreyaciendo a los depósitos lacustres.

Sobre una línea imaginaria que une los poblados de "Cuapiaxtla" y "Molcaxac", puede observarse una serie de derrames de basalto cuya textura varía de criptocristalina a afanítica, con presencia de olivino en todos los casos, teniendo un espesor que va de los 5.00 m., a los 10.00 m., encontrándose en ocasiones superpuestos superficialmente, y presentando la mayoría de las veces, escoorias indicadoras de un alto contenido de gases y diaclasas, debido a efectos de contracción durante el enfriamiento. Su coloración es gris oscura, intemperizando en colores semejantes.

Al norte de la población de "Tecamachalco", se encuentra una serie de derrames superpuestos de basaltos, cuya textura va desde

afanítica en la base del derrame hasta cripto-cristalina en la parte superior. Su coloración es gris obscuro, presentando un fracturamiento vertical y escorias en la parte superior de los derrames.

3.4.5.1.- Conos.-

Un ejemplo clásico de esta unidad es el cerro de "Tlacotepec" constituido por la interdigitación de derrames de basalto vesicular de coloración gris oscuro con tobas y cenizas volcánicas.

Otro ejemplo es el cerro de "Xaltepec", con una altura aproximada de 70.00 m., sobre el nivel del valle; el cual se formó por la sobreposición de capas de escoria de basalto, con coloraciones que van del negro al gris oscuro y, ocasionalmente, al rojizo, presentando dichos materiales mucha porosidad y poca consolidación.

3.4.6.- Cuaternario Continental (Qc).-

Esta unidad se encuentra distribuida en gran parte de la zona y está representada por depósitos de pie de monte, constituidos -- por cantos, gravas, arenas y arcillas, formando depósitos recientes de poca consolidación.

3.4.7.- Cuaternario Aluvial (Qal).-

Con este nombre se designan a los depósitos sin consolidación formados por arenas, limos, arcillas y ocasionalmente, gravas, los cuales se encuentran en la parte plana de los valles, variando sus espesores, de unos cuantos centímetros hasta 20.00 m.

3.5.- Geología Estructural.-

Uno de los elementos tectónicos más importantes en la zona es el que dió origen a la provincia fisiográfica denominada "Fosas --

Tectónicas" ó "Eje Neovolcánico", que parece ser una gran fractura o falla cuyo curso es irregular y sigzagueante, encontrándose dentro de ella grandes volcanes como el "Ixtazihuatl", el "Popocatépetl", la "Malinche", el "Pico de Orizaba", y otros más.

En épocas geológicas antiguas, la fractura que probablemente ya existía, sufrió grandes desplazamientos provocando una gran actividad ígnea y, ocasionando la formación de grandes fallas con una orientación Noreste-Suroeste, apareciendo sobre ella los volcanes mencionados anteriormente.

Otro elemento tectónico que aparece dentro del área, está representado por los pliegues de las sierras, teniendo una orientación preferencial Noroeste a Suroeste.

3.5.1.- Fallas.-

En las sierras de "Tepeaca" y del "Monumento", se observan fallas y fracturas más pequeñas, que en algunos casos como la sierra de "Tetzoyocan", se encuentran densamente distribuidas.

Se infiere que existen dos fallas paralelas que cruzan de "Tepeaca-San Andrés Mimiahuapan" y "Tecamachalco-Sta. María la Alta". con un rumbo general Norte-Sur.

3.5.2.- Pliegues.-

Las rocas sedimentarias marinas del área, fueron plegadas por las fuerzas producidas durante la "Revolución Laramide", formándose anticlinales y sinclinales que dieron forma a las sierras actuales.

La sierra del "Monumento" y la del "Tentzo", constituyen los flancos norte y sur respectivamente de un anticlinal que tiene una orientación general NW-SE.

Entre las sierras de "Cuesta Blanca" y del "Monumento", se encuentra el sinclinal que forma el "Valle de Palmar de Bravo", y la sierra de "Tetzoyocan", forma el basamento de un anticlinal que sería la continuación de la sierra del "Monumento" y la de "Tepeaca"

3.6.- Geología Histórica.-

Las rocas más antiguas que aparecen en el área, están representadas por calizas y lutitas, que se depositaron durante el cretácico.

A principios del terciario las rocas del cretácico, se vieron afectadas por fenómenos tectónicos causados por la "Revolución Laramide". Los esfuerzos realizados por esta tectónica, produjeron plegamientos, fallas y fracturamientos en las rocas, que al mismo tiempo se encontraban sujetas a la erosión y al intemperismo, comenzando a originarse los valles.

Se infiere que en esta época, las pendientes topográficas, eran fuertemente inclinadas y consecuentemente los fenómenos de intemperismo y erosión, eran los principales agentes destructores de las rocas.

Además, la existencia de corrientes con gran capacidad de carga y arrastre de materiales, dió lugar en las partes bajas y de poca pendiente, a la acumulación del conglomerado calizo; mientras esto sucedía y, como consecuencia del fuerte fallamiento del terciario inferior, tuvo lugar la formación de la "Malinche", al norte del área, que trajo como consecuencia, el cierre de la salida de la zona convirtiéndola en una cuenca cerrada. Los agentes de erosión fueron suavizando las pendientes topográficas, dando lugar

a que en las partes altas, el agua fuera el principal agente erosivo al disolver las rocas calcáreas y, al mismo tiempo, la precipitación química de bicarbonato de calcio ocasionada por la saturación de las aguas estancadas, diera lugar a la formación de caliza en las partes bajas. Simultáneamente, la acción telúrica de la "Malinche", originó que material piroclástico se depositara sobre el lago, ocasionando una intercalación de calizas y areniscas.

A fines del terciario superior, el tirante del agua en las lagunas fué disminuyendo, lo que produjo la precipitación del carbonato de calcio sobre materia orgánica y la formación de travertino.

Mientras tanto, en la "Malinche", continuaban los fenómenos ígneos que dieron origen a los depósitos de tobas y aluviones.

