

5



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## “ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA “RIO CUITZMALA”, EN LA COSTA DE JALISCO”

293154



**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A  
FELIPE DE JESUS CORTES AVILA

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-055

**SR. FELIPE DE JESUS CORTES AVILA**  
Presente

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

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA "RIO CUITZMALA", EN LA COSTA DE JALISCO**

- I RESUMEN
  - II GENERALIDADES
  - III FISIOGRAFIA
  - IV GEOLOGIA
  - V GEOMORFOLOGIA
  - VI HIDROGEOQUIMICA
  - VII HIDROGEOLOGIA
  - VIII PROPUESTAS DE DESARROLLO
  - IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA  
PLANOS Y ANEXOS

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 21 de agosto de 1995  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'RLR'tjh.

Este trabajo es dedicado a:

Mis padres Felipe Cortés y Esperanza Ávila.

A mis hermanos: Leonor, Juan, Emilia, Daniel, Olivia y Felipe.

A mis sobrinos: Jorge -Jorge, Fernanda y Adrián-  
Enrique -Quetzalcoatl e Itzel-  
Gabriela -Omar, Martha y Alberto-  
Miguel -Sebastián e Irais-  
Hugo -Mauricio y Sofía-  
Juan  
Jacobo -Braian-  
Osiris -Adriana-  
Adriana -Leslie-  
Arturo -Ximena-  
Daniela  
Fernanda  
Erandi  
Alonso  
Hugo  
Sukeydi

A Lina y Carlos

## **AGRADECIMIENTOS.**

Deseo manifestar mi agradecimiento a todas aquellas personas que fueron participes en el desarrollo de éste trabajo.

Ing. Emiliano Campos Madrigal  
Ing. Juan Manuel Medina Rodríguez  
Dr. José Juan Zamorano O.  
Dr. José Lugo Hubb  
Ing. Jesús Olvera Rodríguez  
M. en C. Atilano Gutiérrez Carrillo  
M. en C. Arturo Cano Flores  
Ing. Gilberto Silva Romo  
Ing. Martha Lozano Castillo  
Ing. Armando García Palomo  
Lic. Oscar Frausto Martínez  
Pas. Ma. de Lourdes Miranda Coss  
Dib. Rosa Ma. Vargas Luis  
Alma Delia Aguilar Sumaya  
Pas. Daniel García Zepeda  
Alicia Calva López  
Ing. Samuel Álvarez Jiménez  
Ing. Antonio Morales Míreles  
INEGI delegación occidente

## INDICE

### PAGINA

#### CAPITULO I

##### RESUMEN

1

#### CAPITULO II

##### GENERALIDADES

2

##### II.1 Objetivos

2

##### II.2 Marco Geográfico

3

##### II.2.1 Localización y Acceso

3

##### II.2.2 Población y Cultura

3

##### II.2.3 Servicios

4

##### II.2.4 Economía

5

##### II.3 Climatología y Vegetación

5

##### II.4 Trabajos Previos Regionales

8

##### II.5 Método de Trabajo

9

#### CAPITULO III

##### FISIOGRAFIA

11

##### III.1 Fisiografía

11

##### III.2 Hidrografía

12

#### CAPITULO IV

##### GEOLOGÍA

15

##### IV.1 Estratigrafía

15

##### IV.2 Evolución Geológica

28

##### IV.3 Geología Estructural

34

##### IV.3.1 Escenario Tectónico Regional

34

##### IV.3.2 Análisis Estructural

39

#### CAPITULO V

##### GEOMORFOLOGÍA

52

##### I MONTAÑAS

54

##### A.1 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico

54

##### B.2 Formadas en el complejo sedimentario del Cretácico inferior

56

##### II PREMONTAÑA

56

##### C.3 Formadas en el complejo volcánico del Terciario inferior

56

##### D.4 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico

57

##### E.5 Formadas en el complejo sedimentario del Cretácico inferior

59

##### F.6 Formadas en el complejo volcanosedimentario del Cretácico inferior

60

##### G.7 Formadas en el complejo volcanoclástico del Cretácico inferior

60

##### III ELEVACIONES MEDIAS

61

##### H.8 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico

61

##### I.9 Formadas en el complejo volcanoclástico del Cretácico inferior

61

##### IV ELEVACIONES BAJAS

62

##### J.10 Formadas en complejo intrusivo del Cretácico

62

##### K.11 Formadas en el complejo volcánico del Terciario inferior

63

##### L.12 Formadas en el complejo areno-conglomerático del Terciario superior

64

V. LLANURA INTERIOR	64
VI. VALLES INTERMONTANOS	65
VII. LLANURA FLUVIAL ACUMULATIVA	65
VIII. LLANURA FLUVIO MARINA	66
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>HIDROGEOQUÍMICA</b>	67
VI.1 Muestreo y Análisis Químico	68
VI.2 Propiedades Físicas y Químicas del Agua	68
VI.2.1 La Molécula del Agua	68
VI.2.2 Propiedades Físicas	69
VI.2.3 Propiedades Químicas	70
VI.3 Geoquímica del Agua	72
VI.3.1 Calidad del Agua	76
VI.4 Caracterización Hidrogeoquímica	86
<b>CAPITULO VII</b>	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	91
VII.1 Balance Hidrológico Superficial	93
VII.2 Características Hidráulicas de las Rocas	97
VII.3 Unidades Hidrogeológicas	98
VII.4 Marco Conceptual Hidrogeológico	102
<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>PROPUESTAS DE DESARROLLO</b>	107
VIII.1 Introducción	107
VIII.2 Proyecto "Los Achotes-San Miguelito"	107
VIII.3 Proyecto "Espinos del Judío"	109
<b>CAPITULO IX</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	111
IX.1 Conclusiones	111
IX.2 Recomendaciones	115
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	117
<b>PLANOS Y ANEXOS</b>	119

## RESUMEN

La subcuenca Río Cuitzmala, en la costa de Jalisco, ofrece recursos hidráulicos para ser aprovechados y establecer nuevos polos de desarrollo, específicamente agropecuarios. Los recursos que se encuentran en esta subcuenca consisten de cinco manantiales y un arroyo (todos ellos perennes).

Los sedimentos más antiguos que se localizan fueron depositados durante el Mesozoico; en ellos se encuentra un cuerpo volcanosedimentario, por lo que la teoría de la continuación de un arco volcánico, en el Occidente de México se refuerza. El emplazamiento del cuerpo granítico, a partir del Cretácico Tardío, trajo como consecuencia levantamiento, fracturamiento, fallamiento, erosión y mineralización de las rocas preexistentes, estos eventos probablemente se prolongaron hasta el Terciario Temprano, dando como resultado que los depósitos calcáreos y volcanosedimentarios quedaran en forma de bloques colgados en el cuerpo granítico.

Un análisis, a escala regional, del sistema de fracturamiento permite proponer una serie de bloques generados, para posteriormente, y ya dentro de la subcuenca, agrupar parte de ellos en conjuntos de lineamientos.

La aplicación de métodos geomorfológicos en este estudio ha permitido, además de adentrarse un poco en esta disciplina, diferenciar las formas del relieve en función de la geología y topografía, así como también los factores endógenos y exógenos.

La existencia de acuíferos confinados o semiconfinados en el área de estudio se manifiesta a través de manantiales, de los cuales, el más sobresaliente es el manantial "Los Achotes", con un gasto aproximado de 36 litros por segundo. La calidad química del agua, en términos generales, es excelente para el uso pecuario y para riego, aunque también puede ser usada para el consumo humano, y pertenece a la familia calcica-bicarbonatada.

Como parte final de este estudio se hacen las propuestas de desarrollo agropecuario, utilizando el agua de los recursos hidrológicos mencionados anteriormente, los terrenos aptos para este fin y las líneas de conducción del agua hacia los terrenos seleccionados, de tal forma que el ganado no tenga que recorrer grandes distancias para abastecerse de agua.



## **CAPITULO II GENERALIDADES**

El presente estudio tiene por objeto determinar la recarga y la calidad de los recursos hidráulicos superficiales existentes en la subcuenca del río Cuitzmala y la manera de aprovecharlos en nuevos polos de desarrollo. Estos recursos se ubican en la subcuenca del mencionado río y constan de cinco manantiales y un arroyo ubicándose los primeros al oriente de San Miguel y en los alrededores de San Miguelito, el segundo al sur del cerro Cacoma al noreste de la subcuenca.

### **II.1 Objetivos**

Para el cumplimiento del desarrollo de este trabajo se plantearon y siguieron los siguientes objetivos:

- a) Identificar y cartografiar las unidades litológicas, sus rasgos estructurales y la influencia en la hidrogeología.
- b) Elaboración de un plano geológico-estructural con base en trabajo de campo y gabinete.
- c) Análisis geomorfológico con base en mapa y secciones.
- d) Definir las características hidrogeológicas de las unidades, especialmente aquellas que presentan las mejores condiciones para almacenar agua de buena calidad, mismas que se plasmaron en un plano hidrogeológico, donde se muestran las características de las unidades y de los acuíferos presentes.

e) Recomendar zonas favorables para el desarrollo agropecuario en terrenos aptos para la actividad, con base en la utilización del agua de manantiales y de un arroyo.

## **II.2 Marco Geográfico.**

### **II.2.1 Localización y Acceso.**

El área de estudio se encuentra al suroeste del estado de Jalisco; abarca parte de los municipios de Purificación y La Huerta, donde destacan las poblaciones y rancherías Francisco Villa, Emiliano Zapata, San Miguel, Jirosto, La Eca, San Miguelito, Nacastillo, Los Achotes y Espinos del Judío. Geográficamente se ubica entre los paralelos 19° 36' 00" y 19° 52' 00" de latitud norte y 104° 35' 00" y 105° 00' 00" de longitud oeste de Greenwich, cubre una superficie aproximada de 1070 km<sup>2</sup> (fig. II.1).

El acceso al área de estudio se puede efectuar de tres formas: la primera, para la porción noreste, se toma el camino de terracería que va a la ranhería San Miguel y que parte de la población de Purificación; la segunda, para llegar a la porción meridional del área, se efectúa por medio de una brecha que parte de la carretera federal No. 80, a la altura de La Huerta y que comunica con la ranhería Nacastillo y la última es a través de la carretera federal No. 200, que une al puerto de Manzanillo (Colima) con el de Puerto Vallarta (Jalisco) y que cruza la porción sur del área.

### **II.2.2 Población y Cultura.**

De acuerdo con el censo de población de 1990, el municipio de Purificación cuenta con una población de 21,628 habitantes, de los cuales 6,254 son varones y 6,374 mujeres. El municipio de La Huerta tiene una población de 20,637 habitantes, de entre éstos 10,399 son varones y 10,238, mujeres. En términos generales, la actividad escolar está concentrada en las cabeceras municipales, donde se cuenta con educación preescolar, primaria y secundaria a nivel general y técnico, mientras que en el área rural se tiene únicamente educación primaria,



teléfono, telégrafo, electricidad, educación y salud; dentro de la cuenca, sólo en algunas poblaciones como Francisco Villa, Emiliano Zapata y San Miguel, existe energía eléctrica.

#### II.2.4 Economía.

La actividad económica del área está enfocada a las siguientes actividades: la principal es la agricultura, dedicada al cultivo de maíz, frijol, mango, papaya y tamarindo; otra de ellas en orden de importancia, es la ganadería, que cuenta con ganado bovino, porcino y caprino, estas actividades se pueden mejorar con un buen aprovechamiento de los recursos hidrológicos, y la explotación forestal, la cual está encaminada a las especies rosa morada, caoba, primavera, cedro y barcina.

### II.3 Climatología y Vegetación.

De acuerdo con la clasificación de Köpen, modificada por Enriqueta García (1964), en el área de estudio el clima imperante se presenta en franjas paralelas a la línea de costa (fig. II. 2); cerca de ésta, es semiseco, muy cálido y cálido BS1 (h') w (w), con una temperatura media anual mayor a los 22° y menor de 18° centígrados, (c), en el mes más frío; conforme se adentra al continente, el clima cambia a cálido subhúmedo, variando desde el menos húmedo A wo (w) hasta el más húmedo A w<sub>2</sub> (w), donde la temperatura media anual oscila entre 18° y 22° c mientras que la temperatura del mes más frío es mayor de 18° c. Hacia la parte topográfica más alta, cerro El Remudadero, el clima es semicálido subhúmedo (A) C (w<sub>2</sub>) (w), siendo el más húmedo de los de este tipo, con una temperatura media anual mayor de 18° y una temperatura del mes más frío de -3° c.

Igualmente el régimen de lluvias en toda el área es en verano, con una precipitación media anual de 800 mm, hacia la franja costera; no obstante aumenta a 2000 mm, al norte de la subcuenca (fig. II. 3).

Las condiciones climáticas han permitido diversos tipos de vegetación como son: manglar, en la línea de la costa; selva baja caducifolia y

media subcaducifolia, localizadas entre el nivel del mar y los 1500 y 1800 metros de altura; bosques de encino y pino ubicados en lomeríos y partes bajas de la sierra; combinación de bosque de pino-encino distribuido a una altitud de 650 a 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm); bosque mesófilo de montaña, en las partes más altas; bosque de galería, localizado en la riberia de los ríos, y vegetación secundaria arbustiva derivada, principalmente, del bosque de encino-pino y de las selvas. A continuación se enumeran las principales especies del área:

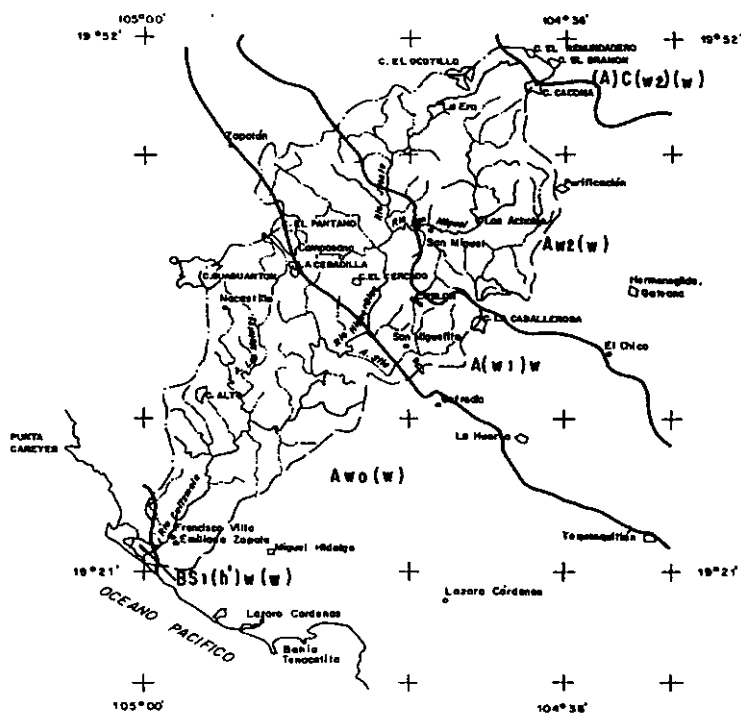


Fig. II. 2.- Esquema de climas.

- Achiote.- Bixa avellana
- Capitaneja.- Verbasina sp.
- Cedro.- Cedrela adorata
- Cornosuelo.- Acacia hindsii



## **II.4 Trabajos previos regionales.**

En el año de 1978, Rocha y Asociados S. A. efectuó un estudio denominado "Reconocimiento de las Condiciones Geohidrológicas de los Valles Costeros, Delimitación de los Sedimentos Terciarios y Localización de Areas Apropriadas para la Perforación de Pozos", para la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.).

Alejandro Méndez Sainz, de la Universidad de Sonora, presentó en 1982 su trabajo de tesis con el tema "Interpretación Geológica del Distrito Ferrífero "El Encino", Mpio. de Pihuamo, Jalisco, México".

J. Eduardo Aguayo C. (1983), llevó a cabo el proyecto "La Integración y Análisis de la Información Geológica-Geofísica de la Cuenca Colima-Jalisco", por parte del Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.).

Para 1986 los ingenieros Jerges Pantoja Alor y Samuel Estrada Barrasa, publicaron en el boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, un estudio sobre la estratigrafía de los alrededores de la mina "El Encino", Jalisco.

También en 1986 el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), a través de su Dirección Regional de Occidente, llevó a cabo un estudio sobre los manantiales de la costa de Jalisco, para la Dirección de Agricultura, Ganadería e Irrigación (DAGI) del mismo estado, con el objeto de conocer su potencial hidrológico.

Al siguiente año, en 1987, se elaboró la carta geológica Manzanillo E 13-2-5 escala 1: 250 000, como parte del programa de actividades del INEGI.

E. González Partida y V. Torres Rodríguez, en 1987, realizaron el estudio de "Evolución Tectónica en la Porción Centro-Occidental de México y su Relación con los Yacimientos Minerales Asociados".

En 1989, H. Böhnelt y otros investigadores elaboraron un trabajo

con datos paleomagnéticos de diferentes unidades expuestas a lo largo de la margen continental del sureste de México.

Generalmente la mayor parte de los trabajos que se han efectuado hasta han sido o muy regionales o bien locales y dirigidos, principalmente, a yacimientos minerales, por lo que no se cuenta con trabajos específicos del área de interés, puesto que este trabajo se enfoca, esencialmente, en el potencial hidrológico del área, para adaptarlo a las actividades agropecuarias.

## **II.5 Método de trabajo.**

Para la elaboración de esta tesis, y para lograr los objetivos principales, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

a) Recopilación y análisis de información geológica, geohidrológica y cartográfica existente para la zona, con el fin de obtener un conocimiento general del área.

b) Inspección preliminar, para verificar en el campo el grado de confiabilidad de la bibliografía recabada y tener un conocimiento de la geología e hidrología del área, así como, la localización y ubicación de los manantiales perennes que pueden ser aprovechables.

c) La interpretación fotogeológica se llevó a cabo en el área de Los Achotes-San Miguel, ya que es el sitio más atractivo de la zona de interés, con escala 1: 50 000. En la porción restante, se modificó la geología elaborada por la Dirección General de Geografía (D.G.G.), escala 1: 50 000, con base en sus características litológicas. Asimismo, se realizó un mapa de alineamientos a nivel regional, con el fin de mostrar los principales elementos lineales; éste se obtuvo mediante la interpretación de imágenes de satélite Land Sat, cartas topográficas escala 1: 1 000 000, 1: 250 000, 1: 50 000 y fotografías aéreas a escala 1: 50 000.

d) Durante la verificación de campo se realizó un reconocimiento geológico en las unidades fotointerpretadas y en las modificaciones que



se efectuaron en gabinete, tomando en cuenta los aspectos hidrogeológicos de los materiales; también, se efectuó un muestreo litológico y de agua de manantiales en puntos y lugares previamente seleccionados.

e) Se elaboró una carta morfogenética, que muestra la información general, tanto topográfica como geológica, que permite diferenciar las formas del relieve a través del tipo de roca y elementos morfológicos. Posteriormente, se dibujaron secciones geomorfológicas transversales y longitudinales.

f) La reinterpretación en gabinete consistió en hacer las modificaciones necesarias, de acuerdo a lo observado en campo; de igual manera que el envío de muestras de roca y agua para su análisis petrográfico y químico, respectivamente, lo que permitió tener una mejor descripción de las unidades geológicas. Con los datos de los análisis químicos se graficaron los diagramas semilogarítmicos de Schoeller-Berkaloff, la clasificación geoquímica y las familias de agua.

g) Se digitalizó un plano base, escala 1:100 000, que contiene la topografía, la hidrología, la toponimia y los poblados más relevantes, entre otros; de ahí se crearon las cartas geológica, morfogenética y geohidrológica. Cabe aclarar que los planos de los proyectos se elaboraron a escala 1:50 000. Subsiguientemente, y con apoyo en lo antes referido, se redactó el texto.

## **CAPITULO III FISIOGRAFIA**

### **III.1 Fisiografía.**

Según la clasificación de las provincias fisiográficas elaborada por la Dirección General de Geografía, (D.G.G.), del Instituto Nacional de Estadística e Informática (I.N.E.G.I.), en 1981, el área de estudio se encuentra en la provincia conocida como Sierra Madre del Sur (XII), dentro de la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima (65) como se ilustra en la figura III.1. Esta subprovincia se caracteriza por ser un sistema de toposformas de sierras altas complejas (1 00-0/01) constituidas por rocas intrusivas.

Otra característica de ella, es la formación de valles intermontanos con lomeríos (6 02-0/03); además dentro de la subcuenca se encuentran los valles de San Miguel y San Miguelito, en su porción septentrional, a una altitud de 400 y 200 msnm, respectivamente. El primero presenta un sistema de lomeríos de litología compleja, mientras que en el segundo, su litología es parte de las rocas intrusivas que conforman la subprovincia fisiográfica.

Hacia el mar entre el delta del río Cuitzmala y el estero El Rodeo, se encuentra la llanura costera de fase salina (5 23-4/03) tal como lo muestra la figura III.2.



Fig. III. 1.- Esquema de provincias fisiográficas.

### III.2 Hidrografía.

Contenida en la Región Hidrológica No.15 (RH15), Costa de Jalisco, la zona que nos ocupa pertenece a la cuenca del Río San Nicolás-Cuitzmala (B), específicamente en la subcuenca río Cuitzmala (a(1095)), en la que su corriente principal desemboca directamente en el océano Pacífico (fig. III. 3).

El río Cuitzmala obtiene el aporte de un gran número de corrientes perennes e intermitentes, entre las que destacan los ríos: El Horno, El Carrizo, El Veladero, San Miguel y Tepetate, y los arroyos, Sila, San Luis, Telpitita, El Tene, El Cuate y Los Metates o Las Truchas.

A lo largo de esta subcuenca, el río Cuitzmala recibe diferentes nombres desde su nacimiento: al norte, en las faldas del cerro El Remudadero, se le conoce como río Remudadero; posteriormente, se le nombra Jirosto, Higuerillas para que finalmente, sea bautizado como

Cuitzmala, de donde se deriva el nombre de la subcuenca hidrológica en cuestión.

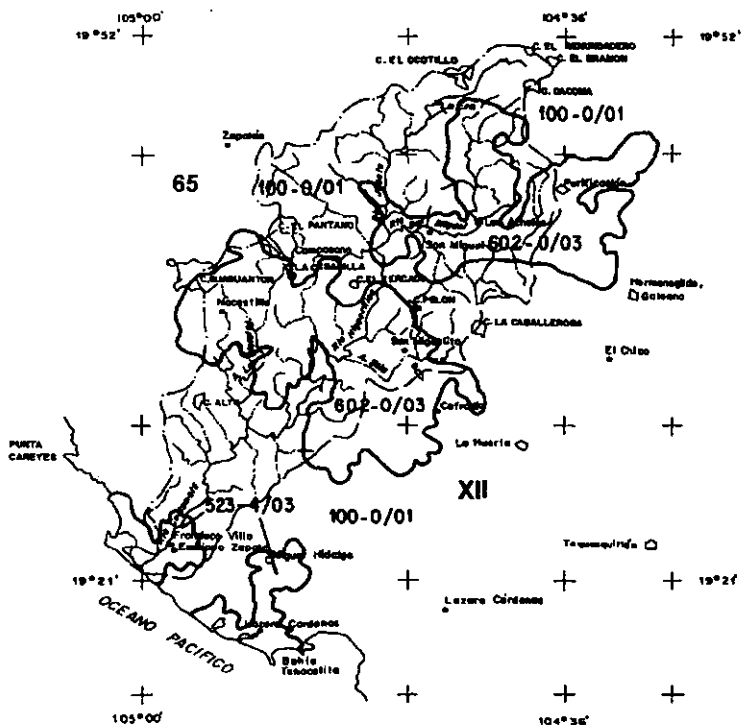


Fig. III.2.- Esquema de provincias y subprovincias fisiográficas.

Con una longitud aproximada de 105 kilómetros, el río Cuitzmala corre en dirección general noreste-suroeste.

Conformada por un conjunto de corrientes secundarias, la red de drenaje integra un sistema dendrítico-subparalelo, integrado de alta densidad, con variación a una menor densidad en la porción sur de la subcuenca; mientras que en la parte meridional, se observan configuraciones de drenaje radial y enrejada, obedeciendo esta última a zonas fracturadas.

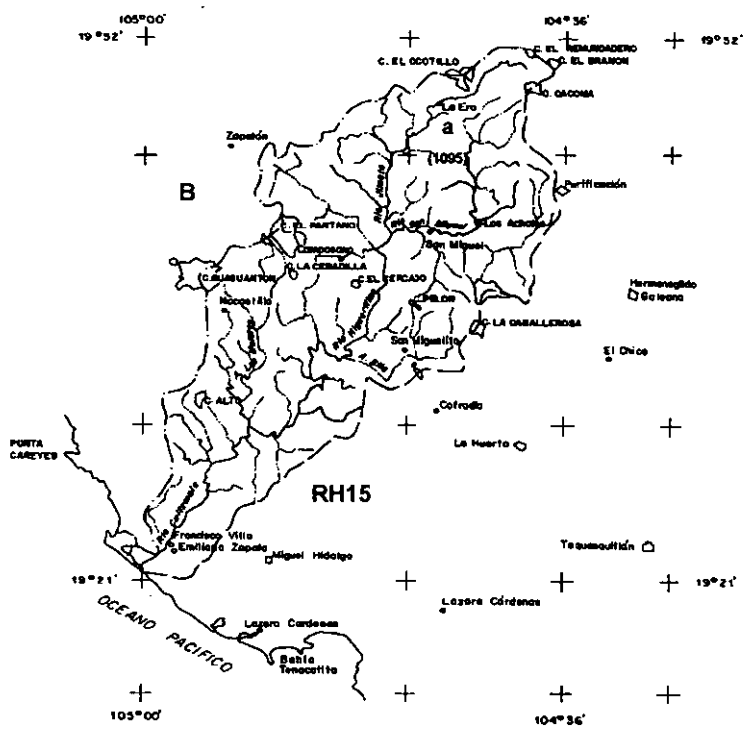


Fig. III.3.- Esquema de la región hidrológica, Costa de Jalisco.