CUADRO DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO EUROPEO	EDAD	HOJA	AREA	AREA	CUENCA	AREA DE	
					EL SALADO	REAL DE CATORCE	EL MILAGRO VILLA DE GUADALUPE (4)	TAMPICO MISANTLA	ESTUDIO	
					(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	
CENOZOICA	TERCIARIO	RECIENTE			ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	
		PLEISTOCENICA		1	FM. EL ZABOHERO BASALTO	BASALTO			BASALTO	
		PLIOCENICA		13					TUXPAN	DEPOSITOS LACUSTRES
		MIOCENICA		25					MESOL. PALMA REAL	
		OLIGOCENICA		36	FM. AMUICHILA				DIORITA	FM. CAPAS HUAJAPAN
		EOCENICA		58						
		PALEOCENICA		63				VELASCO MED. INF Y BASAL		
MEZOZOICA	CRETACICO SUPERIOR	GOLFIANA	MAESTRICHTINO	72					FM. MENDEZ	
			CAMPANIANO							
			SANTONIANO	84	FORMACION CARACOL		FM. CARACOL	FM. SAN FELIPE		
			CONIACIANO							
			TURONIANO	90	FM. INDIOURA	FM. INDIOURA	FM. AGUA NUEVA	FM. AGUA NUEVA		
			CENOMANIANO	110						
			ALBIANO							
	CRETACICO INFERIOR	COMAN- CHEANA	SUPERIOR			CALIZA	FORMACION CUESTA DEL CURA	FM. DOCTOR	FM. TAMAULIPAS SUPERIOR	FM. CIPIAPA
			MEDIO			CUESTA DEL CURA				
			INFERIOR							
			APTIANO		FM. LA PERA	FM. LA PERA	FM. LA PERA	HORIZONTE OTATES	FM. SAN JUAN RAYA	
			BARREMIANO		CALIZA CUPIDO	FM. CUPIDO				
			HAUTERVIANO						FM. TAMAULIPAS INFERIOR	
			VALANGNIANO		FM. TARAISES	FM. TARAISES			FM. TARAISES	
BERRIASIANO	133									
JURASICO SUPERIOR	SABINIANA	TITHONIANO			FORMACION LA CAJA	UNIDAD D		FM. PIMIENTA		
		PONTLANDIANO						FORMACION SAN ANDRES		
		KINMERIDGIANO								
		OXFORDIANO								
				CZA ZULOAGA	CZA ZULOAGA					

NOTA: EL ACHURADO DIAGONAL INDICA FALTA DE AFLORAMIENTOS
 EL ACHURADO VERTICAL INDICA AUSENCIA DE FORMACION POR EROSION O NO DEPOSITO
 (1) MILLONES DE AÑOS SEGUN ESCALA GEOCRONOLOGICA DE KULP. (1961 p. NW)
 (2) INSTITUTO DE GEOLOGIA UNAM
 (3) ING. J. SANTOS MARTINEZ R.
 (4) AREA EL MILAGRO
 (5) PEMEX
 (6) AREA ESTUDIADA

IV.- GEOHIDROLOGIA.

4.1.- Unidades Geohidrológicas.-

Las unidades litológicas favorables para la obtención de agua subterránea son:

- a) Formación Cipiapa (Kc).
- b) Depósitos Lacustres Terciario Superior (TS1).
- c) Basaltos Terciario Cuaternario (TQb).
- d) Depósitos de Pie de Monte Cuaternario (Qc).
- e) Depósitos Aluviales Cuaternarios (Qal).

Las unidades litológicas que no son favorables para la obtención de aguas subterráneas son:

- a) Formación Capas Huajapan (Tch).
- b) Conglomerado Terciario Cuaternario (TQc).

Esta diferenciación, se hizo en base a la permeabilidad, posición estructural y posición topográfica.

4.1.1.- Unidades Geohidrológicas Favorables.-

4.1.1.1.- Formación Cipiapa (Kc).-

Esta unidad se encuentra expuesta en casi toda el área de estudio, presentando planos de estratificación, fracturas, cavidades de disolución y dolinas; sin embargo, su nivel piezométrico no se ha detectado.

En la sierra del "Monumento", por su flanco norte, que es hacia donde buzan sus estratos, no se han efectuado perforaciones -- que confirmen su calidad de unidad acuífera.

Por su flanco sur, se encuentra cubierta por los conglomerados del terciario y del cuaternario, lo que forma una barrera im--

permeable hacia el valle.

Las calizas de la sierra de "Tepeaca", se presentan en bloques empacados en material arcillo-arenoso, producto del intemperismo de tobas que cubrían a las mismas.

En la sierra de "Tetzoyocan", las fracturas y cavidades de disolución se hacen más notables, encontrándose depositada alrededor de la misma, una marga que impide la libre circulación de las aguas subterráneas que van de las calizas a los materiales permeables del valle y viceversa; a pesar de esto, en el plano de las curvas piezométricas, se observa que estas desaparecen al pie de la sierra, lo que sugiere una circulación en fracturas sobre calizas.

Se considera que es necesario llevar a cabo un programa de exploración en esta formación, para conocer sus características geohidrológicas.

4.1.1.2.- Depósitos Lacustres Terciario Superior (Tsl).-

Esta unidad se encuentra en toda la zona del valle, aflorando en algunas partes y cubierta por lo general por depósitos más recientes, con características de permeabilidad primaria natural de medios granulares. Se cree que es el acuífero de toda la zona; considerando-se al mismo, un acuífero libre, debido a su composición de materiales granulares heterogéneos con capas intercaladas de calizas lacustres y a que no existe un confinante.

4.1.1.3.- Basaltos Terciario Cuaternario (TQb).-

Se encuentran ampliamente distribuidos en el área. Debido a su alto grado de fracturamiento y a sus brechas basálticas, es capaz de contener agua, siempre y cuando se encuentre abajo del ni-

vel de saturación. Cuando se encuentra aflorando, estas características permiten que la unidad sirva de transmisora de agua hacia -- las rocas del subsuelo, con las que se encuentra conectada.

4.1.1.4.- Depósitos de Pie de Monte Cuaternario (Qc).-

Esta unidad litológica se localizó en las laderas de las sierras de toda la zona de estudio y, consiste de arenas, gravas, cantos de calizas de diversos tamaños, conglomerados, limos y arcillas. Debido a su posición y pendiente, el espesor de esta unidad no es muy fuerte.

Hacia las zonas del valle, esta unidad se interdigita en forma lateral con los depósitos lacustres y aluviales en forma transicional, sin haber una perfecta diferenciación. No se observó ninguna explotación de agua subterránea, pero se considera que es buena transmisora del agua hacia las unidades del valle, debido a la falta o a la poca compactación.

4.1.1.5.- Depósitos Aluviales Cuaternario (Qal).-

Esta unidad es la de mayor distribución en el valle. Su espesor es variable y consiste de arenas, gravas, limos y arcillas, -- siendo buena transmisora de agua.

Muchas veces, al descansar sobre las unidades de depósitos lacustres continentales, no se logra diferenciarla correctamente. -- Cuando se encuentra abajo del nivel de saturación, es un buen acuífero y es el más explotado por medio de norias en la región.

4.1.2.- Unidades Geohidrológicas Desfavorables.-

4.1.2.1.- Formación Capas Huajuapán (Tcc).-

Esta unidad aflora principalmente en el flanco sur de la sierra del "Monumento", careciendo de capacidad para contener agua -

debido al grado de cementación y consolidación que presenta. La mayor parte de sus componentes, son fragmentos heterogéneos de rocas calcáreas, unidas por un cementante calcáreo muy arcilloso que empaca perfectamente a los detritos convirtiéndolos en una unidad impermeable.

4.1.2.2.- Conglomerado Terciario Cuaternario (TQc).-

Esta unidad se encuentra aflorando en la zona de "San Luis Temalacayuca" y "Cacaloapan"; encontrándose constituida por cantos y gravas subangulosas, derivados de la desintegración de materiales heterogéneos, cementados por materiales arcillosos, arenosos y tobáceos, lo que origina que su capacidad para contener agua sea nula.

4.2.- Piezometría.-

La presencia de agua subterránea en el área estudiada, se manifiesta por los manantiales existentes dentro de la región acuífera y por la extracción que se realiza mediante pozos perforados en toda la extensión de la región.

La referencia de las profundidades de los niveles del agua -- dentro de los pozos a la elevación común del nivel del mar, permite establecer las redes de flujo y conocer sus gradientes, así como las direcciones y sentido de su movimiento.

Las mayores elevaciones del nivel piezométrico se observaron al noreste de la autopista "Puebla-Orizaba", con valores de 2,200 m.s.n.m., descendiendo hasta 2,120 m.s.n.m., a la altura del estrechamiento de "Tecamachalco". El gradiente hidráulico medio es de 0.9×10^{-3}

La máxima elevación del nivel piezométrico del "Valle de Tepeaca" es de 2.150 m.s.n.m., antes de pasar sobre las formaciones lacustres a la salida del valle. Su gradiente hidráulico, prácticamente nulo en esta pequeña porción del valle, indica una situación de poco movimiento horizontal de agua subterránea, y, al llegar a las formaciones lacustres, se observa un aumento considerable en el gradiente hidráulico.

La zona comprendida entre el "Valle de Tepeaca" y el "Valle de Palmar de Bravo", fluye subterráneamente hacia el "Valle de Tecamachalco", en donde la máxima elevación es de 2,050 m. y, disminuye hasta los 1,950 m.s.n.m., a lo largo del pie de la "Sierra de Tetzoyocan". El gradiente piezométrico de este valle es de $5.5. \times 10^{-3}$.

A la altura del parteaguas superficial que separa el "Valle de Tecamachalco" del "Valle de Tlacotepec", la elevación del nivel piezométrico es de 1,979 m.s.n.m. El movimiento subterráneo en el "Valle de Tlacotepec", se verifica con un gradiente hidráulico de 5.3×10^{-3} , en dirección del angostamiento de "Cacaloapan", en el extremo noreste del área de estudio.

Por otra parte, la elevación del nivel piezométrico a la altura de "Tepazolco", establece el poco movimiento que existe entre la zona localizada en "Tlacotepec" y "Cacaloapan", y esta última población, a partir de la cual se observa un movimiento del agua subterránea hacia el río "Atoyac", con un gradiente hidráulico de 3.9×10^{-3} , hasta llegar a una elevación de 1,790 m.s.n.m.

El movimiento del agua subterránea dentro de la región, se encuentra bastante bien gobernado por las fronteras impermeables, -

constituídas por la formación "Capas Huajuapán" y conglomerados del cuaternario depositados en forma compacta, imposibilitando su paso

La sierra de "Tetzoyocán", constituida por calizas y que separa el valle de "Tecamachalco" del valle de "Xochitlán-Tepazolco", aunque no se ha comprobado como unidad permeable, debe tener una zona de fracturas o fisuras por las que se infiltra el agua subterránea que recoge de los acuíferos del valle de "Tecamachalco" y la descarga en los del valle de "Xochitlán-Tepazolco".

4.3.- Red de Flujo.-

La configuración de las líneas de igual nivel piezométrico, correspondientes a la zona estudiada, indican las direcciones de flujo, zonas de recarga y descarga, gradientes hidráulicos, comportamiento de las fronteras, etc. Sin embargo, una utilización básica de las configuraciones antes señaladas, es la cuantificación de caudales de flujos subterráneos. Esta cuantificación se basa en la "Red de Flujo" y en la "Ley de Darcy".

Las líneas de igual nivel piezométrico corresponden a líneas equipotenciales, por lo que el flujo subterráneo ocurre en líneas normales a éstas hacia donde lo manifieste el gradiente hidráulico, denominándose a las líneas perpendiculares "Líneas de Flujo"; a la malla formada por las líneas de igual, "Nivel Piezométrico"; y, las líneas de flujo se denominan "Red de Flujo".

En base a lo anterior, el caudal de flujo que circula a través de una sección limitada por dos líneas de flujo y dos curvas equipotenciales, se puede cuantificar:

$$Q = \Delta V = \Delta K_1$$

Que multiplicado por un año, reporta el caudal de flujo anual. Dentro de la zona de estudio, se utilizaron las redes de flujo de entrada para el "Valle de Tecamachalco", y de salida para el "Valle de Tlacotepec", marcados en el plano de líneas equipotenciales piezométricas.