## **CAPITULO IV GEOLOGIA**

Dado que el enfoque del presente estudio está dirigido al aspecto hidrológico y su aprovechamiento, la estratigrafía se definió, principalmente, con base en referencias bibliográficas (artículos científicos), interpretación fotogeológica, verificación regional de campo y análisis petrográficos.

### **IV.1 Estratigrafía.**

Durante el Mesozoico se depositaron los sedimentos más antiguos que se han encontrado en la zona; en ellos se ha detectado material volcánico que rompe con la idea tradicional de sedimentación marina en ese tiempo; ésta se apega más a lo descrito por Campa 1981, en el estado de Guerrero, en donde menciona la continuación de un arco volcánico insular en el occidente de México y diferenciándose el del área de estudio, por la ausencia de metamorfismo.

Ausencia de fósiles y escasez de estudios isotópicos son factores que han dificultado fijar los límites cronológicos precisos de las unidades; los últimos sólo se han enfocado al cuerpo granítico.

A continuación se describen las unidades litoestratigráficas aflorantes en el área, utilizando un orden cronológico, de la más antigua a la más joven, (plano No. 1 geológico).

## Formación San Miguel (Ki).

Se propone el nombre informal en este trabajo de Formación San Miguel, para una secuencia de rocas carbonatadas y rocas volcanosedimentarias, ambas no metamorfizadas.

Los afloramientos de esta formación se localizan al norte, oeste, sur y este del poblado San Miguel, así como en los alrededores del rancho "Los Metates" y sureste del rancho "San Miguelito".

Para su descripción y cartografía se propone diferenciar dos miembros: a) *Miembro Calcáreo* y b) *Miembro Volcanosedimentario*.

### a) *Miembro Calcáreo*.

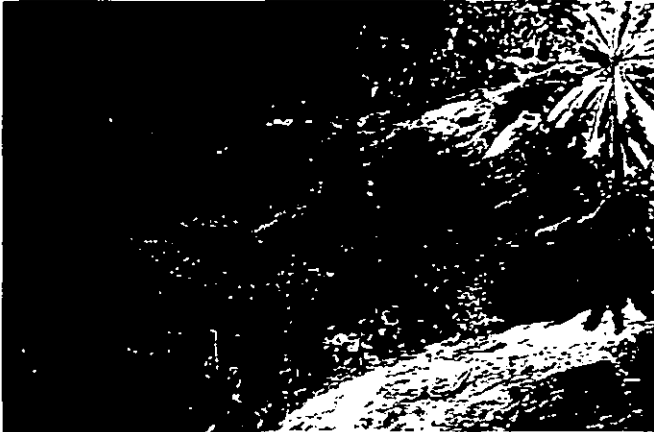
Grandes desarrollos de carbonatos (fotografía 1) con textura de mudstone a wackstone (puntos 6 y 11), son designados con este nombre, de color gris, gris oscuro y en ocasiones beige claro; ocasionalmente, se encuentra recristalizada (puntos 5 y 2); contiene gran cantidad de vetillas de calcita y esporádicamente lentes de pedernal (punto 18); su estratificación varía de capas medianas a gruesas y en ocasiones masivas. El fracturamiento es intenso, con dirección preferencial, noroeste-sureste; presenta huellas de disolución y desarrollo de carsticidad, que han propiciado la formación de cavernas.

Por su parte los estudios petrográficos mostraron cemento de espatita, hematita y sílice, con textura bioespatita; además, la hematita se encuentra diseminada y en forma de nódulos, y se observaron también microfalloamientos y estilolitas. Por todo ello fue clasificada como una caliza espática (punto 11).

### b) *Miembro Volcanosedimentario*.

Se reconoce con este nombre a una secuencia repetitiva de derrames lávicos y productos piroclásticos con cuerpos de caliza que en ocasiones, éstos últimos se encuentran lenticulares. Para su

descripción se ha subdividido en dos unidades: una volcánica y otra calcárea.



*Fotografía 1.- Afloramiento del miembro calcáreo de la Formación San Miguel.*

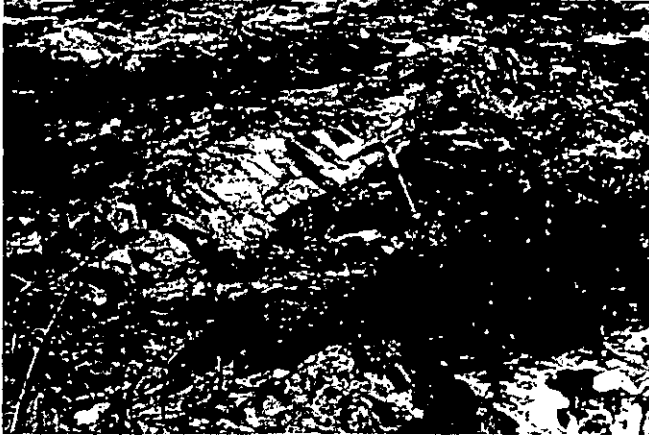
#### *b.1) Unidad Volcánica.*

En este paquete se agrupa a la secuencia constituida por derrames andesíticos y material volcanoclástico; aflora al este de la localidad de San Miguel, en los alrededores de El Divisadero y hacia Los Metates. De acuerdo con las observaciones de campo, la mayor parte de los materiales presentan una coloración verdosa, gris, gris verdoso, negro y pardo.

Los mejores afloramientos de los derrames andesíticos se localizan en los puntos 4, 8, 9, 13 y 15; los dos primeros se pueden observar en contacto con el granito y la forma de como éste la asimiló (fotografía 2); mientras que en el tercer punto, la unidad se encuentra intercalada con rocas calcáreas. Estudios petrográficos previos la clasifican como una andesita de hornblenda (punto 4) y andesita de piroxenos (punto 9). La mineralogía observada es de plagioclasa sódica (andesina-



oligoclasa), hornblenda, hiperstena y augita, así como sericita, clorita, esfena, piritita y apatito.



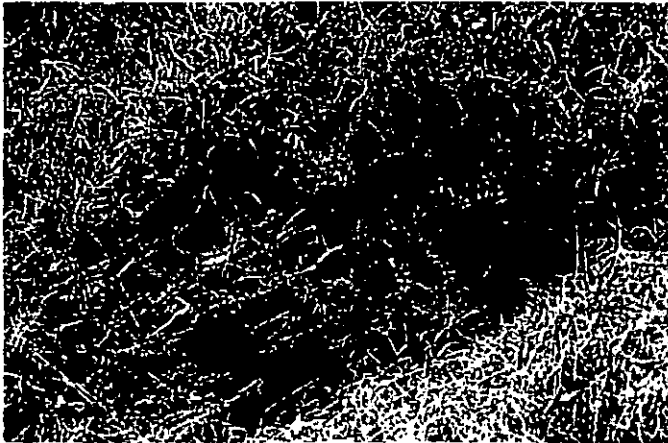
*Fotografía 2.- Afloramiento de los derrames andesíticos, del miembro volcanosedimentario de la Formación San Miguel, en contacto con el granito.*

La parte correspondiente al material volcanoclástico (arenisca-tobácea) se presenta en seudoestratos, generalmente delgados, intercalados con rocas calcáreas, al este de San Miguel, mientras que en la localidad de

Los Metates se caracteriza por la ausencia de material carbonatado. Petrográficamente (puntos 10, 12 y 19), se observaron feldespato K (ortoclasa), plagioclasa (oligoclasa) y cuarzo, además de hornblenda, epidota, clorita, sericita, hematita, magnetita y arcilla diseminada. El punto 19 muestra "gradación" (alternancia de granos gruesos y finos) y un fuerte empaquetamiento -el contacto entre los granos en su mayoría es de tipo cóncavo-convexo-, (fotografías 3 y 4).



*Fotografía 3.- Afloramiento de material volcanoclástico (arenisca tobácea), del miembro volcanosedimentario de la Formación San Miguel.*



*Fotografía 4.- Material volcanoclástico, seudoestratificado, de la Formación San Miguel.*

#### *b.2) Unidad calcárea.*

Esta secuencia aflora al este del poblado de San Miguel.

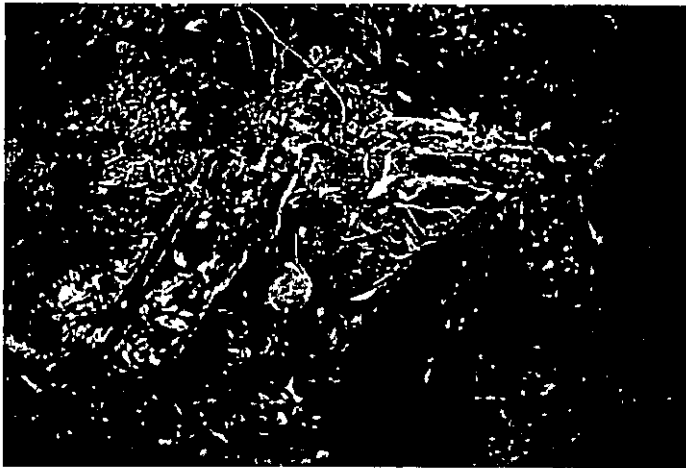
Consiste de paquetes y lentes de caliza, separada por material volcánico. La caliza es de textura mudstone, en ocasiones varía a wackstone; de color gris a gris oscuro, en muestra fresca y con tonos claros al intemperismo. Presenta la roca carsticidad desarrollada, plegamiento en ocasiones en Chevron (punto 16, fotografía 5), y estructura de boudinage, (fotografía 6). La estratificación varía desde 1 a 30 centímetros, aunque en ocasiones ésta no se observa y parecen ser estratos gruesos. La caliza se encuentra envuelta por material volcánico (punto 13, fotografía 7) y revela también nódulos de hematita cerca del contacto con la roca intrusiva (punto 17).

Petrográficamente, constituye una caliza de textura espática, ligeramente deformada y a veces recristalizada; su mineralogía se compone de calcita espática, en algunos casos tiene forma de parches o rellena fracturas (punto 16), material arcilloso (diseminado), que origina

pequeñas concentraciones en forma de grumos (punto 14), hematita y tremolita. Los componentes de la roca señalan deformación, cristales alargados y concreciones (punto 16) y algunos microfósiles difíciles de identificar que probablemente corresponden a foraminíferos (puntos 10, 2 y 14).

El fracturamiento, en general, en la formación descrita, es intenso y en varias direcciones como son: noroeste-sureste y norte-sur, mientras que el fallamiento se manifiesta en dos direcciones, noroeste-sureste y noreste-suroeste.

Cabe señalar que hacia la zona Oeste no se observaron afloramientos de carbonatos, lo cual puede deberse a la falla "Los Cimientos" o por fenómenos erosivos.



*Fotografía 5.- Afloramiento del miembro calcáreo de la Formación San Miguel, con pliegues en Chevron.*



*Fotografía 6.- Afloramiento del miembro calcáreo de la Formación San Miguel, con estructura de boudinage.*



*Fotografía 7.- Afloramiento de caliza en alternancia con material volcánico.*

La falta de evidencias paleontológicas claramente identificables, en ambos miembros de esta formación, hace difícil establecer una edad exacta para la misma, sin embargo, Bönhel et. al. (1989), por paleomagnetismo, ha ubicado a un cuerpo calcáreo, al Norte de Barra de Navidad, Jalisco, en un intervalo de tiempo Cretácico temprano (sitio 35); más al Norte de la población Purificación ubica a una andesita un intervalo de tiempo Cretácico (sitio 26) (fig. IV. 1) que bien pueden correlacionarse con el área de estudio. González-Partida y Torres Rodríguez (1988) correlacionan las rocas carbonatadas del Sur del Estado de Jalisco ("Talpa de Allende" y "Cuale") con la Formación "Morelos" ("Albiano-Cenomaniano") de la plataforma "Morelos-Guerrero". Pantoja-Alor J. y Estrada-Barrasa, S. (1986), en su estudio estratigráfico de los alrededores de la mina de fierro "El Encino", al igual que Méndez-Sainz, A. (1982) en su estudio de la misma zona, reportan secuencias similares a las aquí descritas pero con evidencias paleontológicas tales como *Coalcomana ramosa* (Boehm), *Toucasia* sp. y *Chondrondonta* sp. para las formaciones "Encino" y "Vallecitos" asignándoles una edad del Aptiano tardío al Albiano y Albiano respectivamente. Campa et. al. (1981) en su estudio de Terrenos Tectonoestratigráficos reporta una secuencia volcanosedimentaria no Metamorfizada que nombra Conjunto Zihuatanejo y lo fecha al Aptiano-Albiano por la presencia de *Coalcomana ramosa*.

Tomando como base estas evidencias, así como lo observado en campo, y dado que ésta se asemeja más a la formación "Encino", se le asigna una edad tentativa del Cretácico inferior (Aptiano-Albiano).

Las relaciones estratigráficas de esta formación y de sus miembros han sido difíciles de detectar, ya que las evidencias de campo son escasas, se considera, de acuerdo a su distribución que debe ser un cambio transicional entre ambos miembros. Donde sí es posible ver el contacto de esta formación con el cuerpo granítico es hacia los extremos donde se observa que la está asimilando y levantando, por lo que su contacto con el granito es de forma discordante.

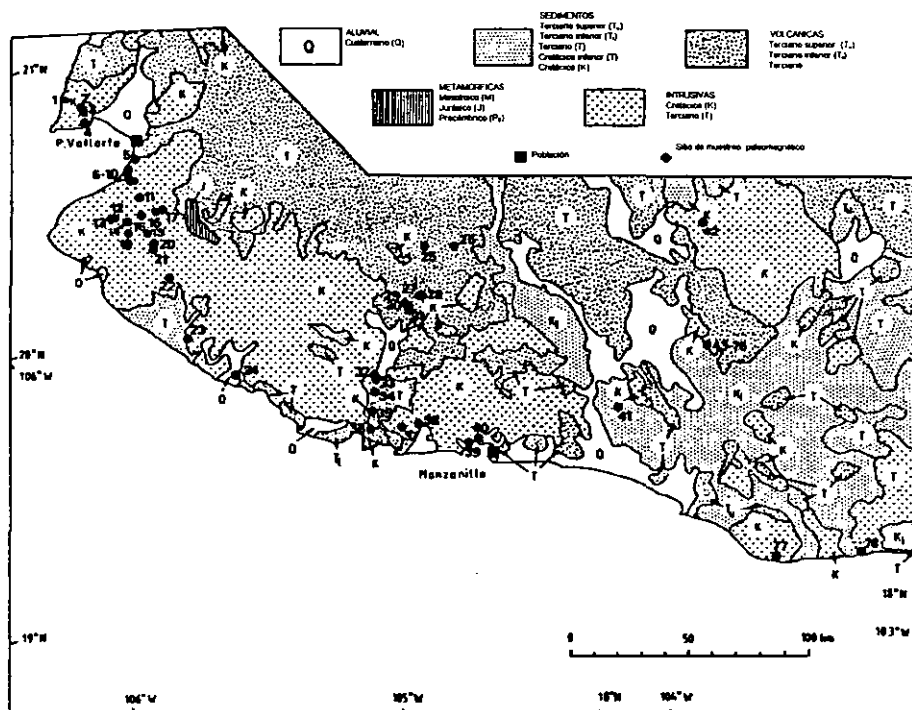


Fig. IV. 1.- Mapa geológico de los sitios de muestreo paleomagnético (Böhnel et al.).

### Granito (Ks).

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en el área de estudio y consiste de cuerpos plutónicos graníticos (punto 17) con variaciones a microgranodiorita (punto 1) y diorita (punto 4); imberiza en color café rojizo y gris rosáceo. Su mineralogía consiste de feldespato potásico (alterado a arcillas), con estructura perfitica, cuarzo, plagioclasa sódica alterada a sericita, biotita, esfena, augita, sericita y pirta. Su textura es holocristalina, equigranular, alotriomórfica (punto. 17), con variaciones a cataclástica (punto 3) y microgranular (punto 1), estos cambios en su textura sugieren un producto de greinsenización de rocas graníticas afectadas por cataclasismo para la primera y una probable diferenciación del cuerpo granítico para la segunda. Su estructura es, en ocasiones, de forma esferoidal debido al

intemperismo que le provoca una apariencia arenosas (fotografía 8), pero generalmente es compacta y masiva. Su sistema de fracturamiento es intenso y en dirección noroeste-sureste.



*Fotografía 8.- Granito con intemperismo de forma esferoidal.*

Asimismo intrusión a rocas carbonatadas sedimentarias y volcanosedimentarias del Cretácico Inferior; subyace, en forma discordante, al complejo volcánico y depósitos areno-conglomeráticos del Terciario y a depósitos continentales del Cuaternario.

Böhnel et al. (1989) reportan, al noroeste y sur de Puerto Vallarta, sitios del 1 al 22 y del 32 al 33 al suroeste de La Huerta, Jalisco y del 38 al 40 al noroeste de Manzanillo, Colima (fig. IV. 1); para el cuerpo plutónico, intervalos de tiempo del Cretácico tardío al Terciario temprano. Negendank, (1986) y González (1986), consideran que este plutonismo tiene migración en el tiempo y espacio del Cretácico Superior al Terciario Inferior.



A esta unidad se le ha asignado, de acuerdo con las relaciones de campo y con los reportes de los autores mencionados anteriormente, una edad del Cretácico Superior, sin dejar de considerar su migración en el tiempo y espacio hasta el Terciario Inferior.

Su morfología es de sierra alta compleja con lomeríos de laderas tendidas.

### Conjunto Volcánico (Ti).

Se designa con este nombre a un grupo de rocas volcánicas ácidas e intermedias que afloran a lo largo de la línea de costa, en forma aislada, constituidas por toba ácida, riolita, ignimbrita y riolacita así como toba intermedia, andesita y sílice.

Como parte del área de estudio afloran la toba intermedia, la ignimbrita y el sílice, con una distribución restringida, ya que sólo aparece la primera al norte de la población de Emiliano Zapata, la segunda, al sureste de la misma población y la tercera, en el cerro "Guaguantón" (en el límite occidental de la subcuenca y que al parecer se trata de un cuello volcánico).

La roca andesítica tiene coloración al intemperismo y fresco, en pardo, de textura piroclástica. Petrográficamente, se clasificó como una toba cristalina de composición andesítica (punto 21), dispuesta en textura merocristalina, piroclástica; la mineralogía consiste de plagioclasa sódica (andesina-oligoclasa), apatito, cuarzo, hematita, pirita y epidota, así como fragmentos de roca ígnea extrusiva intermedia.

De igual manera el fracturamiento es intenso en dirección noroeste-sureste y la roca está afectada, también, por una falla normal de orientación noroeste-sureste, que a su vez, coincide (paralelamente) con otras ubicadas al oeste del afloramiento y fuera del área.

Sobreyace discordantemente a la unidad de granito y subyace, en forma discordante, a la unidad de arenisca-conglomerado.

La ignimbrita aflora en color rojizo y en pseudoestratos, su textura es merocristalina, piroclástica. Petrográficamente, se clasificó como una ignimbrita de composición riodacítica (punto 23); su mineralogía está conformada por fragmentos de rocas ígneas extrusivas (intermedias y ácidas), plagioclasas sódicas, feldespato potásico (sanidino) y cuarzo en una matriz vítrea, ácida, hematizada con estructura fluidal, además de hematita y cuarzo que rellenan vesículas. Su fracturamiento se dirige predominantemente al noroeste-sureste. Las relaciones estratigráficas dentro del conjunto de esta unidad, no están bien definidos; la relación que guarda con respecto a la unidad de arenisca-conglomerado es en forma discordante.

En el cerro "Guaguantón" aparece, superficialmente, una roca de color gris claro, blanquesino y rosa (punto 20). Petrográficamente se clasificó como sílice, de textura holocristalina, microgranular; su mineralogía consiste de sílice microcristalino, circón y hematita, además de que su fracturamiento es intenso en dirección noroeste-sureste y en forma vertical; se le encuentra cubriendo, en forma discordante, a la unidad de granito. La morfología desarrollada en estas rocas es de sierras complejas.

Böhnel et al. (1989) reporta intervalos de tiempo, por paleomagnetismo, del Terciario temprano para volcanita, riolita y andesita, en los sitios 23, 24, 27, 34 y 36 (fig. IV. 1), al oeste y este de la subcuenca en cuestión.

Campa et al. (1981) define, hacia el occidente de los estados de Michoacán y Guerrero, al conjunto de Tilzapotla, en el cual agrupa a rocas volcánicas riolíticas e ignimbriticas, y en menor proporción, andesítica, a la que asignaron una edad Terciario temprano.

Con base en los fechamientos hechos por Böhnel et al. (1989), y lo reportado por Campa et al. (1981), así como lo observado en campo, se les ha correlacionado con dichas unidades por lo que se les colocó en el Terciario Inferior.

### **Arenisca-Conglomerado (Ts).**

Cerca de la línea de costa se encuentran rocas continentales detríticas, formadas por areniscas y conglomerados medianamente compactadas, de color beige claro (punto 22). La arenisca presenta textura clástica samítica con fragmentos redondeados de cuarzo, biotita y rocas ígneas extrusivas de composición intermedia y ácida. El conglomerado es polimíctico extraformacional constituido por fragmentos de granito, andesita, toba intermedia y ácida, de formas subredondeadas y con diámetros de 1 centímetro a 1 metro, alojados en una matriz areno-arcillosa. La morfología de la unidad es de lomerío. El fracturamiento es escaso, orientado noroeste-sureste. Sobreyace en discordancia a rocas intrusivas del Cretácico, del conjunto volcánico del Terciario Inferior, y subyace a depósitos clásticos del Cuaternario. Por su posición se le ha signado una edad del Terciario Superior.

### **Aluvial (Q).**

Depósitos distribuidos irregularmente en forma restringida en el área de estudio. Consisten en materiales clásticos continentales, resultado del intemperismo y erosión a que han estado expuestas las unidades preexistentes. Están sin consolidar y constituidos por fragmentos subredondeados de rocas ígneas intrusivas, sedimentaria calcárea y volcánica de composición intermedia; los clastos varían en tamaño de guijarro a arcilla (punto 7).

## **IV.2 Evolución Geológica.**

Llevar a cabo la reconstrucción paleogeográfica de la porción occidental de México, y en especial de la Sierra Madre del Sur y zonas aledañas, ha sido uno de los grandes problemas que han tenido diversos autores, lo que ha llevado a proponer modelos de evolución geológica basados en la formación de un arco volcánico insular en la margen occidental de México; sin embargo, estos modelos han sido enfocados principalmente a la región comprendida entre los estados de Michoacán, Guerrero, México y Morelos.

Asimismo basados en el concepto de terrenos tectonoestratigráficos propuestos por Campa, (1981), se han identificado diferentes conjuntos dentro del denominado "terreno Guerrero" (donde se localiza el presente estudio), con características propias y límites inciertos (fig. IV.2).

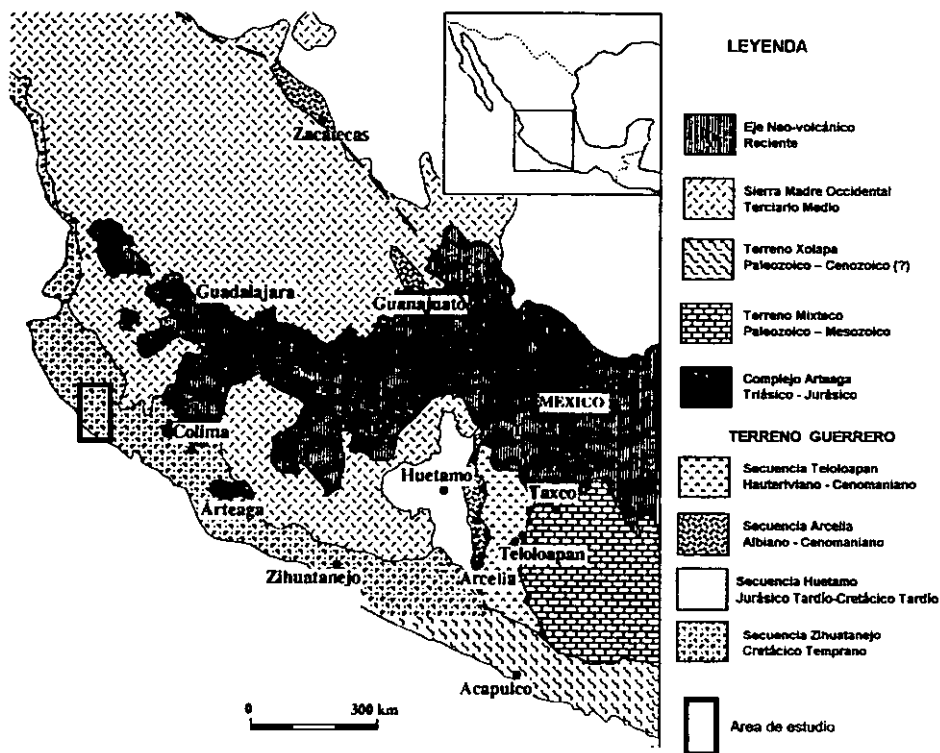


Figura IV. 2.- Terrenos tectonoestratigráficos.

En el área de estudio, la reconstrucción paleogeográfica se vuelve aún más difícil por la falta de evidencias paleontológicas, sin embargo, y de acuerdo con las correlaciones de las unidades hechas en el capítulo anterior, así como de la información e interpretaciones realizadas por Campa et al. (1974), Campa (1978), Campa y Ramírez (1979), Campa, Ramírez y Coney (1981), Vidal (1986) y González y Torres (1988), al sureste y noroeste de la zona objeto del presente

estudio, se pretende hacer una interpretación de la evolución geológica, a reserva de que estudios posteriores revelen condiciones distintas.

De acuerdo con González –Partida, E. y Torres-Rodríguez, V. op. Cit., durante el Paleozoico Superior-Triásico se formó un arco volcánico submarino, en la porción occidental de México, con un gran desarrollo pelítico en la zona de post-arco, el cual era alimentado por un continente ubicado al este, que correspondería al complejo Acatlan, y al que Ortega (1979) lo relacionó con una margen continental tipo Atlántico que se encontraba limitado por un océano pre-Atlántico Cámbrico-Ordovícico, Morán et. al. (1982). Hacia la cima de dicho desarrollo pelítico predominó un vulcanismo silícico.

Posteriormente, durante el Jurásico, cuerpos plutónicos intrusieron a la secuencia anterior, creando tierras positivas al occidente, mismas que dieron origen a los sedimentos para las series deltáicas hacia el este, durante el Jurásico Superior, y que dan lugar a un gran desarrollo de lechos rojos asociados a conglomerados, areniscas y grauvacas, que afloran en: Fresnillo y Real de Ángeles, Zacatecas, San Sebastián y San Miguel, Jalisco, Huetamo, Michoacán y Olinala, Guerrero. Las pruebas que aportan estos autores para la existencia del sistema deltáico-marino, cuyo funcionamiento probable sea hasta el Cretácico Inferior, son los siguientes:

- presencia de sedimentos terrígenos del Jurásico tardío en Huetamo, Michoacán (Pantoja, 1959);
- hallazgo de huellas de dinosaurio entre Zihuatanejo y Caleta de Campos (Ferrusquía, 1979), relacionadas con limolitas rojas (Campa y Ramírez, 1979);
- mineralizaciones de Pb, Zn, Ag(Cd) en lechos rojos en la localidad de San Miguel, Jal. (Torres y Nuñez, 1984) y
- presencia de conglomerados y lechos rojos pre-Cretácicos entre San Sebastián y Puerto Vallarta, Jalisco (Gastil, 1979).

También, proponen un modelo a partir del Jurásico Inferior al Cretácico Medio con base en lo siguiente:

*"Las evidencias anteriores, junto con observaciones de campo que muestran una litología más antigua en la parte ante-arco y de arco para el Cretácico Inferior-Medio, permiten suponer el desarrollo de un arco insular con características propias, distintas de los modelos clásicos de arco insular que han querido imponer en la región. En la figura a, b y c se muestra un esquema evolutivo de nuestra proposición, donde se tiene:*

*1. Sobre un basamento pre-Jurásico metamórfico se desarrolló un magmatismo de arco continental Jurásico, cuya distribución espacial es aún poco conocida. Sus mejores afloramientos se encuentran en Baja California y Puerto Vallarta. Su destrucción alimentó los sistemas deltaicos que rellenaron cuencas someras, en muchas de las cuales se depositaron sedimentos evaporíticos. En general se observa una progradación y zoneamiento de los sedimentos hacia el este del continente (figura a).*

*2. Un proceso distensivo provocó el fracturamiento de la placa continental en un sistema de bloques, junto con el hundimiento de éstos en el medio submarino. En este sistema de bloques se instaló el arco Cretácico. En sus afectaciones más profundas se produjeron las condiciones favorables para la inyección de rocas ultramáficas, como las descritas por Delgado y Morales (1985), en El Tamarindo, Guerrero (figura b).*

*3. El magmatismo volcánico que interdigita en sus miembros más jóvenes con calizas arrecifales, evolucionó a una cuenca de post-arco con vulcanismo interno. La apertura (rifting) en esta cuenca en dirección norte-sur tuvo por límite el complejo "Xolapa", en el cual no pudo continuar la apertura. En su lugar (al sur del estado de Guerrero), se desarrolló una pequeña cuenca zoneada que bordeaba los complejos metamórficos. Los materiales depositados dentro de ella consta de evaporitas, pelíticos y lavas andesíticas hacia la parte interna del arco (Zihuatanejo). El último vulcanismo está limitado por la plataforma Guerrero-Morelos y por calizas arrecifales,*

edificadas sobre los miembros volcánicos del arco (figura c).”

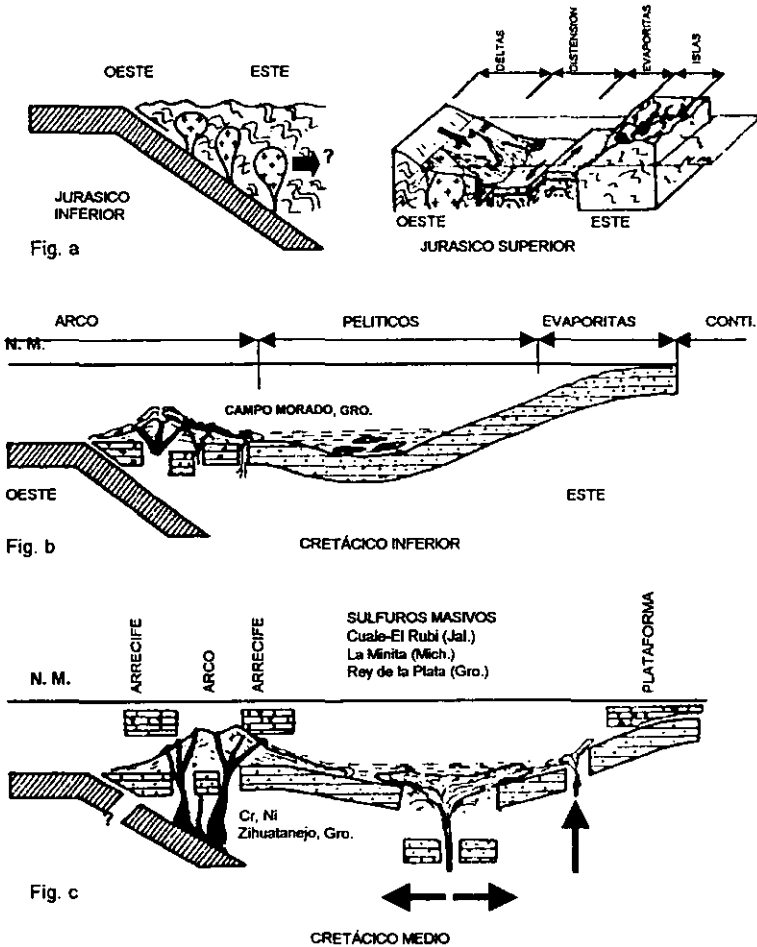


Fig. a, b y c.- Esquema evolutivo propuesto por González-Partida, E. y Torres-Rodríguez.

Tomando en cuenta la proposición anterior, el área de interés formaría parte del arco volcánico continental que se desarrolló durante el Jurásico en la porción occidental de México, donde se desarrolla una cuenca de depósito y que, posteriormente, sufre un proceso de apertura (riftificación), para después, durante el Cretácico temprano, migrar hacia la cuenca de depósito hasta instalarse en ella paralelamente ( $\xi$ ) al rift, provocando con esto, una cuenca con vulcanismo a ambos lados de la misma. En ella se van a depositar, en su parte central el miembro calcáreo de la Formación San Miguel, y hacia sus extremos, la intercalación de este miembro con material volcánico, que conforman el miembro volcanosedimentario de esa misma formación; las tierras emergidas al oeste son la fuente de aporte de los sedimentos.

A partir del Cretácico tardío se suceden cambios importantes: la continua subducción de la placa paleopacífica en la placa norteamericana provoca el emplazamiento del cuerpo granítico que traería como consecuencia levantamiento, fracturamiento, fallamiento, erosión y mineralización de las rocas preexistentes, quedando éstas en forma de bloques colgados en el cuerpo granítico; probablemente, se prolongó hasta el Terciario temprano.

Según González-Partida, E. y Torres-Rodríguez, V. op. Cit, la erosión de estas rocas elevadas, propicia la sedimentación de terrígenos arcillosos y calcáreos que se depositarían al oriente, dando como resultado las rocas de la Formación Mezcala.

En el Terciario temprano el área es sometida a una intensa actividad volcánica, así como tal vez la continuidad del emplazamiento del cuerpo granítico en áreas más restringidas, como respuesta a la transgresión del arco hacia el continente, depositándose una secuencia volcánica andesítica a la que Mc Dowell y Keiser (1977) denominaron "Complejo Volcánico Inferior"; para el Oligoceno-Mioceno la regresión del arco provocó la formación de un segundo evento volcánico, caracterizado por su composición ácida y al que también Mc Dowell y Keiser op. Cit. llamaron "Complejo Volcánico Superior", ambos complejos conforman la Sierra Madre Occidental, aunque no se descarta la posibilidad de que las rocas que afloran a lo largo de la costa de Jalisco como son: tobas ácidas, riolitas, ignimbritas, tobas



intermedias y andesitas (estas últimas en afloramiento más restringidos) sean parte de este mismo evento volcánico.

Hacia el Terciario tardío, los procesos de erosión permitieron la acumulación de rocas continentales detríticas, como conglomerados y areniscas-conglomerados, mismos que se encuentran a lo largo de la costa de Jalisco.

Durante el Cuaternario y en las partes bajas se depositó el material aluvial.

### **IV.3 Geología Estructural.**

#### **IV.3.1 Escenario Tectónico Regional.**

El área de estudio se encuentra enclavada dentro del denominado "Bloque Jalisco" el cual es una macropalaca de dimensiones modestas, que presenta un escenario estructural muy especial, debido a que se halla delimitado por tres elementos que coinciden en la parte oriental de la ciudad de Guadalajara; estos elementos son: el Graben de Tepic, con orientación N-NW, el Graben de Colima, con una tendencia N-S y por último, el Graben de Chapala, con una dirección preferencial E-W (fig. IV. 3); los tres elementos forman el único punto triple continental activo en el mundo y han tenido una evolución compleja caracterizada por movimientos distensivos y tensionales, con algunas regiones de tipo compresional, que han sido evidenciadas por análisis detallados de campo (Pasquare, et. al., Ferrari, et. al. y Garduño, et. al.).

Este sistema de fallas ocasionan que el Bloque Jalisco tenga una divagación en general al NW, lo cual provocaría que en la región de las fallas que ocasionan el punto triple tengan un movimiento combinado de tipo tensional y transcurrente, afectando tanto a los derrames de la Sierra Madre Occidental como a los del Eje Neovolcánico; de hecho el límite entre estas dos provincias parece ser tectónico como lo comprueban algunos estudios (Nieto, et. al.). Sin embargo, aun cuando existe una gran cantidad de estudios, éstos se basan en trabajos

petrológicos, geoquímicos y de cartografía regionales; hacen falta muchos datos obtenidos de trabajos de detalle de campo.



Figura IV. 3.- Imagen de satélite donde se muestra el Bloque Jalisco y los tres elementos que forman el punto triple.

En el presente estudio se muestra una serie de resultados apoyados en un análisis estructural, mismo que se hizo a partir de imágenes de satélite, fotointerpretación, rasgos topográficos (con cartas escala 1:1'000 000, 1:250 000 y 1:50 000), mapas hipsométricos, de drenaje y observaciones de campo; con esto se pretende mostrar el fracturamiento a nivel regional y local (dentro de la subcuenca) y complementar más acerca del Bloque Jalisco en su parte interna.

Regionalmente y de acuerdo a los sistemas de fracturamiento, se propone una serie de bloques generados por los mismos, con tendencias direccionales NNW-SSE, la cual es coincidente con la orientación del Graben de Chapala y otra con dirección NNE-SSW, la cual parece coincidir con el sistema del Graben de Colima (fig. IV. 4).

Los bloques propuestos en este trabajo son:

*"San Miguel"*.- Comprende desde la porción septentrional del área de estudio y rebasa los límites de la misma al norte, oriente y poniente; tiene una latitud máxima de 2600 m.s.n.m; su límite oriental se puede ubicar al este de la población de Purificación, al norte, a la altura del río "Alcihuatl", y al occidente, con el bloque "San Ignacio"; presenta una orientación regional NW-SE, con longitud aproximada de 38 km y de ancho, poco más de 30 km; las rocas que se involucran en este contexto son principalmente graníticas, materiales calcáreos, volcanoclásticos y volcanosedimentarios de la Formación San Miguel, así como el relleno aluvial de los valles San Miguel y de Los Pozos.

*"Los Cimientos"*.- Se puede decir que dentro del contexto regional, este bloque se localiza en la parte central del mismo, con una altitud máxima de 1200 m.s.n.m., delimitado: al norte por el bloque "San Miguel" (por el lineamiento "Los Cimientos", que es uno de los de mayor longitud); al sur limita con el bloque "Nacastillo", marcado por el lineamiento "La Higuera"; al suroriente es cortado por el bloque "Tecuatitán", y al noroccidente, por el bloque "San Nicolás"; tiene una orientación NW-SE, con

longitud mayor a los 30 km, con anchura promedio de 9 km. Dentro de este bloque se encuentran rocas graníticas y, en menor proporción, calcáreas, volcanosedimentarias y volcanoclásticas de la Formación San Miguel, rocas volcánicas del Terciario Superior y aluvión.

*"Nacastillo"*.- Se extiende en la porción suroccidental del área que nos ocupa y sobrepasa los límites de ésta; en sus porciones oriental y occidental, la altura máxima de este bloque es de 1380 m.s.n.m.; al norte limita con el bloque "Los Cimientos"; al oriente es interceptado por el bloque "Tecuastitán"; al occidente colinda con el bloque "San Nicolás", y al sur, con el bloque "Chamela".

La orientación de este bloque es NW-SE, con una longitud promedio de 36 km y un ancho de 18 km; las rocas mesozoicas involucradas en él son parte de los volcanoclásticos de la Formación San Miguel, así como algunas rocas del conjunto volcánico y depósitos clásticos formados por arenisca-conglomerado del Terciario Superior y depósitos aluviales.

*"Chamela"*.- Es el bloque que está situado más al sur cuyos límites físicos son los siguientes: al norte, colinda con el bloque "Nacastillo"; al suroriente es cortado por el bloque "Tecuastitán"; al norponiente, con el bloque "San Nicolás", y al sur, con el océano Pacífico; su altura máxima sobre el nivel del mar es de 380 metros, con orientación NW-SE, longitud de poco más de 50 km y un ancho que puede llegar a ser de hasta 10 km; las rocas dentro de este bloque comprenden algunos remanentes de rocas graníticas y gran parte de rocas del conjunto volcánico, así como depósitos clásticos de arenisca-conglomerado del Terciario Superior y depósitos aluviales, lacustres y de litoral.

*"La Huerta"*.- Es el bloque que se extiende al sur y al oriente, dentro del contexto regional del área de estudio, con una altura máxima de 1200 m.s.n.m.; está delimitado

por: el bloque "San Miguel" al norte; los bloques "Los Cimientos", "Nacastillo", "Tecuastitán" y "Chamela" al surponiente; asimismo su orientación podría considerarse NE-SW, aunque no está bien definida al igual que su longitud y anchura, por quedar muy alejado del área de estudio; esta cubierto por un paquete intrusivo con vestigios de rocas calcáreas y volcanoclásticas mesozoicas; presenta también rocas volcánicas, depósitos clásticos y aluvión.

*"Tecuastitán"*.- Este bloque, considerado a nivel regional y dentro del área de estudio, se encuentra cortando a los bloques "Los Cimientos", "Nacastillo" y "Chamela"; alcanza una altura máxima de 710 m.s.n.m.; sus límites laterales los conforman los ríos "Purificación" y "Cuizmalá"; al norte tiene vecindad con el bloque "San Miguel", y al sur con el océano Pacífico. Su dirección es NE-SW con una longitud de 42 kilómetros y ancho promedio de 10 kilómetros; involucra, principalmente, a rocas graníticas mesozoicas, al igual que remanentes de rocas carbonatadas y volcanoclásticas de la misma edad, depósitos areno-conglomeráticos del Terciario Superior además de lacustres y aluvión.

*"San Ignacio"*.- Se localiza en la porción nor-occidental del área de interés y llega a una altura máxima sobre el nivel del mar de 1220 m; presenta los siguientes límites: al nor-este con el bloque "San Miguel"; al suroeste, con el bloque "Los Cimientos", y al occidente, con el bloque "San Nicolás". Su tendencia es NE-SW, con longitud de 30 km y un ancho de 10 km; las rocas que cubren este bloque son, esencialmente, graníticas mesozoicas, algunos afloramientos de rocas volcánicas del Terciario y, esporádicamente, afloramientos de rocas calcáreas del Cretácico.

*"San Nicolás"*.- Este se localiza en el extremo norponiente de la zona, y es el último de los ocho bloques considerados a nivel regional, con altura máxima de 680

m.s.n.m.; delimita a los bloques "San Ignacio", "Los Cimientos", "Nacastillo" y "Chamela" en su porción oriental; sus límites con estos bloques son el río "San Nicolás", probablemente, su frontera occidental sea el cauce del río "Tomatlán"; tiene una orientación NE-SW, mientras que su longitud y su ancho sobrepasan los 50 y 33 km respectivamente. La prolongación de los afloramientos de las rocas graníticas se encuentran dentro de este bloque al igual que, aunque en menor proporción, los depósitos volcanoclásticos del Cretácico, así como los depósitos areno-conglomeráticos, eólicos, de litoral y aluvial.

Como puede observarse, los primeros cuatro bloques -"San Miguel", "Los Cimientos", "Nacastillo" y "Chamela"- guardan un paralelismo con respecto a la línea de costa, mientras que los cuatro restantes, -"La Huerta", "Tecuastitan", "San Ignacio" y "San Nicolás"- se encuentran en forma perpendicular a la misma.

#### IV.3.2 Análisis Estructural.

Hacia el interior de la subcuenca se ha agrupado parte de los lineamientos que conforman los bloques anteriormente mencionados, en conjuntos, de acuerdo a los sistemas de fracturamiento que se observan; sin embargo, se debe tener presente que la tectónica de la zona es compleja, al igual que sucede con los otros conjuntos del terreno Guerrero; de esta forma se tienen los siguientes conjuntos (ver plano geológico No. 1):

##### *- Conjunto de lineamientos "Los Cimientos".*

Se localiza en la porción noroeste de la subcuenca, teniendo límites: al norte, el lineamiento "Portezuelo" (1), con dirección  $292^{\circ}$  ( $N68^{\circ}W$ ); al sur se encuentra el lineamiento "El Tene" (2), con longitud aproximada, hasta el río "Higuerillas", de 24 km, en donde aparentemente se conjuga con la anomalía del río "Higuerillas" y continúa hacia el extremo oriental del río a lo largo de 11 km más, sigue una dirección  $313^{\circ}$  ( $N47^{\circ}W$ ), se continúa fuera del área de estudio en ambos sentidos y es uno de los más relevantes.

Al este, tres lineamientos limitan a este conjunto: el primero denominado "Río Jirosto I" (3), cuya dirección es  $N03^{\circ}E$ ; el segundo "Telpitita" (4) orientado a  $316^{\circ}$  ( $N44^{\circ}W$ ), y el tercero "Río Jirosto II" (5), con dirección  $335^{\circ}$  ( $N25^{\circ}W$ ), que se conjuga, también, con el río Jirosto; de igual forma muestra, nuevamente, una anomalía en su arreglo fluvial, pues el cambio en el curso del río es brusco, tanto en este último lineamiento como en el de "El Tene", por lo que quizá se trate de un par de fallas normales con sus bloques caídos, para el primero al noreste y para el segundo, al suroeste y con un movimiento de transcurrancia para ambas (fig. IV. 5).

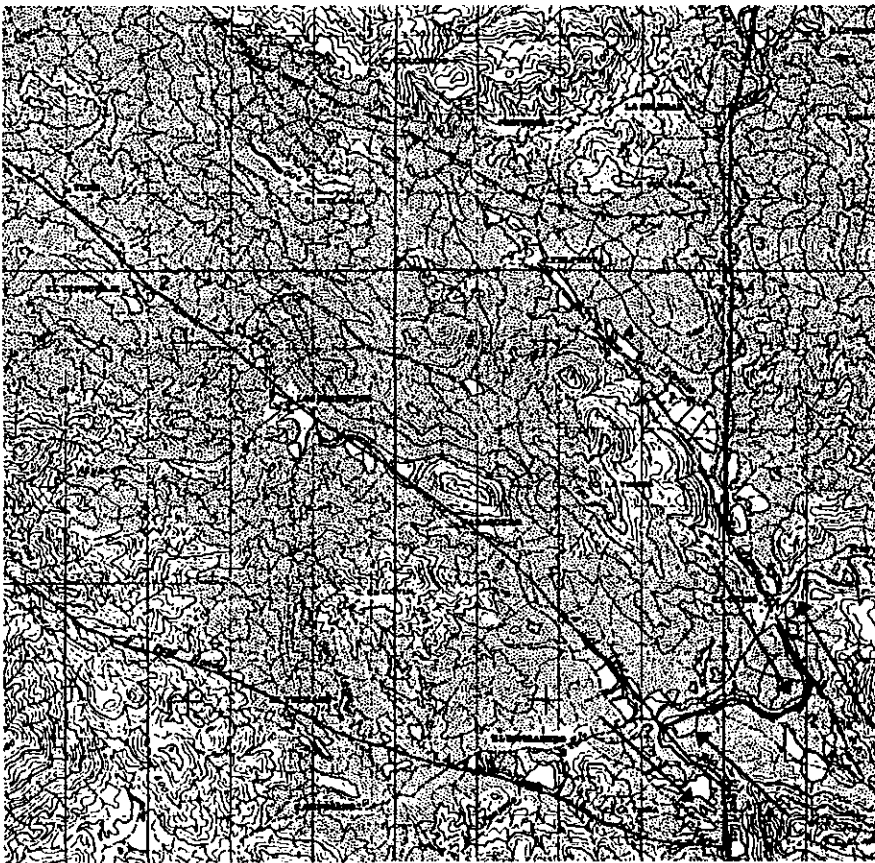


Fig. IV. 5.- Conjunto de lineamientos "Los Cimientos".

Este conjunto de lineamientos está afectando tanto al miembro calcáreo como a la unidad volcanoclástica de la Formación San Miguel y al cuerpo granítico.

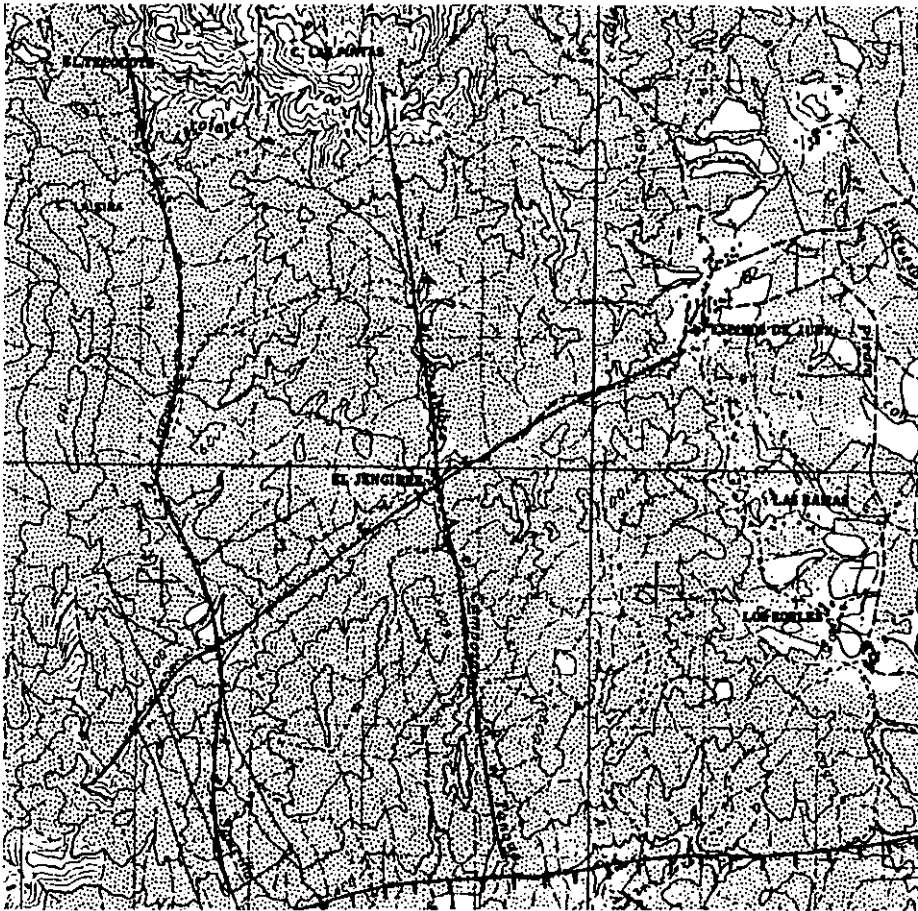
- *Conjunto de lineamientos "El Jengibre".*

Al noreste de la subcuenca y en los alrededores del rancho "El Jengibre" se localiza un grupo de lineamientos que se intersectan con un ángulo aproximado de  $70^\circ$  y que bien pueden guardar un cierto paralelismo. El lineamiento arroyo "El Jengibre" (1) tiene una dirección  $359^\circ$  (N $10^\circ$ W), con largo aproximado de 7 km; el lineamiento arroyo "El Saucillo" (2) tiene una orientación  $351^\circ$  (N $09^\circ$ W) con longitud de poco más de 7 km y el lineamiento "El Jengibre" (3), con longitud de 6.5 km y rumbo N $47^\circ$ E, entre otros. Estas estructuras están emplazadas, principalmente, en el cuerpo granítico, aunque al sur de éstas afectan parcialmente al miembro volcanosedimentario de la Formación San Miguel (fig. IV. 6).