4.4.- Características Físicas de los Acuíferos.-

Los acuíferos que contienen el agua subterránea en las principales zonas de la región de estudio, son formaciones sedimentarias de tipo granular, formadas por depósitos aluviales y lacustres, de tipo compacto, constituidos por calizas y basaltos; siendo los primeros los representativos del área de estudio.

4.4.1.- Coefficiente de Transmisibilidad.-

Las características de transmisibilidad de estas formaciones, se realizaron mediante 22 pruebas de bombeo, ejecutadas en instalaciones que se encuentran distribuidas en toda el área de estudio.

De la observación de las gráficas que relacionan el abatimiento con el tiempo, se deduce que los materiales granulares se comportan como acuíferos libres. En el valle de "Tecamachalco", algunos pozos presentaron una segunda pendiente después de una primera estabilización, que habla de un medio más permeable o de una recarga horizontal.

Algunas pruebas de bombeo fueron de corta duración, sin embargo, la mayoría de ellas fueron de duración larga, mostrando semi-confinamientos locales, siendo representativos de acuíferos libres.

En el valle de "Tlacotepec", se efectuaron siete pruebas de bombeo con transmisibilidades que varían de 0.02 a $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

En el valle de "Tecamachalco", los valores de las transmisibilidades variaron entre 0.08 y $15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

4.4.2.- Coefficiente de Almacenamiento.-

Otra de las características físicas de los acuíferos, es el coeficiente de almacenamiento, mediante el cual se llega a conocer la cantidad de agua añadida o retirada a la unidad de volúmen permeable, con relación a su evolución piezométrica.

Debido a que este valor no se pudo determinar en toda la zona se obtuvieron valores aislados y poco representativos del área de estudio.

Para calcular este coeficiente se tomaron obras cercanas a los sitios de las pruebas de bombeo, encontrándose estas en un radio no menor de 200.00 m., en los cuales no se observó abatimiento alguno.

Para fines del presente estudio, se tomó el valor de 0.02, como coeficiente de almacenamiento.

4.5.- Evolución del Nivel Piezométrico.-

Para fines del presente estudio, se observaron los niveles piezométricos de los meses de Abril de 1977 y Abril de 1978, tomándose como representativo dicho mes, debido a que las lluvias se inician en el mes de mayo, disminuyendo notoriamente la extracción de agua del subsuelo, utilizándose únicamente para riego de auxilio, hasta el mes de Octubre, en el que terminan las lluvias de verano, reiniciándose el bombeo de aguas subterráneas en la zona de cultivo para el ciclo agrícola de Otoño-Invierno; conservándose esta extracción hasta el mes de Abril, en el cual se cumple un ciclo

completo antes del inicio de las lluvias de verano.

En el valle de "Tecamachalco", se observaron recuperaciones - que van de 1.6 m., hasta 1.4 m., al norte de la autopista "Puebla-Orizaba". Al sur de la misma, se observan valores de recuperación que van de 1.4 m., a 0.30 m., debiéndose esta diferencia gradual - de niveles a que en la parte sur de la autopista existe una mayor proporción de unidades de bombeo que propician recuperaciones más pequeñas.

En el valle de "Tlacotepec", se observaron recuperaciones de 1.60 m., a 0.15 m.

La diferencia de las cotas de los niveles piezométricos en el transcurso de un año, implica un cambio de almacenamiento a favor del acuífero, el cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$V = Sah.$$

en donde V, es el cambio de volúmen; a, es el área afectada; h, es la evolución piezométrica; y, S, es el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

VALLE DE TECAMACHALCO.-

<u>Canal</u>	<u>Transmisibilidad</u>	<u>Gradiente</u> <u>Hidráulico</u>	<u>Ancho</u>	<u>Caudal</u> <u>x 10⁻³ m²/s</u>
A	8.2 x 10 ⁻³	6.4 x 10 ⁻³	4,000	209.92
B	2.9 x 10 ⁻³	5.6 x 10 ⁻³	5,300	86.07
C	3.4 x 10 ⁻³	6.4 x 10 ⁻³	10,000	<u>217.00</u>
				512.99

Considerando en un año 31.536 x 10⁶ seg., el volúmen anual de entrada es de:

$$Eh = 512.99 \times 10^{-3} \times 31.536 \times 10^6 = 16.17 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Recarga Vertical.-

<u>Precipitación</u>	<u>Area de</u>	<u>Volúmen</u>	<u>Volúmen</u>
<u>Media Anual</u>	<u>Precipitación</u>	<u>Precipitado</u>	<u>Infiltrado al 10%</u>
0.658 m.	$55 \times 10^6 \text{ m}^2$	$361.9 \times 10^6 \text{ m}^3$	$36.19 \times 10^6 \text{ m}^3$

Extracción de Pozos Profundos .-

<u>Aprovechamientos</u>	<u>Pozos</u>		<u>Capacidad</u>	<u>Capacidad</u>
<u>Subterráneos</u>	<u>Profundos</u>	<u>Norias</u>	<u>Instalada</u>	<u>al 25%.</u>
171	79	92	$2.37 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.59 \text{ m}^3/\text{s}$

Considerando en un año 31.536×10^6 seg., el volúmen anual extraído es de 18.68.

Cambio de Almacenamiento.-

Número de <u>Area.</u>	<u>Area</u> <u>x 10⁶ m²</u>	<u>Evolución Piezométrica</u> <u>Media entre Curvas</u>	<u>Volúmen Drenado</u> <u>x 10⁶ m³</u>
1	23.43	1.75	41.00
2	24.50	2.25	55.12
3	26.37	1.50	30.55
4	19.06	1.25	23.82
5	15.62	1.80	28.11
6	17.50	1.50	26.25
7	21.87	1.25	27.33
8	34.06	1.40	47.68
9	26.56	1.00	26.56
10	14.06	1.00	14.06
11	21.56	1.25	26.95
12	18.43	0.50	9.21
13	10.43	1.00	10.43
14	15.62	0.35	5.46
15	<u>58.75</u>	0.30	<u>17.62</u>
	347.82		399.15

Considerando un coeficiente de almacenamiento de 0.02, válido para un acuífero libre, se obtiene un cambio de almacenamiento de:

$$\Delta V = 7.983 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Ecuación de Balance .-

$$R_h + R_v - B - D = \Delta v$$

$$16.17 + 36.19 - 18.68 - D_h = 7.98$$

Resultando que existe una descarga horizontal de $25.70 \times 10^6 \text{ m}^3$ sobre las calizas de la sierra de "Tetzoyocan".