- *Conjunto de lineamientos "Camposano".*

En la porción centro-occidental de la subcuenca se localiza un conjunto de lineamientos, con dirección de  $292^\circ$  (N $68^\circ$ W) conocido como lineamiento arroyo "Paso Hondo" (1), cuya longitud es de 12 km dentro del área de estudio, ya que se prolonga fuera de ella y es una más de las estructuras sobresalientes de la zona, - probablemente se trate de una falla con su bloque cayendo hacia el noreste-; el lineamiento arroyo "San Antonio" (2) se extiende hasta su conjugación con el río "Higuerillas", aproximadamente 10 km y un rumbo  $327^\circ$  (N $33^\circ$ W); al parecer esta estructura continúa al otro lado del río "Higuerillas"; dentro de este conjunto, y al sur de su ubicación, se encuentra el lineamiento nombrado "Miramar" (3), que viene a ser otra de las estructuras de mayor relevancia, pues se continúa fuera del área de estudio en ambos sentidos; es probable que se trate de una falla normal con su bloque cayendo hacia el sur; sigue un rumbo de  $316^\circ$  (N $44^\circ$ W), con distancia aproximada, en su porción occidental, de 15 km ya que se interrumpe en el río "Higuerillas", donde al parecer está dislocada; en su extremo sureste y a lo largo del río "Higuerillas", se reconoce una serie de lineamientos nombrados río "Higuerillas I" (4), con una dirección N-S; "Higuerillas II" (5), de rumbo  $337^\circ$  (N $23^\circ$ W);



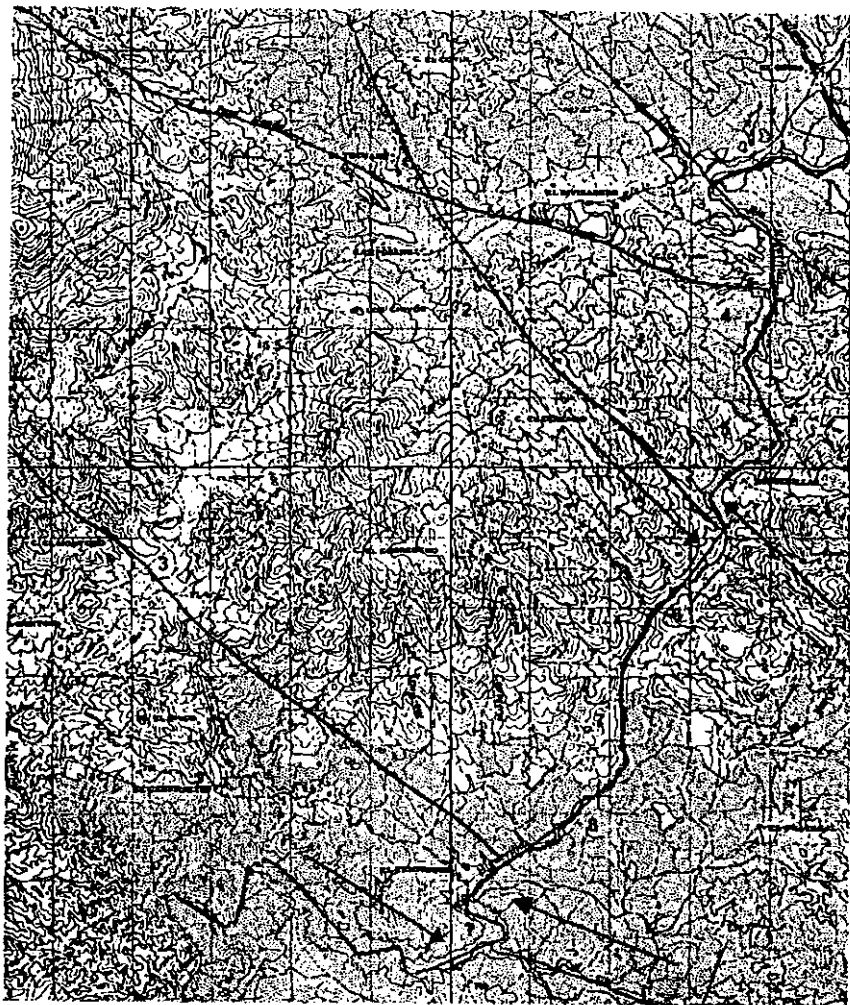


*Fig. IV.6.- Conjunto de lineamientos "El Jengibre".*

"Higuerillas III" (6), orientado al  $N38^{\circ}E$ ; "Higuerillas IV" (7) con rumbo de  $358^{\circ}$  ( $N02^{\circ}W$ ), e "Higuerillas V" (8), con dirección  $N50^{\circ}E$ . Como puede observarse a lo largo del cauce del río "Higuerillas", entre el rancho "El Divisadero" y norte del rancho "Tiradores", se tienen rompimientos significativos a lo largo de su trayectoria y que de alguna forma están interrumpiendo la continuidad de algunas de las estructuras mencionadas anteriormente; el orden que guardan estas últimas es en forma de zig-zag; dichas anomalías, probablemente,

estén ocasionando movimientos transcurrentes con desplazamientos verticales de tipo normal (fig. IV. 7).

Este conjunto se ubica principalmente en la unidad intrusiva, afectando, en menor proporción, al material volcanoclástico de la Formación San Miguel.



*Fig. IV.7.- Conjunto de lineamientos "Camposano".*

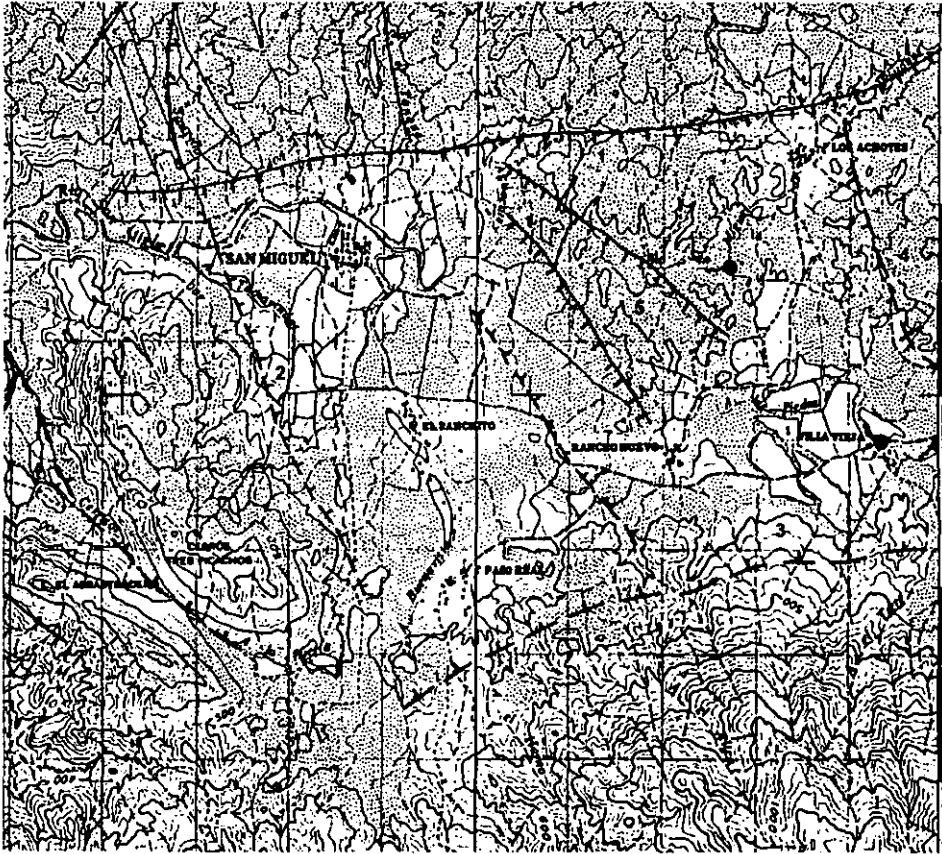
*- Conjunto de lineamientos "San Miguel".*

Al norte del poblado de San Miguel, se encuentra una estructura a la que se le conoce como "falla Los Achotes" (1); tiene una orientación N85°E y longitud aproximada de 10 km, con su bloque cayendo hacia el sur; es de tipo normal y afecta a toda la secuencia volcanosedimentaria de la Formación San Miguel; se han designado, tentativamente, como "fallas Rancho Nuevo" (5), a dos lineamientos de orientación 305° (N55°W) y 316° (N44°W), que están afectando a la secuencia volcanosedimentaria de la Formación San Miguel, en la localidad de Rancho Nuevo, cayendo sus bloques hacia el noroeste. En los alrededores de ésta, se puede observar la deformación a la que ha estado sujeta, esta formación, pues se tienen: pliegues en chevron, estructuras de boudinage y capas verticales.

Lineamiento o posible falla "Paso Real" (3) se ubica al sur del valle de San Miguel -de ser una falla su bloque estaría cayendo al norte-; tiene dirección N73°E y largo aproximado de 10 km. Otra posible falla es el lineamiento (4), que se ubica al este de la población de Los Achotes en forma semicircular; de ser una falla, su bloque estaría cayendo al noroeste. Ambos lineamientos están afectando al cuerpo granítico y a la secuencia volcanosedimentaria de la Formación San Miguel, al poniente, y al pie de los cerros Tres Picachos se encuentra una falla más (2); esta tiene dirección de N27°W y longitud aproximada de 4 km; es probable que esta sea la continuidad del lineamiento arroyo "El Saucillo" que está afectando a la secuencia calcárea y volcanosedimentaria (fig. IV. 8).

*- Conjunto de lineamientos "San Miguelito".*

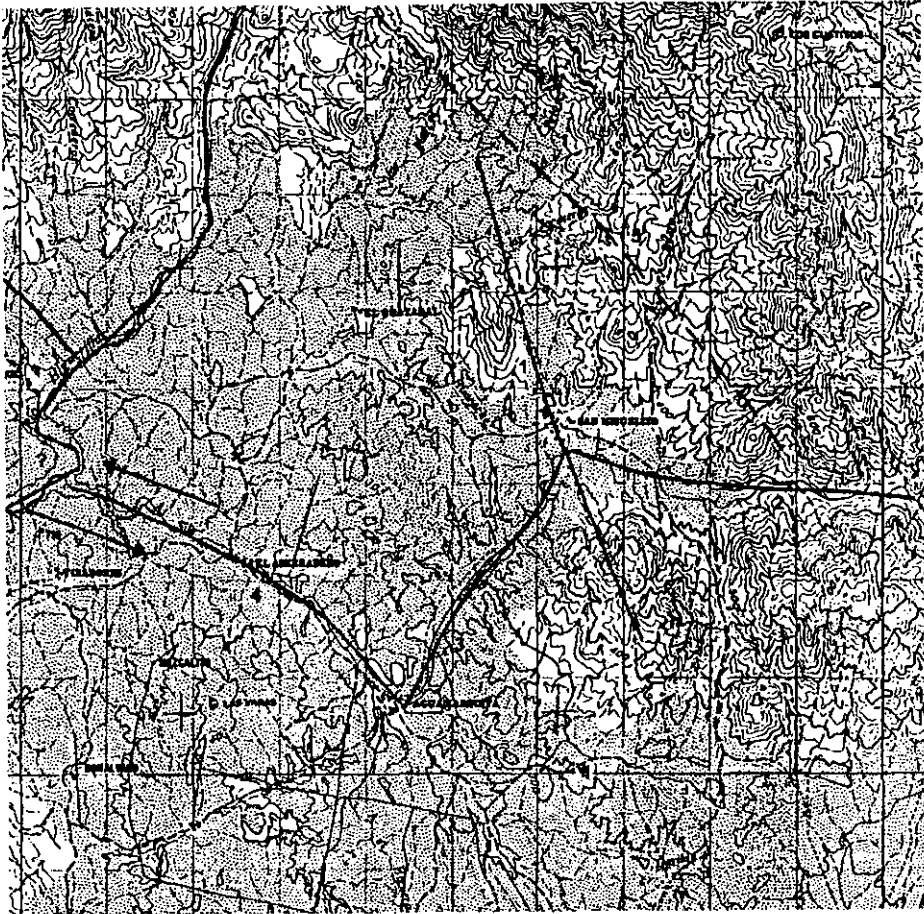
Se designa con este nombre a estructuras que se intersectan con un ángulo aproximado de 60° al sur del poblado de San Miguelito, con orientaciones 338° (N22°W), que corresponden al lineamiento "San Miguelito" (1), con longitud cercana a los 7 km; 275° (N85°W) del lineamiento arroyo "Sila I" (2), con extensión de 4 km; lineamiento arroyo "Sila II" (3), de orientación N38°E, con 3 km de longitud; lineamiento arroyo "Sila III" (4) o "Miramar", con dirección 308° (N52°W) y longitud de 5 km; ésta, quizás, sea la continuación del lineamiento "Miramar", de ser



*Fig. IV. 8.- Conjunto de lineamientos "San Miguel".*

así entonces sería la continuación de esa falla con su bloque cayendo hacia el sur y que haya sido truncada por la anomalía del río "Higuerillas", provocado, tal vez, como ya se mencionó anteriormente, por un movimiento transcurrente; cabe señalar que dentro de los lineamientos denominados "Sila I", "Sila II" y "Sila III" se observan, también, rompimientos significativos en el cauce del arroyo, estando estos en forma de zig-zag, lo cual podría ser consecuencia del movimiento transcurrente que ya se mencionó. Al norte de San Miguelito, se propone un lineamiento más y que probablemente sea la continuación del lineamiento arroyo "San Antonio" (5) del conjunto "Camposano" en su extremo sureste; tiene orientación de  $315^\circ$

(N45°W) con longitud de casi 7.5 km. Este conjunto está afectando, principalmente, a las rocas intrusivas y en su extremo oriental, a una parte de las rocas carbonatadas de la Formación San Miguel (fig. IV. 9).



*Fig. IV.9.- Conjunto de lineamientos "San Miguelito".*

- *Conjunto de lineamientos "Cuitzmala".*

Ya en la porción suroccidental de la subcuenca y cercana a la línea de costa, se encuentran dos fallas que continúan hacia el

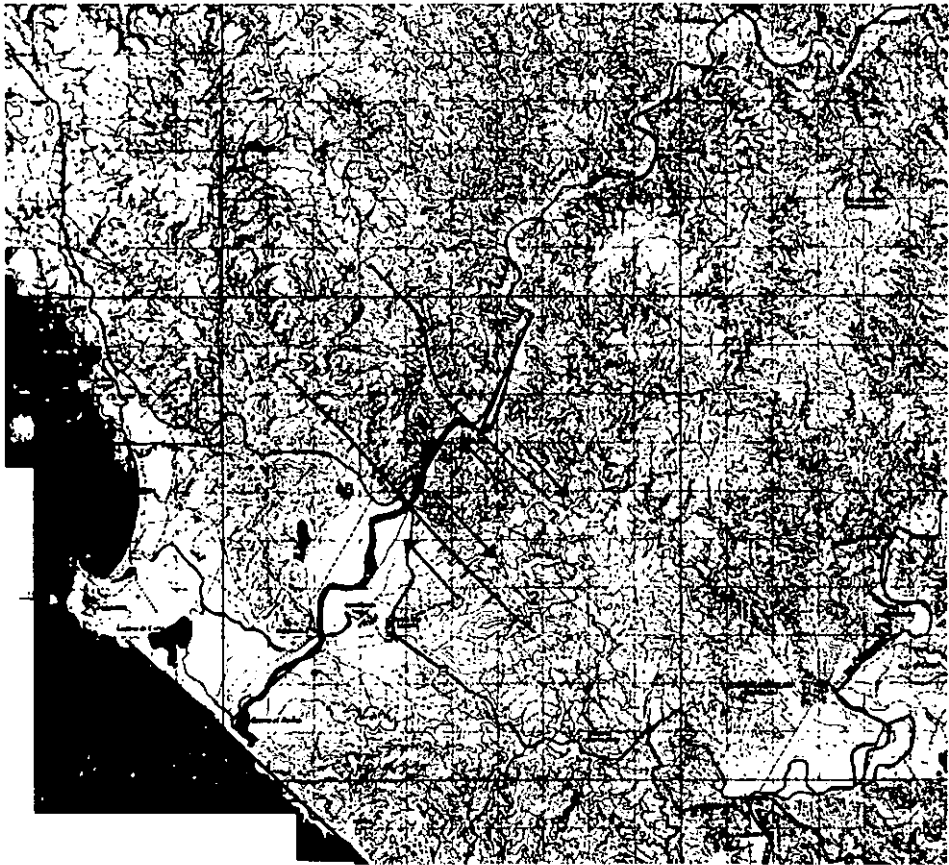
occidente y fuera del área: a la primera se le ha denominado "falla Cuitzmala III" (1), que presenta un rumbo de  $310^\circ$  (N $50^\circ$ W); hacia el noroeste de la misma, ésta sufre un arqueamiento, con tendencia  $351^\circ$  (N $09^\circ$ W); la segunda falla, al sur (2) de la primera, sigue un rumbo de  $315^\circ$  (N $45^\circ$ W); ambas guardan un cierto paralelismo. Dos lineamientos más, los denominados río "Cuitzmala I" (3) y río "Cuitzmala II" (4) guardan también, un paralelismo con una orientación N $27^\circ$ E; su continuidad se ve interrumpida por la falla "Cuitzmala III" y desplazada por la anomalía que muestra el mismo río, al igual que sucede en la porción septentrional de la subcuenca, lo que hace suponer que los movimientos de transcurrencia también pueden estar manifestados en esta parte. Dichas estructuras se encuentran afectando a la unidad granítica, así como al conjunto volcánico y a los depósitos arenoconglomeráticos (fig. IV. 10).

#### Pliegues.

De acuerdo con los datos estructurales tomados en campo y a la sección geológica elaborada de la zona de San Miguel, (por ser la de mayor interés geohidrológico, al encontrarse en ella el manantial "Los Achotes" y que de alguna forma está relacionado con el sistema estructural de la zona, al igual que los otros manantiales del área), se determinaron pliegues anticlinales y sinclinales recumbentes en la Formación San Miguel (ver sección geológica A-A'), específicamente en su miembro calcáreo, mientras que en su miembro volcanosedimentario el plegamiento es más cerrado, presentándose micropliegues, pliegues en chevrón y estructuras de boudinage (fotografías 5 y 6 ), provocado probablemente por el sistema de esfuerzos y fallamiento a que ha estado sujeta el área.

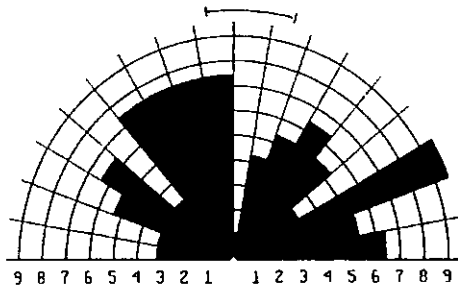
Se muestra también una carta de densidad de fracturamiento con respecto a su longitud (fig. IV. 11).

Con base en lo descrito anteriormente, así como a la carta de fracturamiento, se obtuvieron, por bloques los siguientes estereogramas (fig. IV. 12):

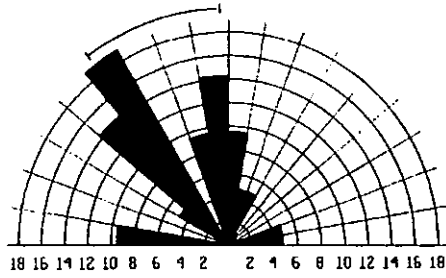


*Fig. IV. 10.- Conjunto de lineamientos "Cuitzmala".*

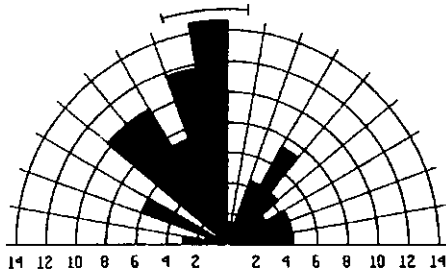
Igualmente, se puede decir que el sistema de fallas o fracturamiento sigue un patrón de escalonamiento en forma paralela a la línea de la costa y es muy probable que se tengan fosas tectónicas como grabens, de acuerdo a las secciones estructurales. Se puede decir que la porción occidental de México ha sido una zona tectónicamente activa y que continúa siendo en la actualidad, como consecuencia del choque de la placa de Cocos con la Norteamericana.



*Bloque San Miguel*

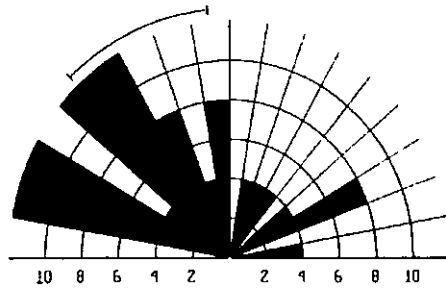


*Bloque Los Cimientos*

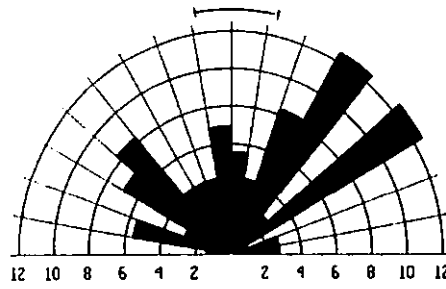


*Bloque Nacastillo*

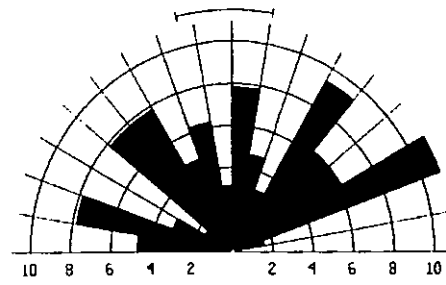




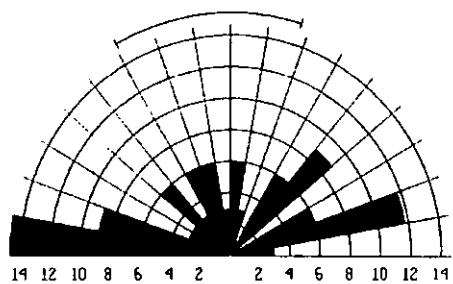
*Bloque Chamela*



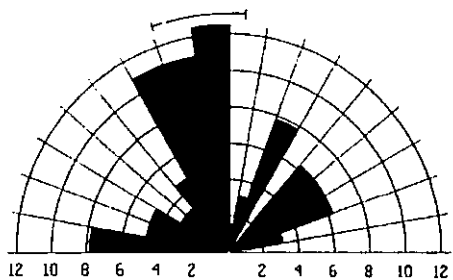
*Bloque La Huerta*



*Bloque Tecuastitan*



*Bloque San Ignacio*



*Bloque San Nicolás*

*Fig. IV. 12.- Estereogramas por bloques.*

## **CAPITULO V GEOMORFOLOGIA**

El avance que se ha tenido en los últimos años en el estudio del relieve a través de métodos geomorfológicos y morfotectónicos hace indispensable llevar a cabo su aplicación en los estudios geológicos, dado que las posibilidades de establecer una correlación entre ambas es significativa y no debe limitarse al estudio de cada uno de ellos por separado.

De esta forma para el presente estudio, se llevó a cabo la elaboración de un mapa morfológico y seis perfiles geomorfológicos (fig.V.1). El objetivo del primero es diferenciar las formas del relieve en función de la geología y topografía, el relieve se subdividió en: montaña, premontaña, elevaciones medias y bajas, valles intermontanos y llanuras, como se aprecia en el plano No. 2.

Para el segundo, se incorporan perfiles longitudinales y transversales con el fin de relacionar los elementos del relieve con los factores endógenos (tectónicos) y exógenos (denudatorio-erosivo) (fig. V. 2 y V. 3).

Así, el análisis de los perfiles geomorfológicos parte del concepto elemental de que la formación o levantamiento de masas rocosas o montañosas va acompañada del desarrollo de formas disyuntivas, englobadas dentro de un estilo estructural de esfuerzos y deformaciones tanto distensivas como compresivas de diversas magnitudes y modalidades, en la cual, los lineamientos disyuntivos definirán y limitarán montañas y morfoestructuras en bloque que se

desplazan unas con respecto a otras, a través de movimientos verticales y horizontales que corren con distinta velocidad, provocando con ello; una disposición altitudinal de bloques en diferentes posiciones y alturas. Los bloques más elevados obedecen a una intensidad mayor de los movimientos tectónicos y, obviamente, los bloques más bajos o de topografía negativa a una inmovilidad y/o a un hundimiento.

Para la interpretación de los perfiles la escala vertical se ha exagerado 10 veces, para resaltar los elementos del relieve con escasa amplitud vertical. Sin embargo la escala horizontal no fue modificada.



Fig. V.1.- Esquema de localización de los perfiles geomorfológicos.

## I. MONTAÑAS.

Esta región se ha dividido en dos unidades de acuerdo a su basamento geológico, formado por rocas ígneas intrusivas cretácicas y rocas calcáreas del Cretácico Inferior. La región de montaña se localiza de forma aislada y, aparentemente, no guarda una alineación preferencial. Con base en los perfiles geomorfológicos, esta región aparece en grandes bloques disecados.

### A.1 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico.

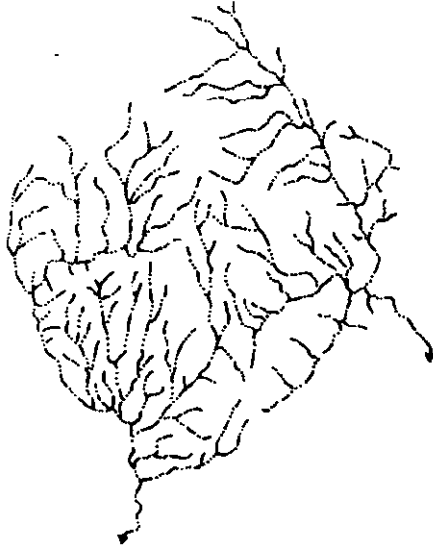
Se localiza de forma aislada y aparentemente no guarda una alineación preferencial, se sitúan a niveles topográficos entre 800 y 1760 m de altitud, con un contraste altitudinal de 960 m y con pendiente mayor a los 30°.

La erosión es intensa y lo demuestran los distintos patrones de drenaje que ponen de manifiesto la intensidad de modelado fluvial. Se reconocen dos configuraciones: anular, la cual se asemeja a un anillo, de donde toma su nombre; son configuraciones que ponen en evidencia domos en un proceso de disección avanzada. El emplazamiento de las corrientes anulares está condicionado por las estructuras primarias características de los fenómenos de intrusión y de enfriamiento (fig. V. 4).

El segundo patrón de drenaje es el subdendrítico, poco denso y con marcado control estructural, que se manifiesta en rectitudes y desviaciones de los cauces en ángulos agudos. Las estructuras disyuntivas determinan, en gran medida, esta configuración no así la pendiente. Dicha configuración es una modificación de la dendrítica (fig. V. 5).