VALLE DE "TLACOTEPEC".-

Recarga Vertical.-

<u>Precipitación</u>	<u>Area de</u>	<u>Volúmen</u>	<u>Volúmen</u>
<u>Media Anual</u>	<u>Precipitación</u>	<u>Precipitado</u>	<u>Infiltrado al 5%</u>
0.658 m.	$310 \times 10^6 \text{ m}^2$	$203.9 \times 10^6 \text{ m}^3$	$4.07 \times 10^6 \text{ m}^3$

Descarga Vertical (Extracción por Medio de Pozos).-

<u>Aprovechamientos</u>	<u>Pozos</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Extracción</u>
<u>Subterráneos</u>	<u>Profundos</u>	<u>Instalada</u>	<u>al 25%</u>
54	28	$0.017 \text{ m}^3/\text{s}$	0.07 m^3

Considerando en un año 31.536×10^6 seg., el volúmen anual ex traído es de: $0.536 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Descarga Horizontal.-

<u>Canal</u>	<u>Transmisibilidad</u>	<u>Gradiente</u>	<u>Ancho</u>	<u>Caudal</u>
		<u>Hidráulico</u>		<u>$\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$</u>
A	0.4×10^{-3}	2.92×10^{-3}	5,500	6.42
B	0.6×10^{-3}	2.28×10^{-3}	3,400	4.65
C	0.7×10^{-3}	2.73×10^{-3}	5,000	9.55
				<u>20.62</u>

Considerando 31.536×10^6 segundos en un año, se obtiene un volúmen drenado de:

$$D_{\square} = 20.63 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 31.536 \times 10^6 = 0.65 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Cambio de Almacenamiento.-

Número de	Area	Evolución Piezométrica	Volúmen Drenado
<u>Area.</u>	<u>10⁶ x m²</u>	<u>Media.</u>	<u>x 10⁶ m³</u>
1	48.12	0.00	
2	46.37	0.00	
3	47.12	0.50	23.56
4	26.87	1.20	32.24
5	26.25	1.00	26.25
6	20.62	1.30	26.80
7	<u>24.06</u>	1.50	<u>36.09</u>
	239.41		144.94

Considerando un coeficiente de almacenamiento de 0.02, se obtiene un volúmen de $2.89 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Ecuación de Balance.-

$$R_v - B - D_m = \Delta_v$$

$$4.07 - 0.53 - 0.65 = 2.89$$

Los gastos tan raquíticos obtenidos en el valle de "Tlacotepec" hacen suponer que la infiltración en él, es menor del 5%.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.- Conclusiones.-

- 1.- Los valles de "Tecamachalco" y de "Tlacotepec", pertenecen a una sola unidad geohidrológica, siendo sin embargo, sus funcionamientos cuantitativos, distintos.
- 2.- El valle de "Tecamachalco", recibe una recarga subterránea de $16.17 \times 10^6 \text{ m}^3$; y, una recarga por infiltración de $36.10 \times 10^6 \text{ m}^3$ lo que da un total de $59.69 \times 10^6 \text{ m}^3$, del cual se extrae por medio de pozos $18.68 \times 10^6 \text{ m}^3$, drenándose $25.70 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- 3.- El valle de "Tlacotepec", recibe una recarga por infiltración de $4.07 \times 10^6 \text{ m}^3$; del cual se extrae por medio de pozos - - - - $0.53 \times 10^6 \text{ m}^3$, drenándose $0.65 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- 4.- El valle de "Tecamachalco", drena superficial y subterráneamente, hacia la cuenca del río "Balsas".
- 5.- El valle de "Tlacotepec", drena superficial y subterráneamente hacia la cuenca del río "Papaloapan".
- 6.- El parteaguas continental superficial que separa los valles, - resulta determinante, para el comportamiento geohidrológico de ambas cuencas.

5.2.- Recomendaciones.-

- 1.- Se recomienda una explotación adicional del valle de "Tecamachalco", de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- 2.- En el valle de "Tlacotepec", perforaciones de carácter explotatorio, a una profundidad mínima de 300.00 m., para conocer el

espesor del acuífero.

- 3.- No se recomienda una explotación adicional en el valle de "Tlacotepec".
- 4.- Se recomienda llevar a efecto una serie de perforaciones en el flanco norte de la sierra del "Monumento", con el fin de conocer el comportamiento de las calizas de la formación "Cipiapa".
- 5.- Se recomienda llevar a cabo una serie de sondeos exploratorios al pie de la sierra de "Tetzoyocan", con el propósito de conocer el comportamiento de las calizas de esta sierra.
- 6.- Realizar un programa de piezometría con duración mínima de dos años, y, lecturas mensuales, para observar el comportamiento de los niveles, logrando así, un control sobre ellos.
- 7.- Instalar medidores de flujo en todos los pozos, para que la explotación del acuífero sea en forma racional y metódica.
- 8.- Incrementar los estudios en la zona, hasta lograr la elaboración de un modelo hidrológico que nos de a conocer el comportamiento exacto de los mantos.

BIBLIOGRAFIA.

Carrasco, Mauro.- Apuntes de la materia de Geohidrología. Escuela de Ingeniería de la U.A.S.I.P. (1973). (Inédito)

Agrogeología.- Estudio geohidrológico preliminar de las zonas de "Tepeaca", y del distrito de riego de "Valsequillo" en el estado de "Puebla". S.A.R.H. 1974. (Inédito)

Apuntes de la Clase de Geología de México.- Escuela de Ingeniería U.A.S.I.P. 1966. (Inédito).