Los perfiles que caracterizan la zona de montaña permiten identificar una serie de pilares tectónicos, escalonados (limitados por escarpas de fallas y alineamientos), basculados al SW y desmembrados por procesos erosivo-fluviales. El sector de montaña aparece en todos los perfiles que se presentan; cabe mencionar que

esta región está separada por un graben, (perfil C-C' entre los sectores I-J).



*Fig. V. 4.- Drenaje anular desarrollado en rocas graníticas.*



*Fig. V. 5.- Drenaje subdendrítico.*

## **B.2 Formadas en el complejo sedimentario del Cretácico Inferior.**

Esta zona montañosa es de menor dimensión con respecto a la anterior y, a diferencia de la misma, tiene una orientación NW-SE; alcanza una altura de 800 a 980 m.s.m.n. La porción más álgida está representada por el cerro "Ixtlahuaca"; asimismo su contraste altitudinal es de 180 m y su pendiente es mayor a 45°. Por su parte, la red del drenaje es de tipo subdendrítico, poco denso, con marcado control estructural.

La zona de montaña se presenta como un pilar tectónico escalonado, plegado y desmembrado por escarpas de falla. También, se reconocen cúpulas que corresponde a las cimas de dichos pilares, con basculamiento general al SW. A diferencia del perfil C-C', estas cúpulas tienen impulsos tectónicos de menor magnitud (perfil A-A', sectores B1 y B2).

## **II. PREMONTAÑA.**

Es una región de transición entre la montaña y las elevaciones medias; esta conformada por rocas ígneas intrusivas del Cretácico, sedimentarias (caliza, volcanoclástico y volcanosedimentario) de edad Cretácico Inferior y parte del complejo volcánico del Terciario Inferior.

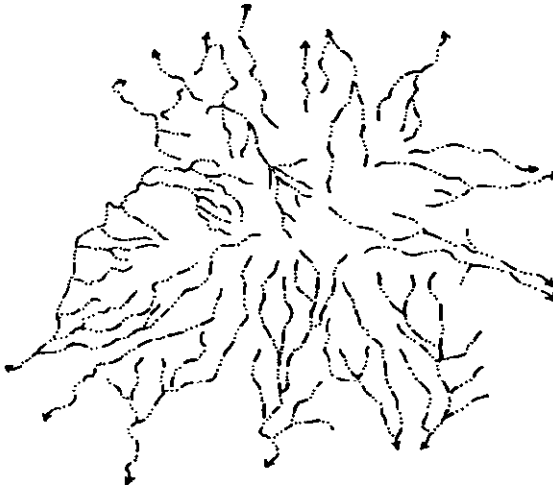
La premontaña es una región muy extensa y de acuerdo a su basamento geológico va a tener una alineación preferencial (calizas). Este territorio puede ser identificado en todos los perfiles geomorfológicos, aunque en algunas ocasiones su extensión sea reducida.

## **C.3 Formadas en el complejo volcánico del Terciario Inferior.**

Está representado por el cerro Guaguantón, que alcanza una altitud máxima de 1020 m y una mínima de 800 m con desnivel topográfico de 620 m y pendiente superior a los 45°. Toda la estructura presenta un basculamiento al SW; se encuentra desmembrado por

escarpas de falla y la disección fluvial presenta una red de drenaje centrífugo, que pone en evidencia elevaciones aisladas (fig. V. 6).

Morfológica y geológicamente el complejo volcánico es una región aislada, con respecto a las unidades morfológicas que lo limitan (perfil C-C', sector E1).



*Fig. V. 6.- Drenaje centrífugo.*

#### **D.4 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico.**

El cuerpo intrusivo de esta región forma una masa homogénea y uniforme en la que no se aprecia ninguna dirección predominante. Su rango altitudinal superior es de 800 m y el mínimo de 400 m, con pendiente mayor a 30°.

Son bloques generalmente en forma de pilares tectónicos, con cimas redondeadas, desmembrados, escalonados (limitados por fallas y alineamientos reflejados por escarpas) y basculados al SW, como consecuencia de la actividad tectónica a la que han estado sujetos, reflejándose en una intensa actividad erosiva, a través de diferentes tipos de drenaje:



*Configuración de drenaje enrejado:* se origina con la presencia de fallas, por hundimiento de bloques paralelos o bien a lo largo de zonas fracturadas. Se caracteriza por tener cursos principales paralelos entre si, a los que se unen tributarios primarios y secundarios en ángulo recto (fig. V.7).

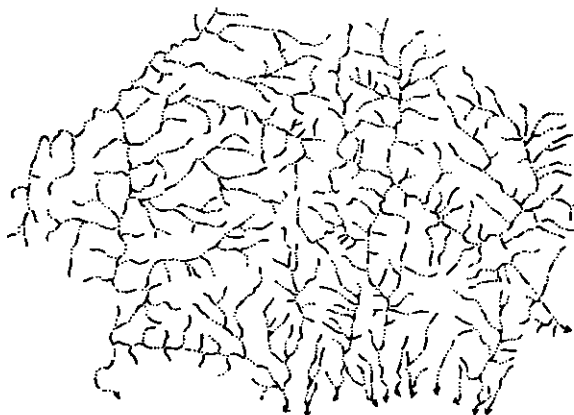


Fig. V. 7.- Configuración de drenaje enrejado.

*Drenaje subdendrítico:* es una modificación de la configuración dendrítica, evidencia menor control de la pendiente, así como una intensa actividad erosiva a través de fallas y fracturas.

*Configuración anular:* se presenta sobre domos intensamente disecados, este proceso se ve favorecido por la presencia de fallas y fracturas producto del enfriamiento del cuerpo intrusivo que, posteriormente, son aprovechados por las corrientes fluviales.

En todos los perfiles geomorfológicos aparece el sector de premontaña; se alterna con las regiones montañosas, a manera de depresiones, que bien pueden considerarse como grabens (perfil C-C', sector H1; perfil B-B' sector B1 y B2; y perfil C-C' sector E2).

### **E.5 Formadas en el complejo sedimentario del Cretácico Inferior.**

Con una altitud mínima de hasta 300 y máxima de 800 m presenta un desnivel altitudinal de 500 m, cuya orientación preferencial es NW-SE y, pendiente, mayor a 30°.

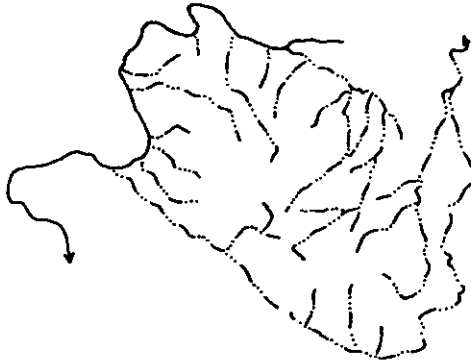
Los perfiles típicos de esta zona muestran una serie de pilares tectónicos escalonados (limitados por escarpas de fallas y alineamientos), plegados, basculados al SW y desmembrados. La configuración fluvial está representada por un patrón del tipo enrejado. El arroyo Telpitita, al norte, es el límite superior y el Tene, al sur, es el inferior (fig. V. 8).



*Fig. V. 8.- Drenaje enrejado.*

Existe otro patrón de drenaje, el anular, conformado por los arroyos Tamarindos, La Puerta, Cerritos y por los ríos Jirotto y San Miguel. Su existencia es anómala en una región de origen sedimentario y puede tener relación con movimientos laterales (fig. V. 9).

Esta zona se observa en la mayoría de los perfiles, donde destaca por su morfología de cúpulas, que refleja un bajo impulso tectónico y se encuentra desmembrada por un graben (perfil A-A' sector B1).



*Fig. V. 9.- Drenaje anular.*

### **F.6 Formadas en el complejo volcanosedimentario del Cretácico Inferior.**

Tiene una altitud mínima de 330 y la máxima de 540 m, siendo su contraste altitudinal de 210 m, sin orientación preferencial definida, con pendiente mayor a 30°.

Elementos tectónicos enmarcan esta zona, que se encuentra desmembrada a manera de bloques escalonados basculados al SE, de cimas redondeadas. La red fluvial que caracteriza dicho complejo tiene un patrón enrejado. En este caso, el control estructural del drenaje es el resultado de la diferente resistencia de los estratos, que además están plegados, por lo que los cursos principales corren por las capas más blandas (perfil geomorfológico F-F').

### **G.7 Formadas en el complejo volcanoclástico del Cretácico Inferior.**

Su contraste altitudinal es de 260 m ya que su altura máxima es de 620 y la mínima de 420 m; no tiene una orientación definida, se trata

de un bloque limitado por escarpas, basculado al SW, con una pendiente mayor a  $10^\circ$  y una red de drenaje en enrejado cuyos tributarios primarios son los que están actuando sobre la unidad.

### **III. ELEVACIONES MEDIAS.**

Corresponde a una zona de transición entre la premontaña y las elevaciones bajas, constituidas por rocas ígneas intrusivas (granito) del Cretácico y rocas volcanoclásticas del Cretácico Inferior.

#### **H.8 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico.**

La cota máxima de altitud que alcanza es de 400 m y su mínima de 200, con un desnivel de 200 m. Tiene una pendiente mayor a los  $12^\circ$ .

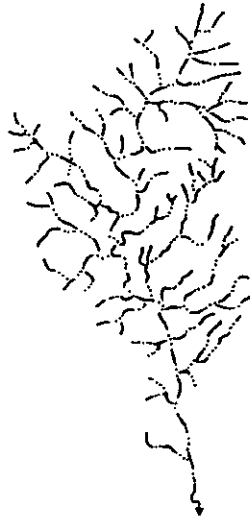
Se trata de pilares tectónicos escalonados, en donde cada desnivel representa impulsos de diferente magnitud. Estas estructuras están limitadas por escarpas de falla y alineamientos del relieve; así mismo, se encuentran basculados al SW, desmembrados, con cimas redondeadas y planas. Aunado a los esfuerzos tectónicos, los procesos erosivos también han actuado en la región. Se han desarrollado configuraciones de drenaje de tipo enrejado y subdendrítico poco denso y con un marcado control estructural (perfil E-E'; perfil B-B' sectores B, C y D; perfil C-C' sector C).

#### **I.9 Formadas en el complejo volcanoclástico del Cretácico Inferior.**

Tiene altura máxima de 380 m y mínima de 200; su contraste altitudinal es de 180 m, con una pendiente mayor a  $8^\circ$ .

Se presenta en forma aislada en tres cuerpos alargados bien definidos con una orientación general N-S, con morfología de bloques que están basculados al SW, mientras que sus límites están representados por escarpas de falla. Por su parte, la configuración del

drenaje es del tipo dendrítico; sus tributarios se encuentran en ángulo recto, lo cual evidencia anomalías que pueden atribuirse a fenómenos tectónicos; igualmente, presupone la presencia de rocas de composición homogénea (fig. V. 10 y perfil E-E' sector B1).



*Fig. V. 10.- Drenaje dendrítico.*

#### **IV. ELEVACIONES BAJAS.**

Zona de transición entre las elevaciones medias y la llanura, constituida por rocas ígneas intrusivas cretácicas, rocas volcánicas del Terciario Inferior y depósitos areno-conglomeráticos del Terciario Superior.

##### **J.10 Formadas en el complejo intrusivo del Cretácico.**

Se localizan en la porción baja de la cuenca de estudio y en estrecha relación con el escurrimiento principal. Morfológicamente,

corresponde a las laderas altas del valle del río Cuítmala, cuya altitud máxima es de 180 m y la mínima, de 20, además de presentar un desnivel de 160 m y pendiente mayor a  $18^\circ$ .

Como resultado de la intensa actividad fluvial, se ha dado una morfología de pilares aislados, escalonados, con cimas agudas. Este hecho denota una actividad intensa de la erosión remontante hacia las superficies interfluviales. La red de drenaje es muy densa, lo que da un patrón del tipo dendrítico (perfiles C-C' y E-E').

### **K.11 Formadas en al complejo volcánico del Terciario Inferior.**

Este complejo es parte de una franja que se extiende en forma paralela a la línea de costa, que en este caso aflora en dos porciones; su nivel altitudinal va de 220 a 20 m, con pendiente general de  $20^\circ$ .

Presenta una morfología de pilar desmembrado, afallado y basculado al SW. De igual manera la configuración de drenaje está representada por la conjugación de la anular y la enrejada (fig. V. 11).



*Fig. V. 11.- Drenaje anular y enrejada.*

## **L.12 Formadas en el complejo areno-conglomerático del Terciario Superior.**

Con una altura mínima por debajo de los 20 m y poco más de 240 m, tiene una diferencia topográfica de 220 m y una pendiente mayor a los 15°.

Esta región se localiza en la parte terminal de la cuenca, es una región previa a la desembocadura del río Cuitzmala; su altura máxima es de 240 m y la mínima, de 20; la pendiente general es superior a los 15°.

Representada por estructuras aisladas de cimas planas y agudas, la morfología es heterogénea, aparentemente sin un arreglo estructural definido, aunque se pueden observar fallas y un basculamiento preferencial hacia el SW (perfil C-C' sector B).

## **V. LLANURA INTERIOR.**

Son superficies planas que se encuentran distribuidas principalmente dentro de la región "Premontaña" y esporádicamente en las "Elevaciones Medias"; no guardan una orientación bien definida, sin embargo en ocasiones se hallan en forma alargada con una dirección NW-SE; llegan a alcanzar desniveles topográficos máximos de 40 m y mantienen una pendiente generalizada de 3°.

El ancho de la llanura, esto es, la distancia entre sus laderas, va a depender de la importancia de la corriente que la está cortando, así como al tipo de roca que la conforman.

Presentes en algunos de los principales cauces de la subcuenca, las llanuras están limitadas en sus laderas por escarpes de hasta 80 m, mientras que en las zonas donde la corriente forma meandros, las laderas de la llanura no son muy altas, marcando una zona de transición rápida hacia las regiones de "Premontaña" o "Elevaciones Medias" (ver mapa morfológico).

## **VI. VALLES INTERMONTANOS.**

Correspondientes a las laderas inferiores de los escurrimientos principales, los valles intermontanos tienen forma de "V", estrechos en donde predomina el proceso erosivo sobre el acumulativo. El ancho de estos valles no rebasa los 200 m y su pendiente no mayor a 2°.

Siguen un patrón de drenaje recto y meándrico en algunas de sus porciones; estos últimos pueden clasificarse como meandros encajados. Se trata de estructuras controladas por fallas, esto hace que se presenten cambios bruscos en su dirección, con ángulos de 45° y cerca de 90°.

## **VII. LLANURA FLUVIAL ACUMULATIVA.**

Se extiende en el lecho de inundación del río Cuitzmala; es una zona plana donde los procesos de acumulación son los que rigen la dinámica exógena de esta zona. El patrón de drenaje está representado por meandros libres-divagantes, lo que pone de manifiesto la cercanía del nivel base de toda la cuenca.

La llanura es una amplia superficie, con una longitud aproximada de 6 km y una anchura promedio de 2 km; se encuentra rodeada por elevaciones bajas y sus límites están determinados por fallas. Su origen es el resultado del acarreo y depositación de gravas y arenas, ocasionado por las descargas que sobrepasan el cauce del río y del aporte de los arroyos que la rodean; presenta una altura sobre el nivel del mar menor de 20 m, con una pendiente general de 1°.

La llanura fluvial acumulativa tiene una penetración en el valle del río principal, y obedece a la alternancia de la erosión y acumulación que han actuado, principalmente, en forma lateral, llegando a alcanzar una anchura de 500 m. La acumulación de sedimentos que se lleva a cabo en este sector, pertenece, en gran parte, a depósitos gruesos, ya que la depositación de los sedimentos finos se lleva a cabo aguas abajo.



## VIII. LLANURA FLUVIO MARINA.

Esta región corresponde a la zona de transición entre el continente y el océano, por lo tanto, de una dinámica intensa; mide 2.5 km de ancho y está constituida por depósitos no consolidados del Cuaternario, como son arenas, gravas y limos; alcanza alturas menores a los 20 msnm. y su pendiente no rebasa 1°.

Se caracteriza por ser una región horizontal limitada hacia el continente por una falla, ésta a su vez es su frontera. En ella el río Cuitzmala realiza su recorrido final antes de desembocar en el estero El Rodeo; otro de sus brazos hace un recorrido un poco más largo para desembocar en la ensenada Teopa.

## **CAPITULO VI HIDROGEOQUÍMICA**

Uno de los elementos que sustentan todas las formas de vida, es el agua ya que sin ella ningún organismo podría desarrollarse. El agua es una sustancia química inolora, incolora e insabora; es uno de los principales agentes erosivos capaz de arrastrar consigo desde sales disueltas hasta grandes fragmentos de rocas a grandes distancias.

La disponibilidad del agua no depende solamente del volumen almacenado en el acuífero, sino de la calidad de la misma para que, basándose en ésta, saber el uso al que se le puede destinar.

Con apoyo en la interpretación química del agua, la hidrogeoquímica está relacionada con las condiciones geológicas, climáticas y con el funcionamiento hidrogeológico. Para su interpretación no debe olvidarse que el agua proviene principalmente de la lluvia, de la cual, una parte se infiltra para dar inicio a su recorrido a través de las rocas; al entrar en contacto con el subsuelo, empieza a disolver las sales minerales que lo forman, iniciándose así cambios en su composición química. Esta composición química está en función de la solubilidad y constitución de las rocas por las que circula, así como de los factores que afecten la solubilidad, como son: la temperatura, el tiempo y el área de contacto con la roca, la velocidad de circulación, distancia de recorrido, etc.

## **VI.1 Muestreo y Análisis Químico.**

Cinco manantiales y un arroyo son los aprovechamientos hidrológicos que fueron seleccionados para el presente estudio (ya que no existen aprovechamientos hidráulicos como pozos o norias); estos se seleccionaron por sus características de ser perennes, mantener un caudal constante, además de no ser aprovechados; existen otros cuyo rendimiento en la época de estiaje es muy pobre o prácticamente nulo.

En dichos aprovechamientos se tomaron muestras de agua en envases de plástico esterilizados de doble tapa, herméticamente cerrados, sin burbujas, con capacidad de un litro a los que se les identificó con etiquetas, que contenían número de cada muestra, la fecha en que fue obtenida, el color y el olor del agua. La evaluación de la calidad química del agua se llevó a cabo en el laboratorio, donde se determinaron los sólidos totales disueltos, la dureza total y las concentraciones de los iones más importantes como son los cationes -Ca, Mg, Na, K- y los aniones -SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub> y Cl-. Otros parámetros obtenidos en el campo, al momento de la toma de la muestra fueron la conductividad eléctrica, la temperatura y el pH.

## **VI.2 Propiedades Físicas y Químicas del Agua.**

### **VI.2.1 La Molécula del Agua.**

Para que se forme una molécula de agua debe existir un átomo de oxígeno por dos de hidrógeno. El enlace de estos átomos es posible debido a que el átomo del hidrógeno, alrededor de su núcleo, tiene una "capa" con un solo electrón cuando tiene capacidad para tener dos. El átomo de oxígeno tiene en su capa exterior seis electrones, misma que tiene cabida para ocho, por lo cual, ambos átomos no son estables por sí solos (de hecho la molécula de hidrógeno gaseoso es H<sup>2</sup> y la propia del oxígeno O<sup>2</sup>, que es como se encuentra en el aire que respiramos). De esta forma, al entrar en contacto dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno comparten sus electrones, dando como resultado la molécula del agua (fig. VI. 1).

En las tablas VI. 2 y VI. 3 se encuentran los resultados de los análisis químicos y parámetros físicos más importantes.

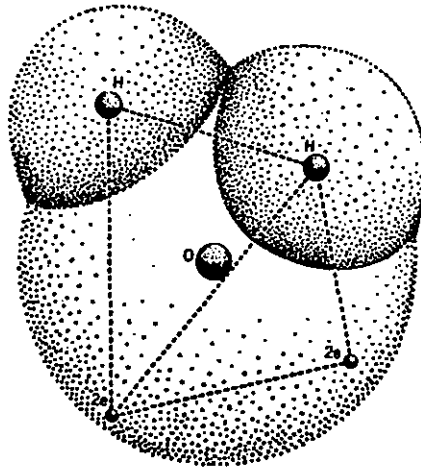


Fig. VI. 1.- Molécula del agua.

## VI.2.2 Propiedades Físicas.

### **Temperatura.**

Se define como el potencial calorífico referido a un cierto origen, es de gran importancia por su efecto en otras propiedades, tales como: la aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, entre otras.

La temperatura de las aguas subterráneas es poco variable y va a estar en función de la media anual de la temperatura atmosférica del lugar, también se va a incrementar con la profundidad del gradiente geotérmico.

Las aguas subterráneas muestreadas presentaron una temperatura mínima de  $24^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $29^{\circ}\text{C}$ , con un promedio de todas las muestras de  $27^{\circ}\text{C}$ .

### **Conductividad Eléctrica (CE).**

La conductividad eléctrica de una solución es proporcional a su concentración de iones, ya que éstos como partículas con cargas eléctricas conducen la corriente eléctrica.

Generalmente la concentración en aguas subterráneas de sustancias disueltas en forma molecular es baja, por lo que la conductividad eléctrica es casi proporcional al Total de Sólidos Disueltos (STD), los que permiten conocer que tan mineralizada se encuentra el agua subterránea.

La conductividad eléctrica depende también de la temperatura, por lo que esta suele referirse a 25<sup>0</sup>C. Su unidad de medida es el micromhos/cm ( $\mu\text{mhos/cm}$ ).

Por su parte el agua de lluvia tiene una conductancia que oscila entre 0.5 y 30 micromhos/cm, mientras que para el agua subterránea potable tiene un rango de 30 a 2000 micromhos/cm.

En la zona de estudio, el valor más bajo de conductividad es de 100  $\mu\text{mhos/cm}$ , el cual corresponde al aprovechamiento No.1, lo que demuestra que el agua ahí no ha tenido un gran recorrido a través de la roca por la que circula antes de salir a la superficie; en el área de San Miguel-Los Achotes, los valores varían de 520  $\mu\text{mhos/cm}$  (aprovechamiento No. 3), a 360  $\mu\text{mhos/cm}$ , (aprovechamiento No. 4), mientras que el aprovechamiento No.2 muestra un valor de 400  $\mu\text{mhos/cm}$ , que viene a representar la media en la zona de interés.

En el área de San Miguelito, las conductividades varían de 360  $\mu\text{mhos/cm}$  (aprovechamiento No. 6) a 280  $\mu\text{mhos/cm}$  (aprovechamiento No. 5).

### VI.2.3 Propiedades Químicas.

#### ***Potencial de Hidrógeno (pH).***

El grado de acidez de una solución acuosa está en función de la concentración de iones de  $\text{H}^+$ , que se mide por el  $\text{pH} = \log_{10}$  de base 10 del recíproco de la concentración de iones de  $\text{H}^+$ .

Valores de  $\text{pH} < 7.0$  tienen un carácter ácido mientras que valores de  $\text{pH} > 7.0$  son de carácter básico.

Cuando un soluto se disuelve en agua los cambios del pH se dan, debido a que algunos de los nuevos iones se combinan con los  $\text{H}^+$  del agua, alterándose el equilibrio químico de la misma.

En el caso de las aguas subterráneas, el pH va a depender del contenido de cationes y aniones.

La variación normal del pH en aguas subterráneas es entre 6.5 y 8. El agua de lluvia tiene una mayor acidez por lo que sus valores oscilan entre 4.5 y 6.

Para el área de estudio, los valores de pH varían entre 6.4 y 8.1 en los aprovechamientos No.1 y No.2, respectivamente; mientras que para el resto de las muestras fluctúan entre 7.6 y 7.

### ***Dureza.***

Es la capacidad que tiene el agua para evitar que el jabón haga espuma y provoque incrustaciones en redes de distribución de agua, esto es debido a la presencia de cationes de Ca y Mg en solución.

Para expresar el grado de dureza se muestra la cantidad de Ca y Mg presente en el agua en mg/l o ppm en términos de  $\text{CaCO}_3$ , en la expresión siguiente:

$$\text{Dureza (ppm CaCO}_3\text{)} = (\text{Ca ppm}/20 + \text{Mg ppm}/12) 50$$

### ***Sólidos Totales Disueltos.***

Consiste en el residuo seco de una muestra de agua, después de su evaporación a  $110^\circ$ , el cual corresponde a la suma de todos los sólidos disueltos que el agua ha incorporado durante su trayecto, que se inicia desde el momento en que el agua de lluvia al precipitarse sobre la superficie terrestre arrastra consigo partículas y gases como el bióxido de carbono; posteriormente, al entrar en contacto con el subsuelo e iniciar su viaje a través de las rocas comienza el proceso de disolución de sales y minerales que las forman. Su concentración y tipo de elementos van a estar en función del tiempo que permanezca en contacto con la roca y de la composición y solubilidad de las mismas.

Hay que considerar que el resultado después del secado no es igual al total de las sustancias disueltas en la muestra original ya que algunos gases se liberan, los bicarbonatos han pasado a carbonatos, los sulfatos se precipitan en forma de yeso y algunos iones se volatilizan ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

En el área de estudio los valores STD en el aprovechamiento No.1 es de sólo 46 ppm y que correspondería a una zona de recarga. Para el área de San Miguel-Los Achotes varían de 435 a 337 ppm con un promedio de 396 ppm. La mayor concentración de STD corresponde al aprovechamiento No. 3. En la zona de San Miguelito se presentan valores de 335 a 272 ppm.

Como se puede apreciar, los contenidos de STD en el agua de la región no exceden los valores permitidos en la norma mexicana de la salud.

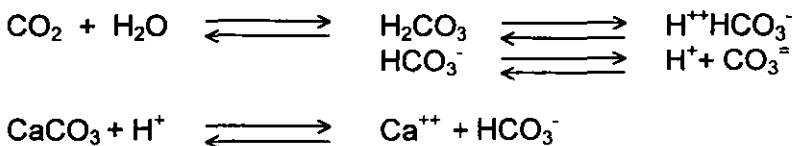
### VI.3 Geoquímica del Agua.