Mina, Federico.- Geología del Norte del Estado de Oaxaca y Sur del Estado de Puebla. S.A.R.H. 1974. (Inédito).

Lizt, Antonio.- Recolección, procesamiento e interpretación de los datos relativos a los niveles del agua. Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. 1977.

Chávez, Rubén.- Hidráulica de pozos. Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. 1977.

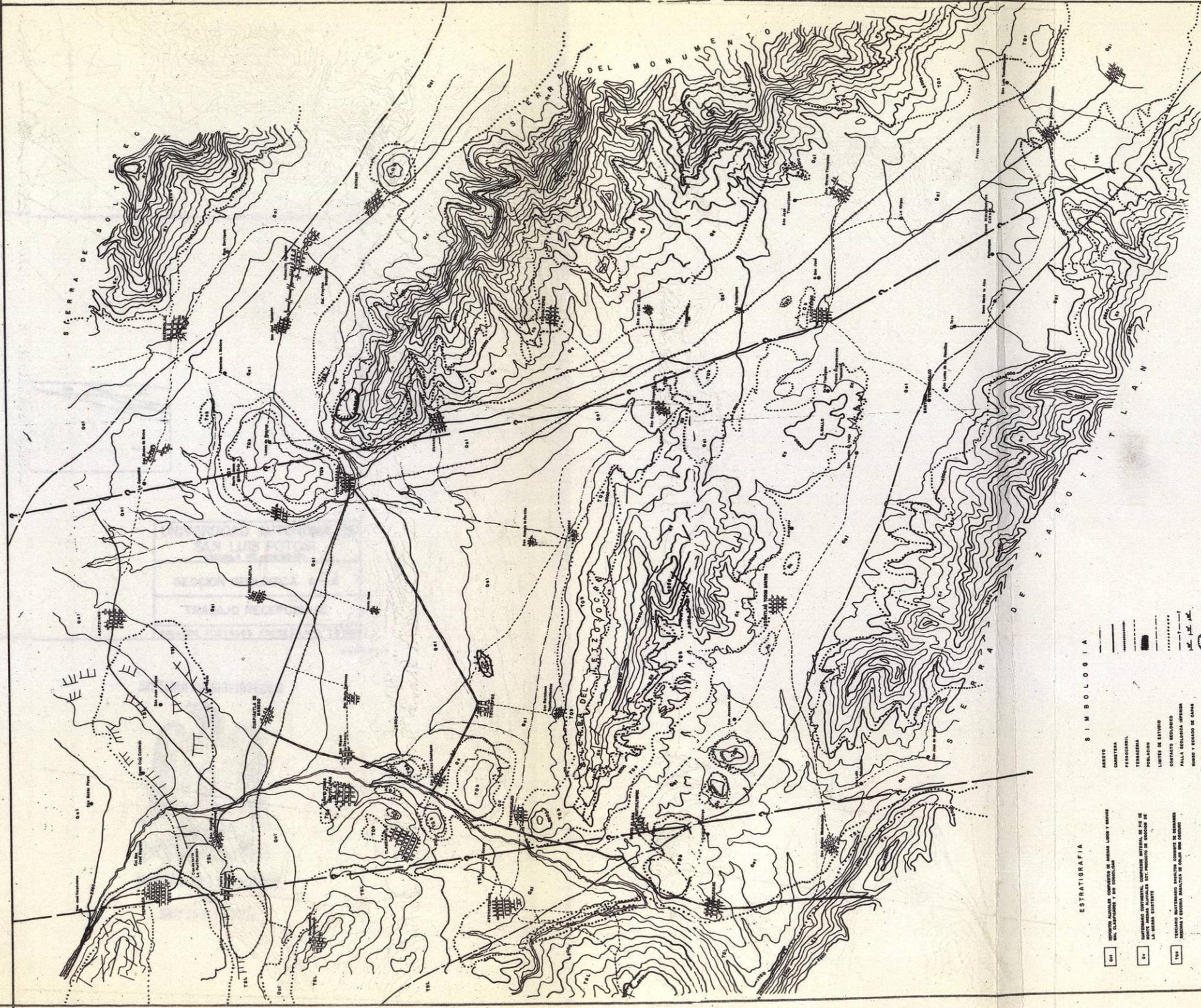
Keith Tood, David.- Hidrología. Paraninfo, Madrid. 1973.

Longwell y Flint.- Geología Física. Limusa-Willey, México. 1965.

Billing, M. P.- Geología Estructural. Eudeba, Buenos Aires. 1971.

Custodio, Emilio.- Aguas Subterráneas. Universidad de Barcelona, España. 1973.

Datos tomados de la "Residencia de Geohidrología y de Zonas Aridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos", en el Estado de Puebla.