#### CATIONES

##### *Ion Calcio (Ca).*

El agua subterránea obtiene la mayor parte de su contenido de calcio a partir de la disolución de rocas carbonatadas como la caliza, la dolomía, la anhidrita y el yeso, también puede obtenerlo de las rocas detríticas que tengan como cementante al  $\text{CaCO}_3$  y en menor proporción de algunos constituyentes de las rocas ígneas y metamórficas al ser atacados los feldspatos, los silicatos cálcicos como la anortita, albita, piroxenos, anfíbolos, wollastonita, etc.

El calcio se presenta en forma disociada como ion bivalente  $\text{Ca}^{++}$ , siempre y cuando el pH sea elevado y la presencia de  $\text{CO}_2$  también lo sea; si el pH disminuye como una consecuencia de la reducción del  $\text{CO}_2$  el calcio ya no será más soluble en el agua y precipitará.



Calcio y magnesio juntos contribuyen a la dureza del agua, que es la propiedad que evita que el jabón haga espuma. Este fenómeno se produce cuando el agua contiene menos  $\text{CO}_2$  disuelto o su

pH es mayor que el de equilibrio, el producto  $(\text{CO}_3^{2-}) * (\text{Ca})$  supera el producto de la solubilidad y el agua tiende a precipitar  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (Custodio, 1976), por lo que se vuelve incrustante, produciendo obstrucciones en tuberías y ademes de pozos.

En general, las concentraciones de calcio en las aguas subterráneas están entre los 10 y 250 ppm. En el caso de la zona de estudio, el calcio presenta un rango de 2 a 70 ppm.

### ***Ion Magnesio (Mg).***

El magnesio tiene sus fuentes de origen en las rocas sedimentarias a través de la dolomita; en las rocas ígneas por el olivino, la biotita, la hornblenda y la augita y en las rocas metamórficas por la serpentina, el talco, el diópsido y la tremolina; además, la mayor parte de las calcitas contienen también algo de magnesio por lo que la disolución de una caliza puede proporcionar al mismo tiempo, grandes cantidades de calcio y magnesio.

La solubilidad del magnesio también está controlada, al igual que el Ca, por la presencia de  $\text{CO}_2$  y aún cuando se disuelve más lentamente es más soluble que el Ca y tiende a permanecer en solución cuando éste se precipita.

Su concentración en las aguas subterráneas varía entre 1 y 150 ppm, siendo más frecuentes las que fluctúan entre 1 y 40 ppm. Para el área de estudio el magnesio tiene un rango de 2.7 a 11.6 ppm.

### ***Ion Sodio (Na).***

Su presencia en el agua subterránea se debe al ataque de los feldespatos, principalmente a las plagioclasas sódicas, otra fuente de origen, en menor cantidad, pueden ser los minerales del grupo de las arcillas como son la montmorillonita, illita, caolinita, etc. a través del intercambio iónico y la concentración del agua de lluvia.

El agua de mar contiene cerca de 10 000 ppm, en las aguas dulces su contenido varía entre 1 y 150 ppm, para uso doméstico las concentraciones no deben ser mayores a 20 ppm y para la agricultura altas concentraciones pueden reducir la permeabilidad del suelo. En la zona los valores varían entre 8 y 36.1 ppm.



### ***Ion Potasio (K).***

La fuente más común del potasio es la descomposición meteórica de la ortoclasa, microclina, biotita, leucita y nefelinas. Tiene una solubilidad muy elevada y difícilmente precipita, se afecta fácilmente por el cambio de bases.

La concentración normal en aguas subterráneas suele ser menor a 10 ppm, sin embargo esta fluctúa generalmente, entre 1 y 5 ppm, en la zona que nos ocupa los valores oscilan de 0.02 a 0.06.

## **ANIONES**

### ***Ion Sulfato (SO<sub>4</sub>).***

El sulfato proviene, esencialmente, de las rocas sedimentarias, por la disolución del yeso y la anhidrita. Las arcillas orgánicas a través de la oxidación de marcasita y pirita pueden aportar grandes cantidades de sulfato, además de el agua de lluvia.

Procesos de reducción pueden llevarse a cabo siempre y cuando se tenga un ambiente reductor con abundante materia orgánica, lo que provocará que el ion sulfato SO<sub>4</sub><sup>=</sup> pase a un estado inferior de oxidación S<sup>=</sup> ó S, este fenómeno se realiza por la acción de bacterias que toman su oxígeno a través de él. Todo ello da como resultado la formación de sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S y ácido sulfhídrico, mismas que llegan a ser tóxicos si el pH es ácido y menos nocivas si el pH es básico.

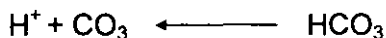
El contenido de sulfatos en el agua subterránea varía entre 2 y 150 ppm, para el área en cuestión los valores varían de 2.4 a 124.8 ppm.

### ***Iones Bicarbonato y Carbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>=</sup>).***

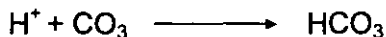
Procede de la disolución de CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera, de los suelos (raíces de plantas), del intemperismo de calizas, dolomías y rocas carbonatadas arcillosas y de acuíferos carbonatados (cársticos).

La disolución en aguas subterráneas de CaCO<sub>3</sub> (MgCO<sub>3</sub>) exige la presencia de ácido de carbono libre (CO<sub>2</sub>).

Cuando se tienen valores de pH mayores a 8.2 el ion  $\text{HCO}_3$  se transforma en  $\text{CO}_3$ , como se observa en la siguiente expresión:



caso contrario, si el valor de pH es menor a 8.2 la transformación corre de izquierda a derecha



dado que la mayoría de las aguas subterráneas tienen un  $\text{pH} < 8.2$  los aniones del ácido carbónico estarán presentes como bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ).

Las concentraciones de bicarbonatos más frecuentes oscilan entre 50 y 400 ppm, en la zona estos valores varían entre 28.7 a 286.7 ppm.

Asimismo la alcalinidad es la cantidad de ácido sulfúrico necesario para llevar una muestra de agua subterránea a un pH de 4.5.

### ***Ion Nitrato ( $\text{NO}_3$ ).***

Su presencia se debe a la descomposición de materia orgánica, contaminación agrícola, urbana e industrial y por el uso de fertilizantes agrícolas.

Cuando la materia orgánica se descompone por la acción bacteriana, las proteínas se transforman sucesivamente en aminoácidos, amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y nitratos ( $\text{NO}^*$ ).

A su vez, los nitratos son posteriormente lavados por el agua que se infiltra a través del suelo hasta alcanzar los mantos acuíferos (Juan Pérez, J. A. 1993).

Normalmente, sus concentraciones oscilan entre 1 y 10 ppm, para el consumo humano, con un máximo permisible de 5 ppm, para el área que nos ocupa no se encontraron nitratos.

### ***Ion Cloruro (Cl).***

El origen principal de los cloruros son la sodalita, el apatito, las micas, hornblendas, vidrio volcánico, depósitos de evaporitas y el agua marina atrapada en los sedimentos.

Otra fuente de la que el agua subterránea puede obtener el aporte de cloruro es del agua de lluvia, la cual contiene un promedio de 3 ppm, que puede incrementarse en zonas costeras.

En todas las aguas naturales el cloro naturales es muy estable en disolución, no se oxida, no se reduce y como casi nunca precipita, difícilmente llega a saturar el agua.

Las concentraciones de este ion, en las aguas subterráneas, más comunes ocurren entre 10 y 30 ppm, de 1.1 a 7.4 ppm son valores en el área de estudio.

#### **VI.3.1 Calidad del agua.**

Para satisfacer las necesidades de agua potable en zonas urbanas así como para agricultura, ganadería e industria, el agua subterránea y superficial necesita cumplir con ciertos requisitos respecto al contenido de ciertos iones, a sus propiedades fisico-químicas y la presencia de materia orgánica.

Para conocer la calidad del agua, del área de estudio, se comparan los resultados de los análisis químicos con las normas de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) que actualmente es la Secretaría de Salud, tabla VI.1.

### **Diagramas**

El uso de diagramas en los estudios geohidrológicos son de suma importancia, ya que permiten representar gráficamente las características químicas del agua a través de las cuales se puede conocer el origen del agua, su calidad y las familias a las que pertenece.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	O.M.S.		S.S.A. MÁXIMO PERMITIDO	AREA DE ESTUDIO		
	MÁXIMO ACEPTABLE	MAXIMO PERMITIDO		MIN.	MAX.	PROM.
PH (adimensional)	7-8.5	6.5-9.2	—	8.1	6.4	7.35
Dureza (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	—	—	300	—	—	—
Calcio (ppm)	75	200	250	2	70	46
Magnesio (ppm)	50	150	125	2.7	11.6	8.27
Sodio (ppm)	20	175	—	8.0	36.1	18.76
Bicarbonato (ppm)	350	800	250	28.7	286.7	195.92
Cloruros (ppm)	200	600	250	1.1	7.4	3.95
Sulfatos (ppm)	200	400	250	2.4	124.8	32.47
S.T.D. (ppm)	500	1500	1000	46	435	306.83

*Tabla VI.1.- Normas de calidad de agua.*

### **Diagrama de Piper.**

Consiste en dos triángulos equiláteros en la parte inferior y un rombo en la parte central superior. En los triángulos inferiores se muestran los aniones (CL, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>), en el de la derecha y los cationes (Mg, Na+K, Ca), en el de la izquierda. Cada vértice de los triángulos corresponde al 100% de un anión y/o catión, por lo que la forma de representar los valores de cada ion debe ser en % de meq/l.

Así, los valores que se obtienen en cada uno de los triángulos van a estar reemplazados por un punto que va a mostrar la composición química del agua, de acuerdo al área en que se ubique, ya que cada uno de los triángulos y el rombo tienen zonas bien definidas de familias de agua, (fig. VI. 2.).

La proyección de los puntos situados en los triángulos hacia la figura romboidal, a través de la intersección de dos rectas, va ha

permitir obtener un nuevo punto que, al igual que en los triángulos inferiores, estará situado en un área preestablecida y así poder conocer la familia a la que pertenece.

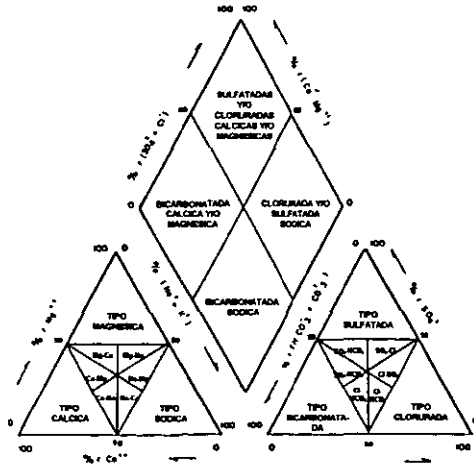


Fig. VI. 2.- Diagrama de Piper.

**Diagrama de Stiff.**

Este diagrama consiste de tres o cuatro líneas horizontales y paralelas cortadas en partes iguales por otra que es perpendicular a ellas y que funciona como el origen o cero. De esta forma las líneas que quedan a la derecha corresponden a los aniones y las de la izquierda a los cationes, cada recta va a ser dividida en segmentos iguales y proporcional a meq/l, de tal forma que al representar un análisis se van a obtener una serie de puntos que al unirse van a representar un polígono que permite apreciar rápidamente la variación de los valores entre aniones y/o cationes. Esto permite comparar los análisis químicos de los polígonos así como distinguir a simple vista la buena o mala calidad del agua, (fig. VI. 3).

**Diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff.**

Se compone de escalas verticales con el orden Ca, Mg, dureza total (en términos de CaCO<sub>3</sub>), Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, pH y NO<sub>3</sub>;

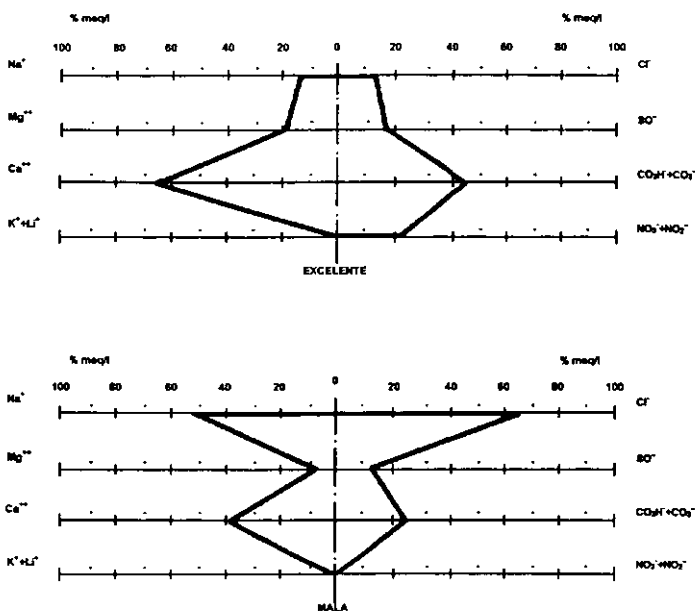


Fig. VI. 3.- Diagrama de Stiff

las escalas tienen una graduación logarítmica, mientras que los iones se expresan en ppm o mg/l; la escala del pH es aritmética y se representa en unidades adimensionales. También, se tiene otra escala logarítmica en ambos extremos del diagrama que muestran las concentraciones en meq/l, de tal forma que se pueden realizar conversiones de ppm a meq/l o viceversa, trazando una línea horizontal que parta de esta escala a cualquier otra de los iones establecidos (fig. VI. 4). Una de las características del diagrama referido es que cada escala tiene cierto desnivel vertical con respecto a las otras, de tal forma que los valores en ppm o mg/l, para cada escala, tienen la correspondencia siguiente:

- 20 para el Ca
- 12 para el Mg
- 50 para la dureza
- 23 para el Na
- 35.5 para el Cl
- 48 para el SO<sub>4</sub>
- 61 para el HCO<sub>3</sub> y NO<sub>3</sub>

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Estos valores están alineados con el 1 de la escala de meq/l, que sirve de referencia. Igualmente se puede representar el contenido del ion  $\text{CO}_3$ ; para esto, la columna de este ion, cuyo valor es 30, deberá corresponder al 1 de la columna de meq/l.

Para la construcción de la gráfica del diagrama semilogarítmico se realiza llevando directamente los resultados del análisis del agua en ppm o mg/l a su escala correspondiente y uniéndose los puntos por segmentos de recta, el resultado es una línea quebrada que es la representación de la composición química del agua. Cuando las gráficas que se tienen como resultado muestran un paralelismo quiere decir que los análisis pertenecen a una misma familia o facie, esto es que las aguas tienen la misma composición, aún cuando su concentración sea diferente.

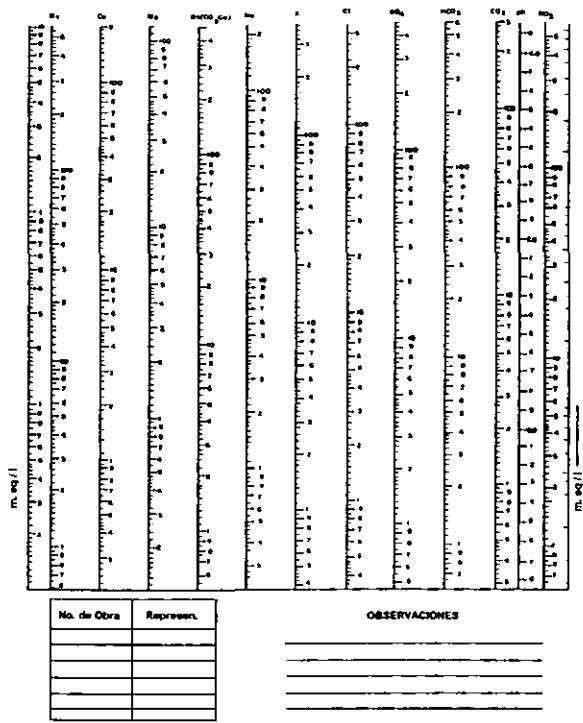


Fig. VI. 4.- Diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff.

Por lo tanto este diagrama permite obtener por cada análisis de agua una facie o familia y compararlas directamente; otra ventaja es que se puede determinar la calidad del agua para el consumo humano.

### **Diagrama de clasificación de aguas para riego.**

Para determinar la calidad del agua para riego se utiliza la clasificación de Wilcox (1948), que evalúa la conductividad eléctrica (CE) y la concentración relativa de sodio con respecto al calcio y al magnesio (RAS), ya que éstas influyen en la permeabilidad del suelo, pues un agua altamente salina va a afectar tanto a los cultivos como al suelo, al disminuir su permeabilidad.

La relación de adsorción de sodio se obtiene por medio de la fórmula que se presenta a continuación:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg) / 2}}$$

Las concentraciones de Na, Ca y Mg están dadas en meq/l, de esta forma la calidad del agua para riego está sujeta a los contenidos de los cationes.

Posteriormente, los valores obtenidos de CE y RAS son graficados en el monograma de clasificación, de donde se obtiene la clase de agua para riego, misma que está definida por los parámetros C y S con sus respectivos subíndices, (fig. VI. 5).

\*C<sub>1</sub> Agua de baja salinidad (de 0 a 250  $\mu$ mhos/cm).

Puede ser utilizada en la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos con pocas probabilidades de desarrollo salino.

\*C<sub>2</sub> Agua con salinidad media (de 250 a 750  $\mu$ mhos/cm).

Puede ser utilizada para cultivo de plantas moderadamente tolerantes a las sales. Es recomendable hacer lavados mesurados.



**\*C<sub>3</sub>** Agua altamente salina (de 750 a 2250  $\mu\text{mhos/cm}$ ).

Debe usarse en suelos de buena permeabilidad con un manejo especial, a través de lavados para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean tolerantes a las sales.

**\*C<sub>4</sub>** Agua muy altamente salina ( $> 2250 \mu\text{mhos/cm}$ ).

Ésta puede ser utilizada bajo condiciones muy especiales. Los suelos deben ser muy permeables y con un drenaje adecuado. Es preciso aplicar agua de riego en exceso para llevar a cabo un buen lavado del terreno. Las plantas a cultivar deben ser muy tolerantes a las sales.

**\*S<sub>1</sub>** Agua baja en sodio.

Se puede utilizar en todos los suelos sin riesgo de que el sodio intercambiable alcance niveles perjudiciales. Algunas plantas frutales (fruto con hueso) sensibles al sodio pueden acumular cantidades dañinas del mismo.

**\*S<sub>2</sub>** Agua media en sodio.

Representan peligro en suelos de textura fina con gran capacidad de intercambio de cationes, incrementándose bajo condiciones de lavado escaso a menos que exista yeso en el subsuelo. Su uso deberá enfocarse a suelos de textura gruesa o a suelos orgánicos con buena permeabilidad.

**\*S<sub>3</sub>** Aguas con alto contenido de sodio.

Son aguas que pueden producir altos contenidos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos. Se requiere un tratamiento especial a través de un buen drenaje, abundante lavado y adición de materia orgánica. En suelos yesíferos no se desarrollarán niveles perjudiciales.

\*S<sub>4</sub> Aguas con muy alto contenido de sodio.

Generalmente, estas aguas no son útiles para el riego, excepto si su salinidad es baja o media (C<sub>1</sub> o C<sub>2</sub>), en cuyo caso el empleo de yeso o calcio del propio suelo permitan el uso de la misma.

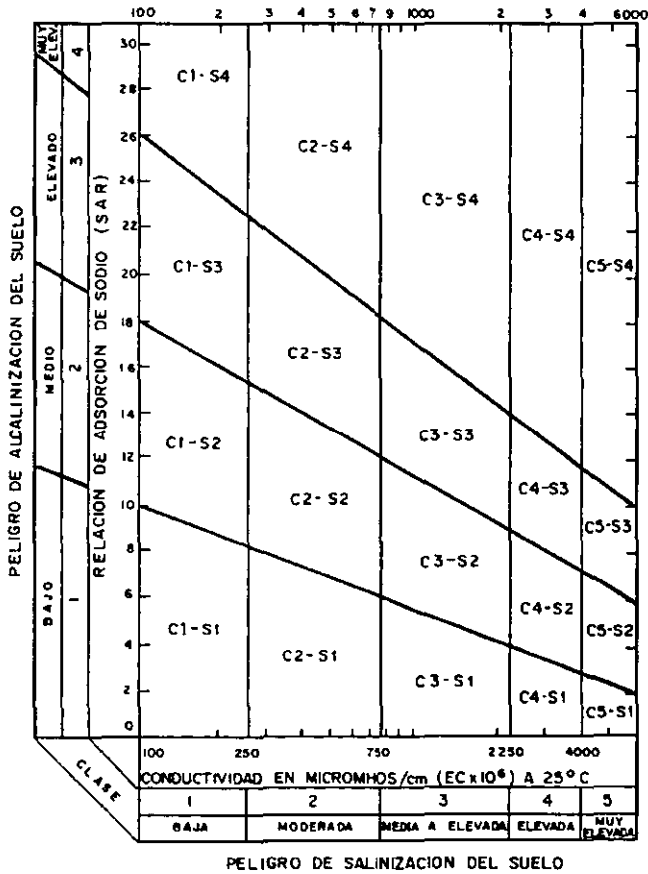


Fig. VI. 5.- Diagrama de Wilcox, para la clasificación de aguas para riego.

PROYECTO		"ESPINOS DE JUDIO"	"LOS ACHOTES - SAN MIGUELITO"				
No. DE ANALISIS		1	2	3	4	5	6
PROCEDENCIA		Arroyo	Manantial	Manantial	Manantial	Manantial	Manantial
Ca	meq/l	0.10	3.20	3.50	2.90	1.60	2.50
	mg/l	2.00	64.00	70.00	58.00	32.00	50.00
Mg	meq/l	0.22	0.85	0.48	0.90	0.70	0.97
	mg/l	2.60	10.20	5.80	10.80	8.40	11.60
Na	meq/l	0.35	0.68	1.63	0.57	1.04	0.80
	mg/l	8.60	16.40	38.30	13.80	24.40	18.80
Cl	meq/l	0.03	0.08	0.21	0.06	0.14	0.15
	mg/l	1.10	2.80	7.40	2.10	4.90	5.30
SO <sub>4</sub>	meq/l	0.05	0.74	2.60	0.30	0.14	0.15
	mg/l	2.60	35.50	124.80	14.40	6.70	11.00
HCO <sub>3</sub>	meq/l	0.47	4.70	3.10	3.90	3.20	3.90
	mg/l	28.70	286.70	189.10	237.90	195.20	237.90
FAMILIA DEL AGUA		Sódica - bicarbonatada.	Cálcica-bicarbonatada sulfatada.	Cálcica, sódica - bicarbonatada sulfatada.	Cálcica - bicarbonatada.	Cálcica, sódica - bicarbonatada.	Cálcica - bicarbonatada.

Tabla Vi. 2.- Resultados de análisis químicos de muestras de agua.

### ANÁLISIS QUÍMICOS

No.	Obra	Ca	Mg	Na	K	Dureza CaCO <sub>3</sub>	RAS	pH	CE	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	Total de Sólidos Disueltos	Calidad del Agua para Riego	Agresividad del Agua	Observaciones
1	Arroyo	2	2.7	8.0	0.04	-	0.87	6.4	0.10	2.4	28.7	-	-	1.1	46	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>	Agresiva	Q=27; perenne, es constante; no se aprovecha.
2	Manantial	64	10.3	14.9	0.05	-	0.48	8.1	0.40	35.5	286.7	-	-	2.8	416	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Incrustante	Q=36; T=29; perenne, es constante; sin equipo no se aprovecha.
3	Manantial	70	5.8	36.1	0.06	-	1.15	7.8	0.52	124.8	189.1	-	-	7.4	435	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Agresiva	Q=0.50; T=29; perenne, es constante; sin equipo no se aprovecha.
4	Manantial	58	10.8	12.4	0.04	-	0.41	7.5	0.38	14.4	237.9	-	-	2.1	337	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Agresiva	Q=1.5; T=28; perenne, es constante; sin equipo no se aprovecha.
5	Manantial	32	8.4	23.5	0.02	-	0.97	7.0	0.28	6.7	195.2	-	-	5.0	272	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Agresiva	Q=2; T=24; perenne, es constante; sin equipo no se aprovecha.
6	Manantial	50	11.6	17.7	0.03	-	0.61	7.5	0.36	11.0	237.9	-	-	5.3	335	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Agresiva	Q=1; T=26; perenne, es constante; sin equipo no se aprovecha.

*Tabla VI. 3.- Resultados de análisis químicos de muestras de agua en partes por millón.*

#### **VI.4 Caracterización Hidrogeoquímica.**

En las tablas VI. 2 y VI. 3 se muestran los resultados de los análisis químicos y parámetros físicos más importantes.

El agua del arroyo (muestra No. 1) pertenece a la familia sódica-bicarbonatada, se trata de agua agresiva con muy bajo contenido de sólidos totales disueltos, se debe tomar en cuenta que este arroyo es alimentado por un manantial y afluentes que convergen a él, por lo que al ser varias las fuentes que lo abastecen resulta difícil interpretar como ha circulado el agua. Dentro de la clasificación de agua para riego se define como de baja salinidad y sodicidad ( $C_1-S_1$ ) por lo que resulta ser un agua excelente (ver resumen A, diagramas 1 y 3).

La calidad química del agua de los manantiales 2, 3, 4, 5 y 6 (resumen A diagrama 2), resulta ser también excelente para el uso pecuario y para riego, el único inconveniente es que el agua del manantial No.2 es incrustante, esto es que tiende a depositar carbonato de calcio, lo que demuestra que el agua de este manantial proviene de rocas calcáreas; de la misma forma, se puede decir que los manantiales 3, 4, 5 y 6 tienen su fuente de origen o gran parte de su circulación en rocas carbonatadas.

Estas aguas son agresivas, ya que disuelven los carbonatos, además de que su circulación no se lleva a cabo (o por lo menos no por mucho tiempo) por horizontes dolomíticos y yesíferos, lo cual sí se manifiesta en el manantial No.2 por las concentraciones de magnesio y de sulfato, aunque el manantial No.3 presenta un alto índice de este último, lo que indica que parte de su recorrido lo debe hacer a través de alguno(os) horizontes yesíferos.