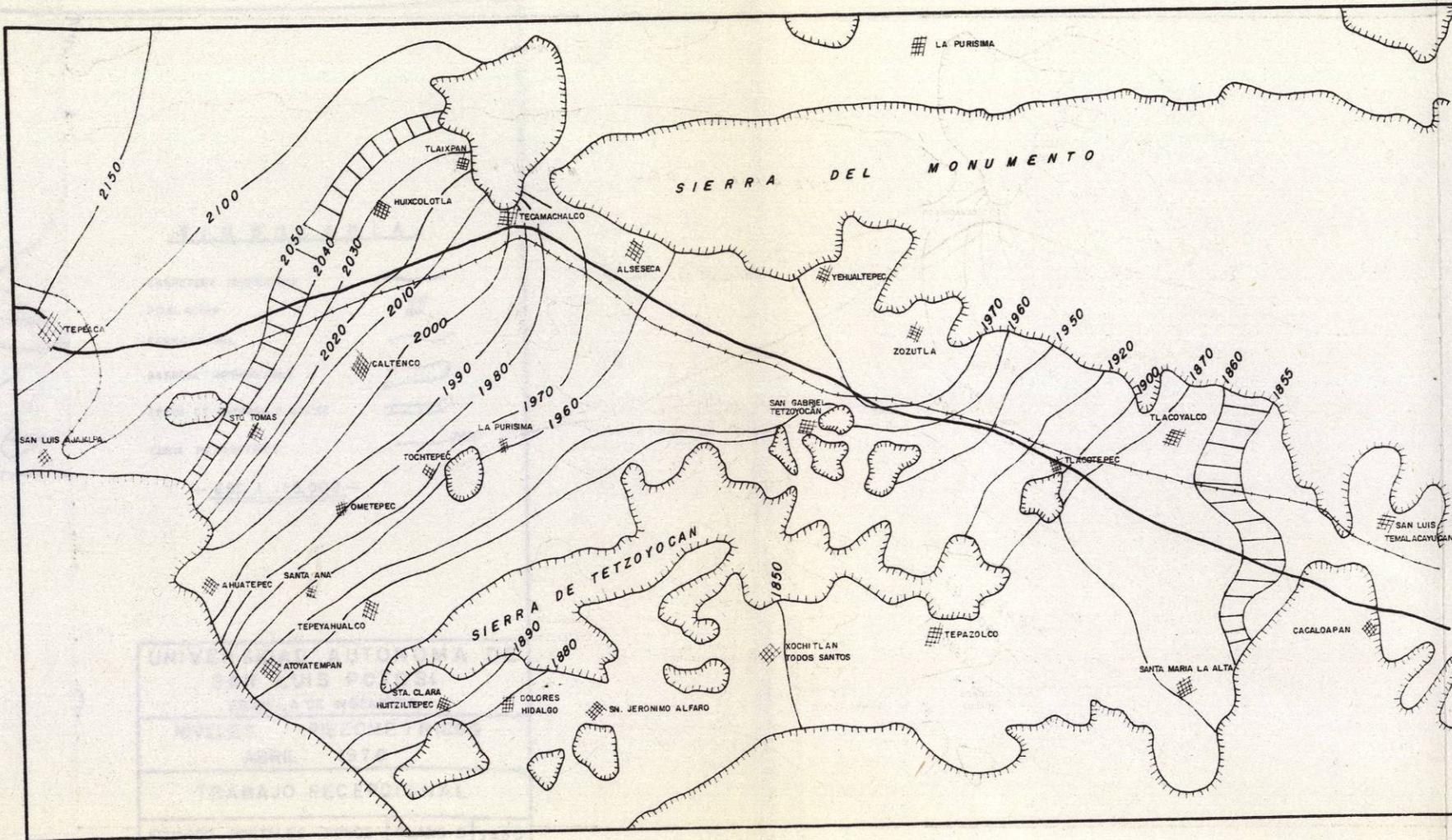


SIMBOLOGIA

- ARROYO
- CARRERA
- FERRISABAIL
- TERRETERIA
- POBLACION
- LIMITES DE ESTUDIO
- CONTACTO NEOLITICO
- PALLA DELICADA OFERTINA
- MONDO Y CICLOS DE CANA
- ESLIVA
- FRACCIÓN
- TERRAZA

ESTRATIGRAFIA

- 148
- 149
- 150
- 151
- 152
- 153
- 154
- 155
- 156



SIMBOLOGIA

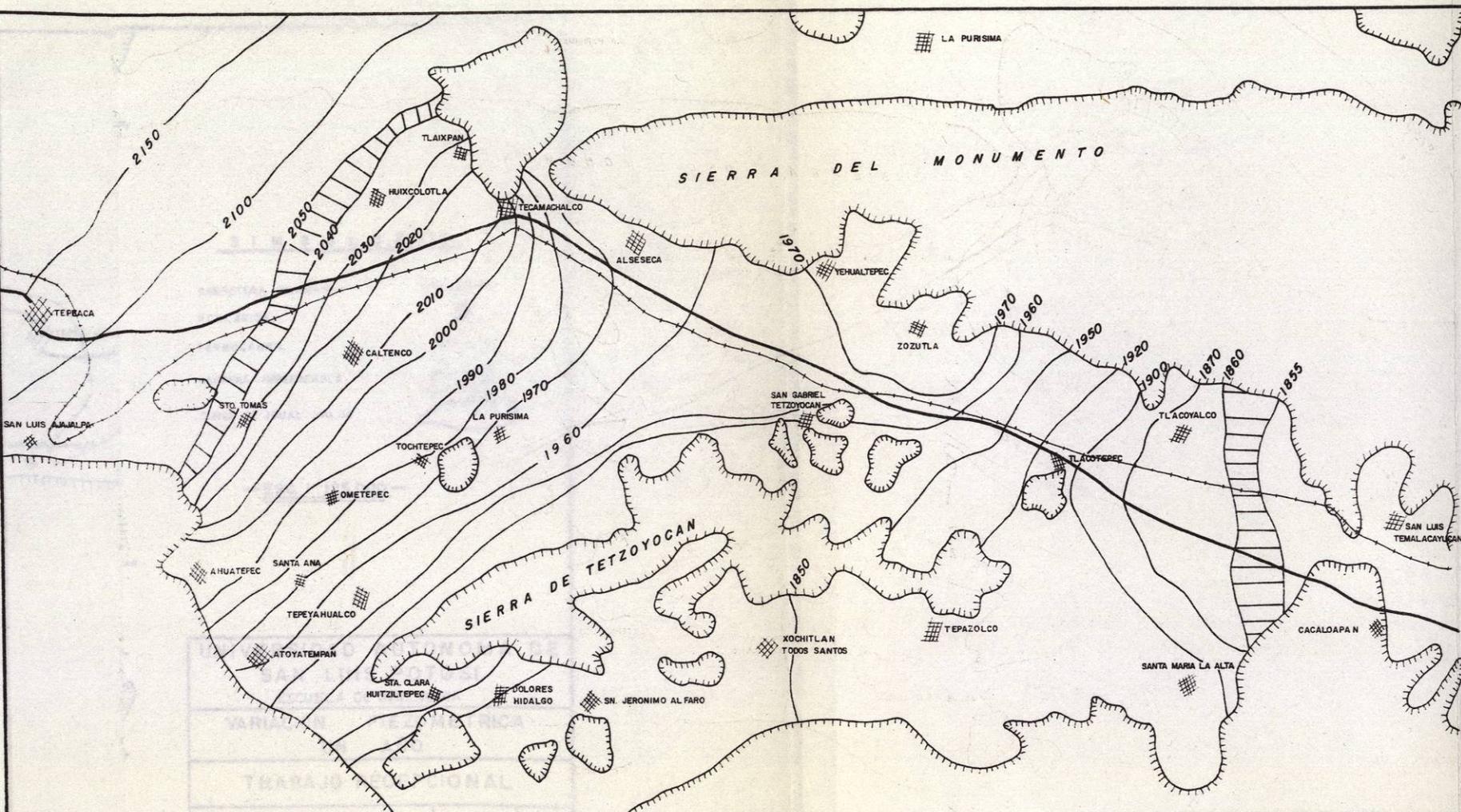
- CARRETERA PAVIMENTADA 
- POBLACION 
- FERROCARRIL 
- BARRERA IMPERMEABLE 
- CELDA DE ENTRADA O SALIDA 
- CURVA PIEZOMETRICA  1990

— ESC. 1:125,000 —

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI ESCUELA DE INGENIERIA	
NIVELES PIEZOMETRICOS ABRIL 1977	
TRABAJO RECEPCIONAL	
EDUARDO PORTALES PONCE	PLANO 4 1980

SISTEMA DE BIBLIOTECAS





SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA 
- POBLACION 
- FERROCARRIL 
- BARRERA IMPERMEABLE 
- CELDA DE ENTRADA O SALIDA 
- CURVA PIEZOMETRICA 

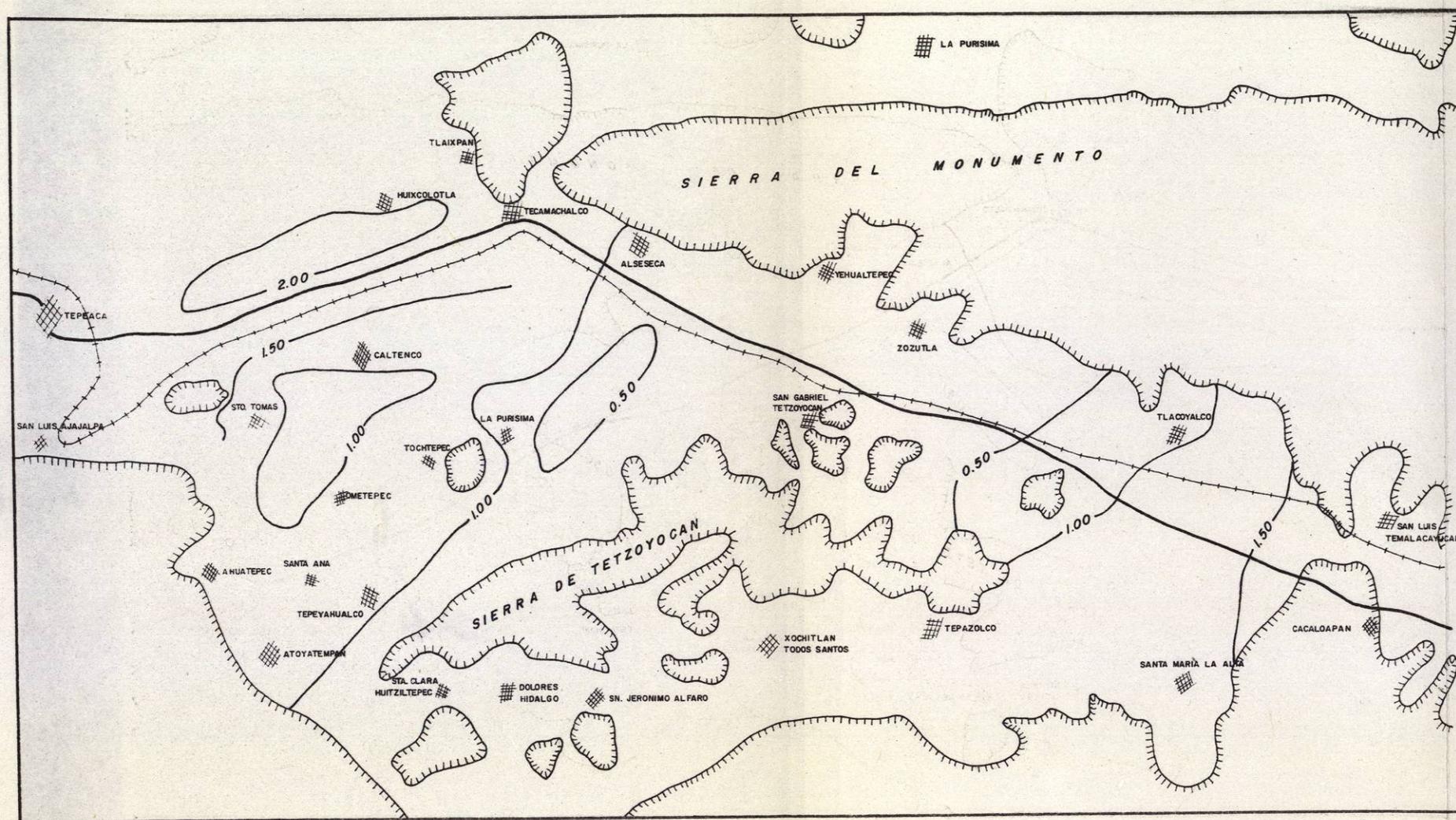
— ESC. 1 : 125,000 —

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	
ESCUELA DE INGENIERIA	
NIVELES PIEZOMETRICOS	
ABRIL 1978	
TRABAJO RECEPCIONAL	
EDUARDO PORTALES PONCE	PLANO 5 1980

SISTEMA DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- POBLACION
- FERROCARRIL
- BARRERA IMPERMEABLE
- CURVA DE IGUAL VALOR

— ESC. 1:125,000 —

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI ESCUELA DE INGENIERIA		
VARIACION PIEZOMETRICA UN AÑO		
TRABAJO RECEPCIONAL		
EDUARDO PORTALES PONCE	PLANO 6	1980