Posiblemente, el sodio debe provenir, de acuerdo al entorno litológico, de los derrames andesíticos, de sus plagioclasas sódicas y quizá también, en parte, del material volcanoclástico y del cuerpo intrusivo que sirve como confinante inferior (zona basal) y que puede estar aportando potasio de las ortoclasas; aunque es probable que el sodio como el sulfato y el cloro pueden originarse de aguas connatas, es decir, agua marina atrapada durante la sedimentación.

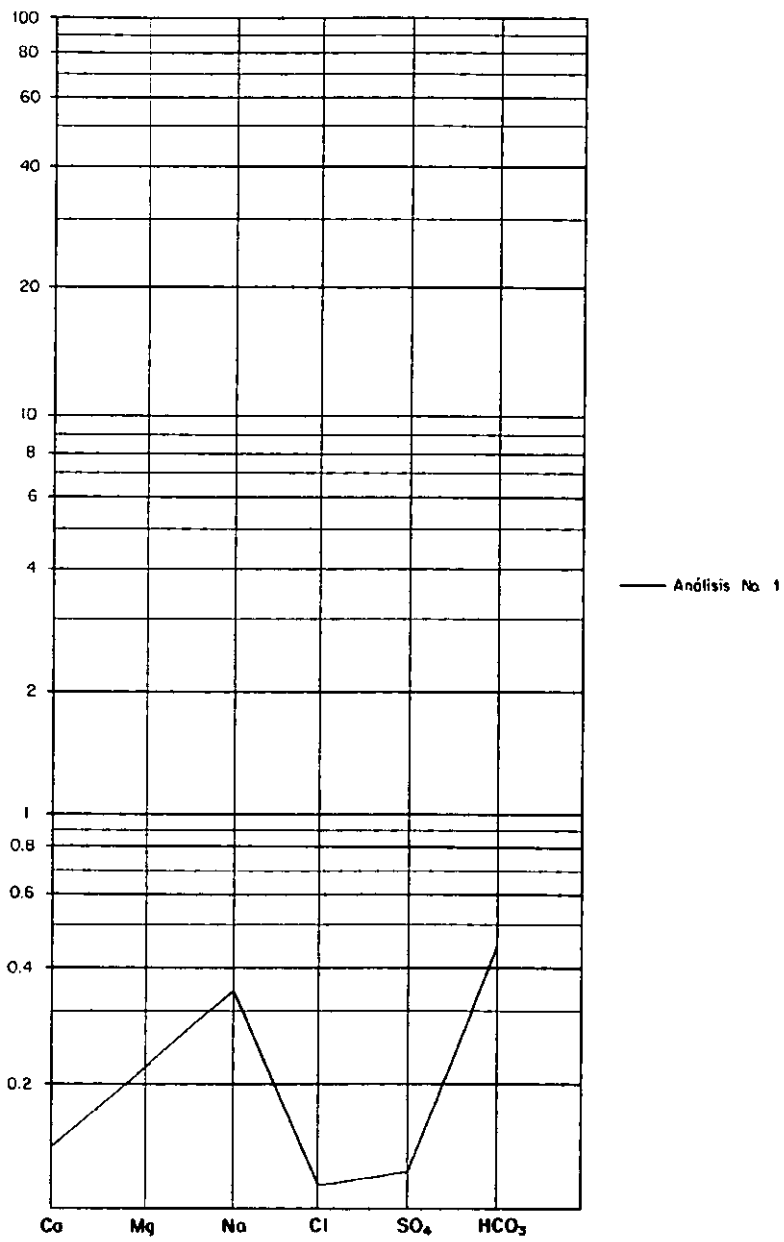
Como puede observarse en las tablas de resultados, hay ausencia de nitrato que podría surgir de fuentes orgánicas y/o

agrícolas que se dan principalmente en el valle de San Miguel; sin embargo, esto no ha sucedido gracias al confinamiento del acuífero.

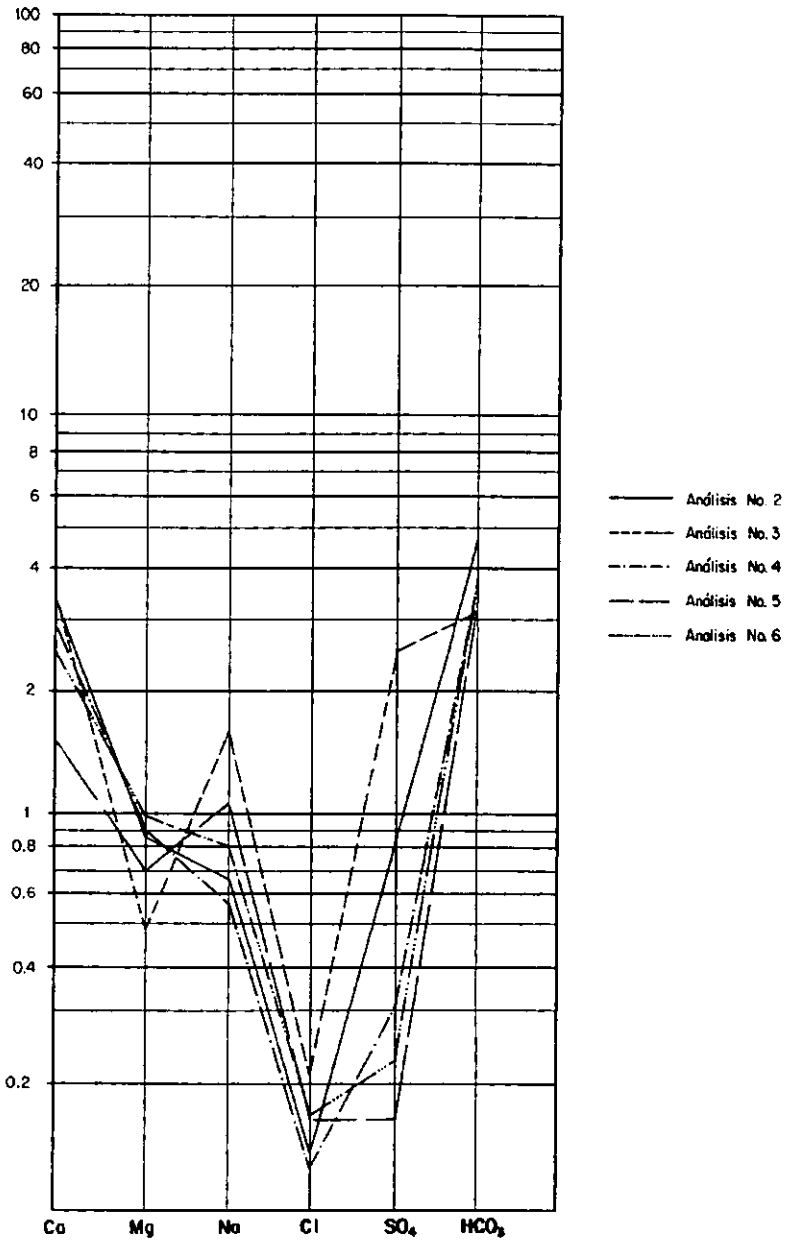
El agua de estos manantiales, en general pertenece a la familia cálcica-bicarbonatada; con base en su conductividad eléctrica y en la relación de adsorción de sodio (diagrama 3), se clasificó como (C<sub>2</sub>-C<sub>1</sub>) en todos los manantiales, para fines de riego, lo que representa agua medianamente salina y de baja sodicidad; no obstante se debe tener presente que para el caso del manantial No.2 es necesario proporcionar un pequeño excedente de agua para el lavado y evitar la acumulación de sales.

En el caso del agua potable y del uso pecuario, el agua puede ser utilizada sin ningún riesgo, ya que el máximo total de sólidos disueltos que alcanzan es de 435 mg/lt, quedando dentro del rango del agua dulce que es de hasta 525 mg/lt.

De acuerdo a este análisis se puede decir que el agua de los manantiales tiene su fuente de origen en las rocas calcáreas con una circulación más restringida en rocas graníticas y volcánicas.



Resumen A diagrama 1 (Schoeller-Berkaloff).



Resumen A diagrama 2 (Schoeller-Berkaloff).



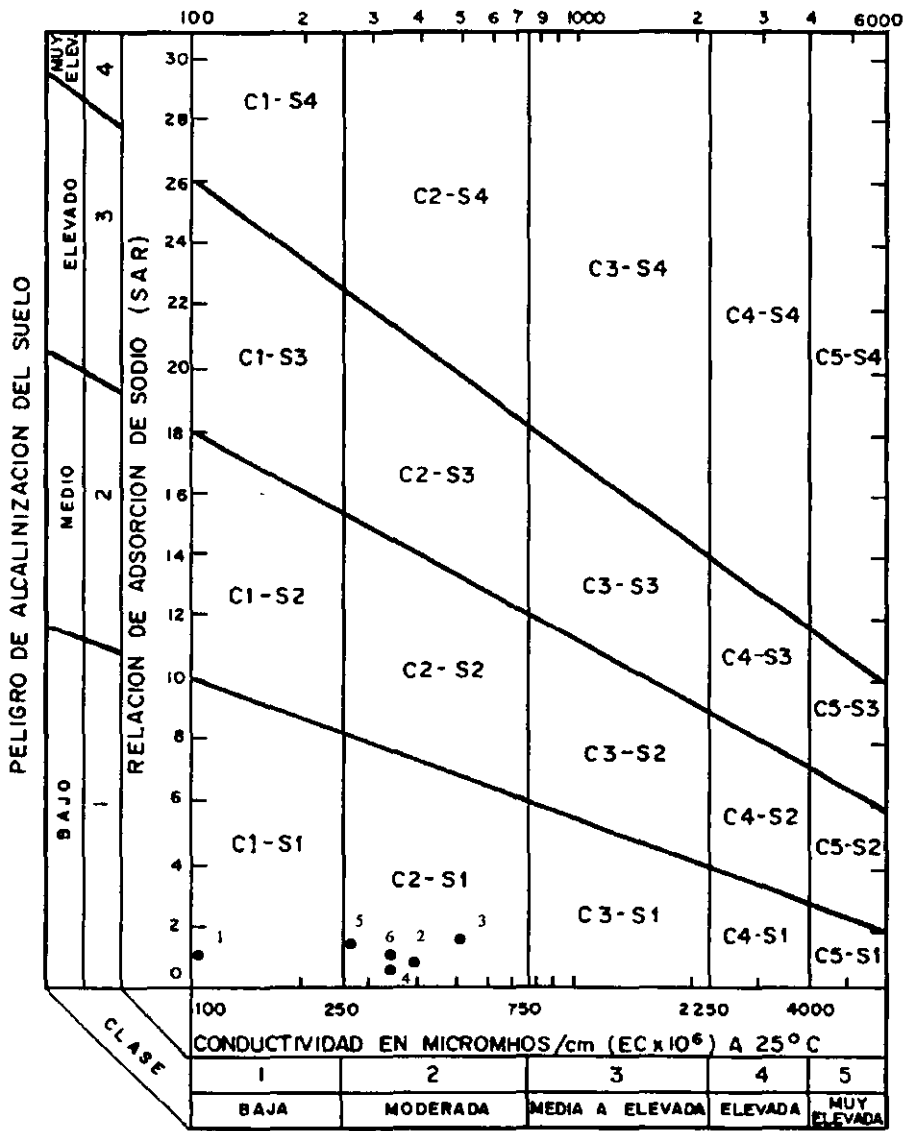


Diagrama 3, clasificación de aguas para riego.

## **CAPITULO VII HIDROGEOLOGIA**

La hidrogeología se puede definir como el estudio cualitativo del agua subterránea “cuyo énfasis especial recae sobre su origen, circulación, circunstancias geológicas condicionantes y composición química” (Davis y Wiest, 1981). El agua subterránea es parte integrante del sistema circulatorio mejor conocido como “ciclo hidrológico”, que inicia en los océanos con la evaporación del agua para formar nubes que serán transportadas hacia los continentes donde se condensan y caen en forma de lluvia, de esta forma parte de la lluvia se evapotranspira, otra más se infiltra en el subsuelo para recargar los acuíferos y el resto escurre superficialmente hasta alcanzar los océanos y completar el ciclo hidrológico (fig. VII. 1).

En el área de estudio, aportes de agua subterránea tanto de acuíferos profundos como de las sierras aledañas al valle se manifiestan a través de manantiales que fluyen a la superficie aportando una cantidad apreciable de agua, por medio de fallas o fracturas, sin embargo no todos conservan su caudal a lo largo del año, por lo que para la realización de este trabajo se tomaron en cuenta sólo aquellos que tienen un flujo ininterrumpido (perenne); de éstos, el más sobresaliente del área es el manantial “Los Achotes”, con un gasto aproximado de 36 lps, mientras que los otros mantienen caudales que varían desde 0.5 hasta 1.5 lps.

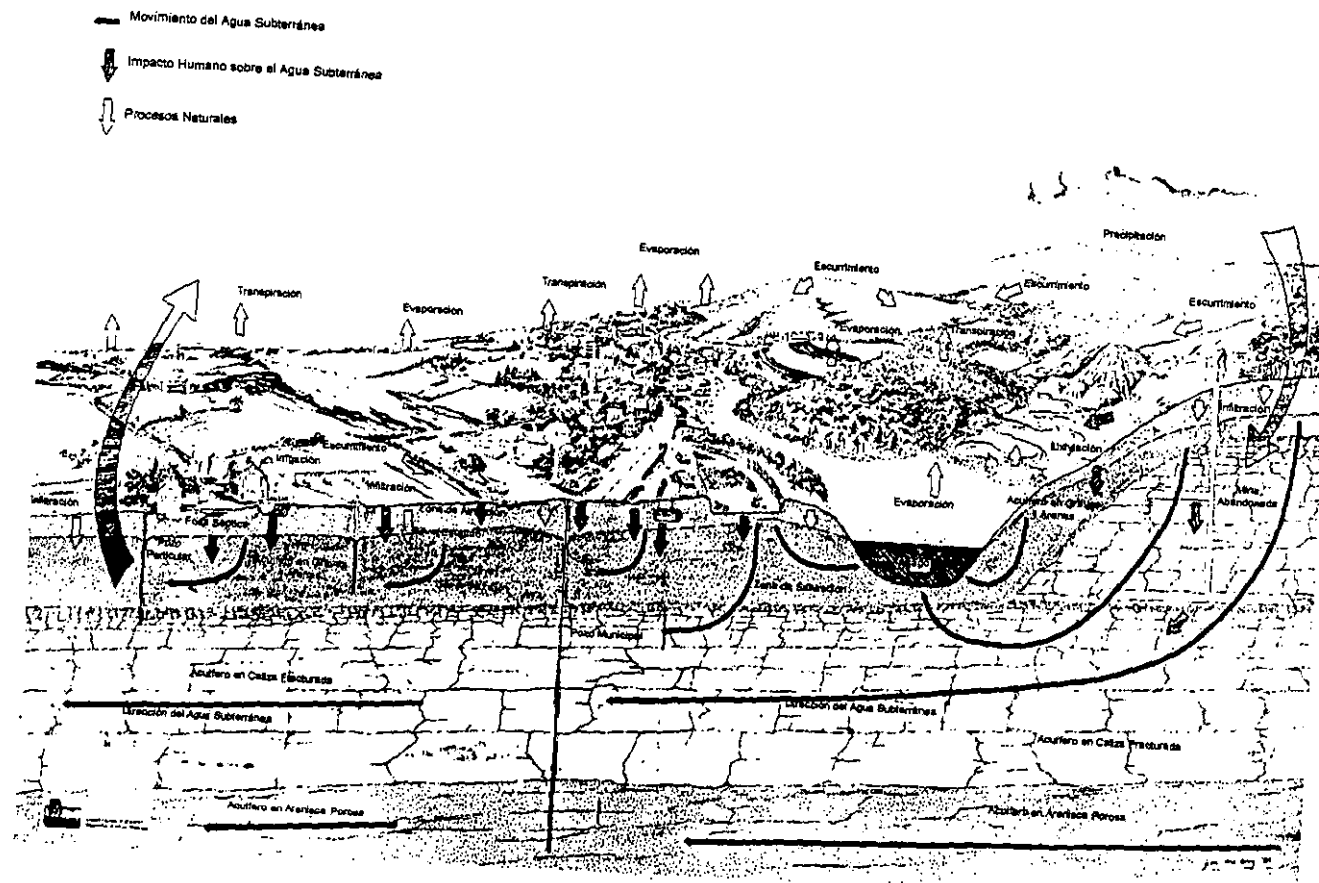


Fig. VII. 1.- Ciclo hidrológico.

## VII.1 Balance Hidrológico Superficial.

La subcuenca río "Cuitzmala" tiene una extensión aproximada de 1070 kilómetros cuadrados y se localiza en la región hidrográfica No. 15, Costa de "Jalisco", dentro de la cuenca río "San Nicolás"- "Cuitzmala".

Para conocer cuales son las condiciones de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración, es necesario llevar a cabo un balance hidrológico superficial, en este estudio esta actividad se realizó con base en el análisis de la carta hidrológica de aguas superficiales escala 1 : 250 000 Manzanillo, elaborada por la Dirección General de Geografía (INEGI), de este modo se obtuvieron valores representativos de la subcuenca y la forma en que están actuando en ella.

### *Precipitación.*

La precipitación media anual se obtuvo utilizando el mapa de isoyetas :

Isoyetas	Altura de precipitación (mm) hpi	Área entre isoyetas (Km <sup>2</sup> ) Ai	Volumen hpi Ai (m <sup>3</sup> /año)
800	800	44.0	35.2 × 10 <sup>6</sup>
800-1000	900	104.0	90.6 × 10 <sup>6</sup>
1000-1200	1100	285.0	313.5 × 10 <sup>6</sup>
1200-1500	1350	268.0	361.8 × 10 <sup>6</sup>
1500-1500	1500	369.0	553.5 × 10 <sup>6</sup>
<b>Suma</b>		<b>1070.0</b>	<b>1357.6 × 10<sup>6</sup></b>

hpm = altura de precipitación media anual.

hpi = altura de la precipitación promedio entre isoyetas.

A = área total de la subcuenca.

Ai = área entre isoyetas.

$$\begin{aligned}
 hpm &= \frac{\sum_{i=1}^n hpi \times Ai}{A} \\
 &= \frac{1357.6 \times 106 \text{ m}^3 / \text{año}}{1070.0 \times 10^6 \text{ m}^2} \\
 &= 1.268 \text{ m/año} \\
 &= 1268 \text{ mm anuales}
 \end{aligned}$$

### **Evapotranspiración.**

Para calcular la evapotranspiración real se utilizó la fórmula de L. Turc (1961) y el valor de la isoterma promedio :

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

donde :

**Er** = Evapotranspiración real en mm

**P** = Precipitación en mm

**L** =  $300 + 25T + 0.05t^2$  (coeficiente que esta en función de la temperatura media anual)

**T** = Temperatura media anual en °C

**T** = 24°C

Sustituyendo :

$$L = 300 + 25(24) + 0.05(24)^3$$

$$= 300 + 600 + 0.5(13824)$$

$$= 300 + 600 + 691.2$$

= 1591.2

$$Er = \frac{1268}{\sqrt{0.9 + \frac{(1268)^2}{(1591.2)^2}}}$$

$$Er = \frac{1268}{\sqrt{1.5350222}}$$

$$Er = \frac{1268}{1.2389601}$$

$$Er = 1023.44 \text{ mm}$$

### ***Escurrimiento.***

Con el propósito de obtener la lámina de escurrimiento, de la subcuenca en estudio, se tomaron en cuenta los coeficientes de escurrimiento mostrados en la carta de aguas superficiales escala 1 : 250 000, Manzanillo y se aplico la siguiente fórmula :

$$\mathbf{Ve = Ce \times Ac \times Pm}$$

Donde :

**Ve** = Volumen escurrido medio anual.

**Ce** = Coeficiente de escurrimiento.

**Ac** = Área de la subcuenca.

**Pm** = Precipitación media anual.

A pesar que la subcuenca cuenta con corrientes perennes, se tiene solo una estación hidrométrica (Cuitzmala) ubicada sobre el río Cuitzmala 1.5 kilómetros al norte de la población Francisco Villa, misma que lleva muchos años fuera de uso por lo que no se cuenta con datos de volúmenes medios anuales.

Rango de la unidad de coeficiente de escurrimiento	Coefficiente de escurrimiento calculado	Área de la unidad de escurrimiento	Precipitación media anual	Volumen escurrido medio
%	%	(m <sup>2</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> )
5-10	5.00	1,750,000	800	70,000
0-5	2.50	10,620,000	800	212,400
5-10	7.50	8,750,000	800	525,000
0-5	2.50	10,780,000	800	215,600
20-30	25.00	7,180,000	1,150	2,064,250
20-30	25.00	7,250,000	1,200	2,175,000
20-30	30.00	3,600,000	1,400	1,512,000
20-30	25.00	3,430,000	1,500	1,286,250
20-30	25.00	25,150,000	1,500	9,431,250
>30	30.00	3,590,000	1,500	1,615,500
5-10	7.50	2,080,000	1,500	234,000
20-30	25.00	61,080,000	1,500	22,905,000
>30	30.00	4,000,000	1,500	1,800,000
20-30	25.00	15,750,000	1,500	5,906,250
20-30	25.00	5,000,000	1,500	1,875,000
20-30	25.00	10,000,000	1,050	3,750,000
10-20	15.00	889,990,000	1,200	160,198,200
		1,070,000,000		214,650,700

S = lámina de escurrimiento media (mm)

$$S = \frac{V_e}{A_c}$$

$$S = \frac{214'650,700 \text{ m}^3}{1'070,000,000 \text{ m}^2}$$

$$S = 0.20061 \text{ m}$$

$$S = 200.61 \text{ mm}$$

### ***Infiltración.***

La infiltración constituye una de las formas, del ciclo hidrológico más difíciles de evaluar, por lo que el valor de la lámina de agua infiltrada en la subcuenca río Cuitzmala se obtuvo a partir de la ecuación básica del balance hidrológico:

$$P = S + I + Er$$

de donde:  $I = P - (Er + S)$

P = precipitación

S = escurrimiento

I = infiltración

Er = evapotranspiración real

Sustituyendo valores :

$$\begin{aligned} I &= 1268 - (1023.44 + 200.61) \\ &= 1268 - 1224.05 \\ &= 43.95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luego el volumen infiltrado (VI) esta dado por :

$$VI = I \times A$$

Sustituyendo :

$$\begin{aligned} VI &= 43.95 \text{ mm } (1070 \times 10^6 \text{ m}^2) \\ &= 47.02 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

A partir de estos valores obtenidos se concluye que del 100 % del agua que se precipita el 80.71% se evapotranspira, el 15.82 % escurre y solo el 3.47 % del total se infiltra por lo que la subcuenca se encuentra en equilibrio.

Se puede decir también que esta subcuenca es virgen, es decir, en ella no existen vasos artificiales, ni hay exportación y/o importación de agua (esto último al menos superficialmente) a/o de otras regiones que alteren de una u otra forma el equilibrio hidrológico natural.

## VII.2 Características Hidráulicas de las Rocas.

Para que una roca funcione como un acuífero debe cumplir con ciertas características hidráulicas que le permitan tener la capacidad de almacenar y transmitir el agua a través de ellas, dentro de estas



características se encuentran la porosidad, permeabilidad o conductividad hidráulica y transmisividad.

La porosidad es el medio por el que circula el agua subterránea. Este medio consiste en una matriz sólida o esqueleto formado por un agregado de granos minerales sólidos, separados y rodeados por huecos mismos que pueden estar llenos de agua. La porosidad puede ser de tipo primaria si los intersticios se originaron durante el proceso de formación de la roca o bien secundaria cuando se debe a procesos posteriores tales como el fracturamiento y la disolución. En los materiales consolidados la porosidad depende del grado de compactación de los granos, de su forma, de su tipo de empaquetamiento y de su distribución de tamaño.

La permeabilidad o conductividad hidráulica  $K$  es la capacidad de un acuífero de conducir agua; sin embargo hay que diferenciar la permeabilidad ( $K$ ) de la conductividad hidráulica ( $k$ ) ya que la primera va a estar en función del tamaño de los poros, mientras que la segunda depende de la permeabilidad del acuífero afectado por la densidad y viscosidad del agua.

La transmisividad es la capacidad del acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor, es decir es el producto de la conductividad hidráulica por el espesor del acuífero.

### **VII.3 Unidades Hidrogeológicas.**

*“La existencia de acuíferos calcáreos, de tipo confinado o semiconfinado, en la región de la costa de Jalisco y en especial en el área estudiada, es puesta en evidencia por el manantial “Los Achotes”. La climatología, la estratigrafía y la geología estructural se conjugan para originar el sistema acuífero presente, dentro del cual se analizan las características hidrogeológicas de los terrenos aflorantes” (Medina y Cortés 1990).*

De acuerdo a las características litológicas e hidráulicas de las rocas se reconocen en total 3 unidades hidrogeológicas en el área de

estudio, las cuales se agrupan y se ilustran en forma resumida en la tabla VII.1, plano No. 3.

### ***Unidad Hidrogeológica I.***

Hidrogeológicamente, es la unidad más importante en la zona de estudio, localizada en la porción septentrional del área; por sus características litológicas y distribución se dividió en tres subunidades.

#### ***Subunidad hidrogeológica Ia.***

Ésta corresponde al miembro calcáreo de la Formación San Miguel; conforma un área topográficamente elevada y de relieve de montaña y premontaña, lo que la hace funcionar como zona de recarga, transmitiendo el agua en sentido lateral, a su parte interna, a través del fracturamiento, fallamiento y disolución en la caliza.

Hidrogeológicamente, constituye una unidad de permeabilidad media a alta, debido precisamente a la disolución, fracturamiento y fallamiento de las rocas ahí contenidas.

Se considera que este miembro calcáreo a profundidad constituye el acuífero principal, del tipo "confinado" o "semiconfinado" ya que la unidad se encuentra afallada, plegada y delimitada y/o cubierta, en forma parcial, por material volcanoclástico.

#### ***Subunidad hidrogeológica Ib.***

Constituida por el miembro volcanosedimentario de la misma Formación San Miguel, que conforma parte de la zona de premontaña y en la que se considera que por el fracturamiento, fallamiento y disolución del cuerpo calcáreo, intercalado con el material volcánico, es posible que la circulación del agua a través de ella sea activa y que en un momento dado pueda estar aportando agua al acuífero principal y/o formar un acuífero superior más restringido también semiconfinado (por el material volcánico) independientemente de que en conjunto con el cuerpo volcánico funcione como confinante o semiconfinante del acuífero principal.

La permeabilidad en este miembro puede considerarse variable (de media a alta) por los materiales que lo conforman así como por el grado de fracturamiento.

Cabe señalar que ambas subunidades se encuentran delimitadas en su parte inferior por rocas intrusivas, lateralmente también por rocas intrusivas y en ocasiones, por los derrames andesíticos del miembro volcanosedimentario.

### ***Subunidad hidrogeológica Ic.***

Se ha agrupado en esta subunidad a la parte volcánica que se caracteriza por la ausencia de rocas carbonatadas (del miembro volcanosedimentario), que conforma parte de la zona de elevaciones medias.

Hidrologicamente, manifiesta baja permeabilidad y ofrece un área de escurrimiento al agua de lluvia.

### ***Unidad Hidrogeológica II.***

Debido a sus características litológicas y distribución, esta unidad se dividió en dos subunidades y agrupa a materiales de permeabilidad baja.

### ***Subunidad hidrogeológica Ila.***

Corresponde a cuerpos graníticos ampliamente distribuidos que conforman desde montañas hasta elevaciones bajas; asimismo ofrece una extensa área de escurrimiento al agua de lluvia y una barrera impermeable al flujo subterráneo, provocado por el escaso fracturamiento y la baja degradación de sus materiales, aunque ocasionalmente, en las zonas donde se encuentra muy fracturada, puede llegar a permitir la circulación del agua.

En términos generales, se le consigna con una permeabilidad baja.

### **Subunidad hidrogeológica IIb.**

Corresponde a un grupo de rocas volcánicas, tales como: toba intermedia, ignimbrita y sílice. Normalmente estas rocas afloran en zonas topográficamente elevadas por lo que forman parte de la premontaña y de las elevaciones bajas; son materiales de baja porosidad e impermeables o poco permeables por lo que no se les puede considerar como rocas almacenadoras de agua, es posible, sin embargo, que en aquellos lugares donde se encuentra muy fracturada permita la circulación del agua.

UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	SUBUNIDAD HIDROGEOLOGICA	DESCRIPCION
Kí(sm)	UI	UIa	Permeabilidad media a alta, llega a conformar acuíferos a profundidad.
		UIb	Permeabilidad variable, llega a conformar acuíferos intercalados con materiales volcánicos.
		UIc	Permeabilidad baja, no constituye acuíferos.
Ks(Gr)	UII	UIIa	Permeabilidad baja, conforma zonas de recarga y barreras al flujo subterráneo, no constituye acuíferos.
Ti(cv)		UIIb	Permeabilidad baja conforma zonas de recarga, no constituye acuíferos.
Ts(ar-cg)	UIII	UIIIa	Permeabilidad variable puede llegar a conformar acuíferos de tipo libre.
Q(al)		UIIIb	Permeabilidad alta, puede constituir acuíferos someros de tipo libre.

*Tabla VII.1.- Unidades hidrogeológicas.*

### ***Unidad Hidrogeológica III.***

En esta se agrupan unidades de buena permeabilidad que se dividen en dos subunidades.

#### **Subunidad hidrogeológica IIIa.**

Unidad constituida por arenisca-conglomerado con una matriz areno-arcillosa, medianamente compactada; presenta una permeabilidad variable originada por la porosidad y fracturamiento, por lo que en un momento dado puede llegar a funcionar como áreas de recarga y quizá con buenas posibilidades almacenadoras bajo el relieve, posiblemente se comporte como un acuífero libre. Descansa sobre el conjunto volcánico (granito, tobas e ignimbritas).

#### **Subunidad hidrogeológica IIIb**

Está compuesta por fragmentos de roca ígnea intrusiva, extrusiva y calcárea y arenas arcillosas mal consolidadas que le proporcionan una buena permeabilidad, pueden llegar a conformar acuíferos del tipo libre (someros) siempre y cuando descansen sobre un paquete impermeable, de otra forma cederá el agua a la unidad inferior.

### **VII.4 Marco Conceptual Hidrogeológico.**

La subcuenca del río Cuitzmala, como ya se mencionó anteriormente, forma parte del denominado Bloque Jalisco con un escenario estructural muy especial y una evolución compleja, caracterizado por movimientos distensivos y tensionales, lo que provocó que depósitos mesozoicos carbonatados quedaran como grandes cuerpos colgados dentro del macizo granítico, delimitados por grandes fallas que, por sus características, pueden funcionar como barreras laterales.

De acuerdo con las características particulares de las unidades hidrogeológicas, las condiciones geológicas y la hidrogeoquímica, se pretende sustentar un modelo de funcionamiento hidrogeológico del área de estudio y, en particular, de la porción septentrional de la

subcuenca por ser la que presenta el acuífero más importante, manifestándose en el manantial "Los Achotes" y que corresponde a un acuífero calcáreo confinado o semiconfinado.

Las estructuras que delimitan esta porción son :

conjunto de lineamientos "Los Cimientos" y "San Miguel", que limitan en su conjunto a la Formación San Miguel.

conjunto de lineamientos San Miguelito, emplazado principalmente en el cuerpo granítico.

Las fronteras hidráulicas laterales del conjunto "Los Cimientos" corresponden a los lineamientos "Portezuelo", "Telpitita", "Jirosto I", "Jirosto II" y "El Tene", que de acuerdo con los perfiles geomorfológicos, corresponden a fallas normales con sus bloques cayendo al suroeste y noreste, las cuales ponen en contacto al cuerpo granítico con el miembro calcáreo de la Formación San Miguel, además de estar actuando, el primero como una barrera impermeable.

De igual manera, el cuerpo calcáreo conforma un pilar tectónico escalonado, plegado, desmembrado y también afallado en su parte interna, con un basculamiento general al suroeste.

El conjunto "San Miguel", limitado por pilares tectónicos, marca sus fronteras hidráulicas laterales en la falla "Los Achotes", el lineamiento "Paso Real", el lineamiento semicircular en el extremo este y el lineamiento en el extremo oeste, que al igual a los anteriores, son también fallas normales, las cuales ponen en contacto al cuerpo intrusivo con el miembro calcáreo y volcanosedimentario de la Formación San Miguel, mientras que el último lineamiento hace que el miembro calcáreo esté en contacto con el volcanosedimentario de la misma formación. Esta zona se encuentra desmembrada a manera de bloques escalonados, basculados al sureste y suroeste, desarrollando el sistema de fallas "Rancho Nuevo".

En el miembro calcáreo, como parte de la zona de montaña y premontaña, donde existen precipitaciones del orden de los 1400 mm al año, lo cual aunado al plegamiento, fallamiento, concentraciones de

fracturamiento (fig. IV. 11) y desarrollo cárstico propician que éste funcione como zona de recarga, transmisora y almacenadora del acuífero principal con barreras estructurales e impermeables laterales (cuerpo intrusivo que actúa también como frontera impermeable inferior) lo que provocaría que el movimiento del agua subterránea drene en dirección sureste, hacia el área del valle de San Miguel. El sistema de fronteras hidráulicas laterales en esta área como son las fallas "Los Achotes", "Paso Real" y los lineamientos al este y oeste, propician la formación de un graben en el que se deben tomar en cuenta, en su parte interna, las fallas "Rancho Nuevo", además de las barreras impermeables constituidas por el cuerpo intrusivo y por los derrames andesíticos del miembro volcanosedimentario de la Formación San Miguel. Otra aportación de agua subterránea sería la proveniente del área de Purificación hacia el valle de San Miguel.

Por su parte, la zona de descarga del acuífero calcáreo confinado o semiconfinado se manifiesta en el manantial "Los Achotes". El nacimiento de los manantiales debe estar en función primero de la topografía, después de la presión ejercida por el flujo subterráneo que llega al centro del valle en sentidos opuestos y tercero, a las condiciones estructurales en ese lugar (fig. VII. 2). Probablemente, parte de este sistema este intercomunicado a través del flujo vertical del agua subterránea con los cuerpos calcáreos del miembro volcanosedimentario que permite la circulación del agua (quizá más restringida) o bien que en dichas capas se genere otro acuífero confinado o semiconfinado en el que podrían estar más involucrados los materiales volcánicos, según el contenido de sodio que presentan los análisis químicos de los manantiales 3 y 4. No es posible conocer la profundidad a la que se encuentra el acuífero o los acuíferos debido a que se desconoce el espesor de la formación San Miguel, aunque por la temperatura de sus aguas, podría ser muy profunda.

El segundo grupo, integrado por el conjunto de lineamientos "San Miguelito" y delimitado por el parteaguas de la subcuenca, está constituido por los lineamientos "arroyo San Antonio, San Miguelito, arroyo Sila I, Sila II y Sila III". Los lineamientos "arroyo San Antonio y arroyo "Sila III" corresponden a fallas normales con sus bloques cayendo al sur-suroeste, mientras que los lineamientos arroyo "Sila I y Sila II", también corresponden a fallas normales con sus bloques

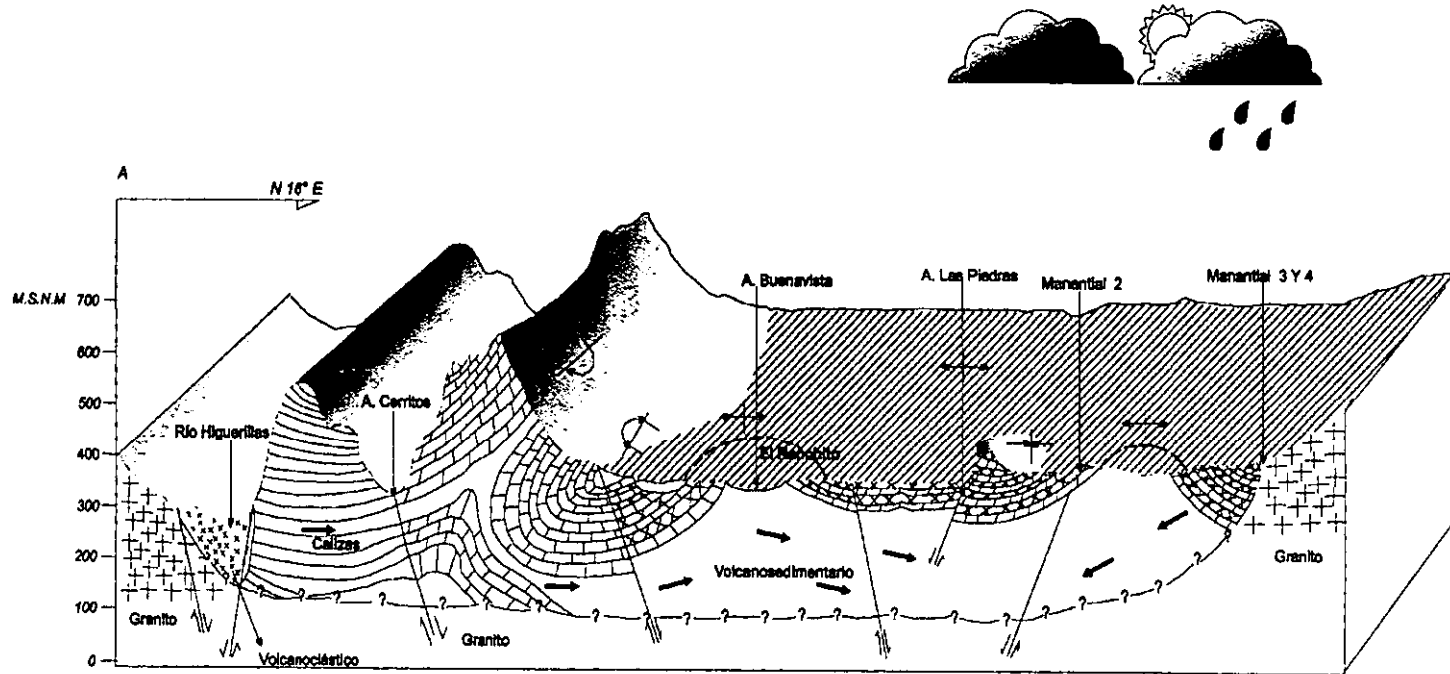


Fig. VII.2.- Bloque diagramático del funcionamiento del acuífero en el valle de San Miguel.



cayendo al sur y noroeste, respectivamente. Estas estructuras están emplazadas principalmente en el cuerpo intrusivo, aunque hacia el extremo este de la falla "arroyo Sila I", además de estar afectando al cuerpo calcáreo de la Formación San Miguel lo pone a este en contacto con el cuerpo intrusivo.

De acuerdo con los análisis químicos de los manantiales en San Miguelito, estos provienen también de un acuífero calcáreo; sin embargo ha sido difícil detectar la fuente almacenante, tomando en cuenta el conjunto de lineamientos que se tiene en esta zona. De igual manera, los manantiales, de alguna forma, afloran en la intersección del lineamiento "San Miguelito" con los del "arroyo Sila I y II" (principalmente el manantial número 6), lo cual demuestra que hay una comunicación y un flujo a través de ellos conectados con la fuente almacenante que puede ser, por un lado, el cuerpo calcáreo que aflora al sureste de San Miguelito y/o a remanentes calcáreos que pudieran estar ubicados al norte de la misma población, sobre el cuerpo granítico.

No se debe olvidar que algunos lineamientos que conforman o limitan los bloques "San Miguel" y "Los Cimientos", como son las fallas "El Tene", "Telpitita", "Los Achotes" y "Paso Real" que continúan fuera de la subcuenca, podrían estar aportando agua a esta zona, además estos lineamientos pueden estar actuando como una extensa área de escurrimiento al agua de lluvia, misma que podría estar infiltrándose al acuífero calcáreo por encontrarse en contacto, el granito, con la Formación San Miguel en esas estructuras,.

Otra de las probables fuentes de recarga al acuífero es por medio del sistema de los ríos Jirosto y San Miguel.

De todo lo expuesto anteriormente se tiene que el miembro calcáreo de la Formación San Miguel es la unidad hidrogeológica principal, en la cual, el desarrollo de disolución (carsticidad), el intenso fracturamiento aunado a la precipitación y el aporte de los escurrimientos de las sierras que la rodean es por donde se mueve la mayor parte del agua subterránea.

## **CAPITULO VIII PROPUESTAS DE DESARROLLO**

### **VIII.1 Introducción.**

Como resultado de la localización de aprovechamientos hidrológicos superficiales (manantiales y arroyos), de las condiciones climatológicas, geológicas e hidrológicas y con apoyo en las cartas de Uso Actual del Suelo y Vegetación y de Uso Potencial del Suelo (ganadero) escala 1 : 250 000, elaboradas por la Dirección Regional de Occidente, I.N.E.G.I., así como el deficiente desarrollo ganadero actual, en la costa de Jalisco, se concibe el aprovechamiento del recurso agua por medio de la captación de cinco manantiales y un arroyo, a través de canales y/o tuberías hacia los terrenos aptos para el desarrollo agropecuario, en donde se establecerán salidas en tanques de almacenamiento y/o abrevaderos cercanos al lugar de pastoreo del ganado, para evitar el desplazamiento del mismo a grandes distancias.

Con este fin, se seleccionaron dos zonas de proyecto: en la porción septentrional y al norte de la subcuenca; la primera es el proyecto "Los Achotes-San Miguelito" y la segunda, el proyecto "Espinosa del Judío".

### **VIII.2 Proyecto "Los Achotes - San Miguelito".**

Esta zona contiene las mejores condiciones de desarrollo con base en la cantidad y calidad de agua, terrenos útiles para la ganadería

y una buena y rápida comunicación con poblaciones importantes para su comercialización (Plano No. 4).

Aquí, se localizan los manantiales "Los Achotes", "Villa Vieja" y "San Miguelito", marcados con los números 2, 3, 4, 5 y 6; el primero es el mejor de los cinco, con un caudal de 36 lps, mismo que se incrementará al agregarse el caudal de los otros manantiales, ya mencionados, a 41 lps esto es 3'542,400 litros por día. Considerando que el número de hectáreas con que se cuenta en este proyecto es de 15,454 aptas para el desarrollo pecuario y que cada unidad animal necesita de 3.2 hectáreas, basado en los estudios de la Comisión Técnica Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero de la S.A.R.H., y 70 litros diarios de agua, da como resultado que este terreno tiene capacidad para 4829 unidades animal que consumirían 338,030 litros diarios lo cual representa el 9.5 por ciento del caudal total, por lo que el excedente de agua se puede utilizar en el riego de las praderas cultivables en época de sequía o en las zonas de riego de temporal, tratando de enfocar los cultivos con fines forrajeros para su autoconsumo.

El agua restante se deberá dejar correr por su cauce normal con el fin de evitar impactos ecológicos y la alteración en las actividades de las poblaciones que dependen de ella aguas abajo.

Como se puede considerar la calidad del agua en esta zona muy buena aún cuando existe el inconveniente del manantial número 2 en el cual el agua es incrustante, lo que provocaría daños en la tubería; en los otros manantiales este problema no existe ya que el agua es agresiva (disuelve los carbonatos). La familia a la que pertenece el agua es, en su mayor parte, cálcica-bicarbonatada; su calidad para riego presenta mediana salinidad y baja sodicidad (ver diagrama 3, en el capítulo VI).

Para el desarrollo de la actividad ganadera se tienen 2,500 hectáreas que se pueden desarrollar, en forma mecanizada, 1,648 de tracción animal y 11,306, en forma manual; además, se pueden "aprovechar las especies ramoneables de la selva e inclusive alternar las praderas cultivadas en el bosque, para evitar desequilibrios

ecológicos" (I.N.E.G.I., 1986). Es importante tener en cuenta que la selva tiene un estado avanzado de perturbación.

La localización y dirección propuesta para la instalación de la tubería, así como los terrenos seleccionados para este proyecto se encuentran en el plano No. 4.

### **VIII.3 Proyecto "Espinosa del Judio".**

Para el abastecimiento de esta zona se propone la utilización del agua del arroyo "Polonia", el cual es abastecido por un manantial y pequeños escurrimientos que llegan a él; aunque este aprovechamiento, número 1, se encuentra fuera del área, reúne las condiciones favorables para servir de agua a la zona del proyecto, dentro del área del presente estudio (Plano No. 5)

Como el arroyo tiene una pequeña poza, se puede captar el agua y de ahí distribuirla; su caudal es de 27 lps es decir, 2'332,800 litros diarios; el área incorporable a la ganadería es de 10,092 hectáreas con una capacidad de 3,154 cabezas de ganado y una necesidad diaria de 220,780 l/día que representa el 9.4 % del caudal total. El excedente, al igual que en el proyecto anterior, se recomienda utilizarlo para el riego de las praderas en la época de estiaje.

No obstante, durante la época de lluvias, el caudal del arroyo se incrementa notablemente ya que se le unen gran cantidad de corrientes.

Otro punto a su favor es que la calidad química del agua es muy buena y su contenido en sólidos totales disueltos es bajo; la familia a la que pertenece es sódica-bicarbonatada y su clasificación para el uso agrícola es de baja salinidad y sodicidad (ver diagrama 3, en el capítulo 6).

Del total de hectáreas en este proyecto 2788 son cultivables con maquinaria agrícola y 7304 en forma manual. "Los tipos de vegetación que serán sustituidos son la selva mediana subcaducifolia y parte del bosque mezclado con selva" I.N.E.G.I., 1986.

## **CAPITULO IX**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

**PRIMERA.-** Las rocas cubren la mayor parte de la subcuenca, corresponden a rocas graníticas con edades del Cretácico Superior al Terciario Inferior y forman parte del "Bloque Jalisco".

**SEGUNDA.-** La unidad sedimentaria denominada Formación San Miguel, cuenta con afloramientos de rocas volcanosedimentarias, lo que permite apoyar (a reserva de demostrar lo contrario) la continuación del arco volcánico en el occidente de México, de edad Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano). Otra característica de esta unidad es que no se encuentra metamorfozada por lo que podría ser parte del Conjunto Zihuatanejo.

**TERCERA.-** Un grupo de rocas volcánicas ácidas e intermedias del Terciario Inferior afloran a lo largo de la línea de costa, generalmente en forma aislada, aunque dentro de la subcuenca aflora sólo la toba intermedia de composición andesítica; también es probable que estas unidades que afloran a lo largo de la costa de Jalisco sean parte de los eventos volcánicos de la Sierra Madre Occidental.

**CUARTA.-** Se propone la existencia de un arco volcánico continental en el occidente de México durante el Jurásico, posteriormente su migración hacia la cuenca durante el Cretácico provocó una cuenca con vulcanismo a ambos lados de la misma y en la cual se

depositaron, en su parte interna, el cuerpo calcáreo de la Formación San Miguel y hacia sus extremos el material volcánico interdigitado con los sedimentos calcáreos.

QUINTA.- El área de estudio está enclavada en el denominado "Bloque Jalisco" por lo que el escenario estructural se encuentra delimitado por tres elementos, que son: el Graben de Tepic (N–NW), el Graben de Colima (N–S) y el Graben de Chapala (E–W), los cuales forman el único punto triple continental activo en el mundo. Estos elementos provocan que el Bloque Jalisco divague hacia el NW ocasionando que las fallas que provocan el punto triple tengan un movimiento combinado de tipo tensional y transcurrente afectando su parte interna.

SEXTA.- Como consecuencia de la tectónica regional están los quiebres pronunciados y a veces en forma de zig-zag a lo largo del río Cuitzmala, movimientos transcurrentes, pliegues en chevrón, micropliegues, estructuras en boudinage y anticlinales y sinclinales en el valle de San Miguel, así como sistemas de fallas escalonadas, paralelas y descendentemente a la línea de costa.

SÉPTIMA.- El aprovechamiento denominado No. 1 pertenece a la familia sódica–bicarbonatada, es un agua agresiva con bajo contenido de sólidos totales disueltos, para riego se define de baja salinidad y sodicidad ( $C_1-S_1$ ). El agua de los manantiales 2, 3, 4 (valle San Miguel) 5 y 6 (valle de San Miguelito) pertenecen a la familia cálcica-bicarbonatada y son medianamente salinas y de baja sodicidad para el uso agrícola ( $C_2-C_1$ ), aunque el agua del manantial 2, es incrustante, por su contenido de bicarbonato de calcio, ya que el agua circula a través de rocas carbonatadas.

OCTAVA.- El agua de los manantiales 3, 4, 5 y 6 es agresiva lo que quiere decir que disuelven los carbonatos y que su circulación no se lleva a cabo por horizontes dolomíticos y yesíferos lo cual, es probable, si suceda con el manantial No. 2 por el contenido de magnesio y sulfato. El manantial No. 3 presenta un alto contenido de sulfato lo que indica que parte de su recorrido lo debe hacer a través de alguno(s) horizontes yesíferos.

**NOVENA.-** El contenido de sodio, en los aprovechamientos, debe provenir de los materiales volcánicos como son los derrames andesíticos (de sus plagioclasas sódicas), otra parte del material volcánico y del cuerpo intrusivo que sirve como confinante inferior y puede estar aportando también potasio de las ortoclasas. Otra posibilidad para el origen del contenido de sodio, sulfato y cloro es que provengan de aguas connatas (agua marina atrapada durante la cimentación).

**DECIMA.-** La ausencia de nitrato es gracias al confinamiento del acuífero ya que este elemento podría provenir de fuentes orgánicas y/o agrícolas que se dan en el valle de San Miguel.

**DECIMA PRIMERA.-** Esta agua es apta para los usos potable, doméstico y pecuario pues el máximo total de sólidos disueltos es de 435 mg/lt.

**DECIMA SEGUNDA.-** El marco conceptual hidrogeológico está en función del conjunto de lineamientos Los Cimientos, San Miguel y San Miguelito. Los dos primeros delimitan a la Formación San Miguel cuyo espesor se desconoce, del cuerpo granítico y actúan como barreras impermeables laterales; la formación es un pilar tectónico escalonado, plegado, desmembrado y afallado en su parte interna, lo que la hace actuar como zona de recarga, transmisora y almacenadora del acuífero principal que se manifiesta hacia el centro del valle San Miguel. Es probable que la profundidad al nivel del agua subterránea varíe, por las condiciones estructurales de la unidad almacenante.

**DECIMA TERCERA.-** La descarga del acuífero calcáreo, confinado o semiconfinado, se manifiesta en el manantial "Los Achotes". Es probable que parte de este sistema esté intercomunicado por un flujo de agua lateral, con los cuerpos calcáreos del miembro volcanosedimentario y que permite la circulación del agua en forma restringida o bien que el agua circule desde grandes profundidades a través de zonas de debilidad.

**DECIMA CUARTA.-** La zona de San Miguelito está delimitada por el conjunto de lineamientos del mismo nombre, San Antonio y Sila III los cuales probablemente son la continuación de los lineamientos arroyo San Antonio y Miramar respectivamente, de ser así corresponderían a

fallas normales con sus bloques cayendo al sur-suroeste; mientras que los lineamientos arroyo Sila I y Sila II, de ser también fallas normales, sus bloques estarían cayendo al sur y noroeste, respectivamente, y el lineamiento San Miguelito que cruza a la población del mismo nombre.

DECIMA QUINTA.- En el valle de San Miguel, el flujo subterráneo circula, tal vez, en dos direcciones, de las partes altas hacia las bajas, convergiendo en el centro del valle, y otra en el área de San Miguelito, entre los arroyos Sila I y II y la intersección del lineamiento San Miguelito, donde se encuentran los manantiales 5 y 6, los que posiblemente se originen en un acuífero calcáreo.

DECIMA SEXTA.- Otra fuente probable de recarga al acuífero podrían ser los ríos Jirosto y San Miguel, siempre y cuando el nivel freático en esa área sea somero.

DECIMA SEPTIMA.- La unidad hidrogeológica más importante es el miembro calcáreo de la Formación San Miguel.

DECIMA OCTAVA.- Dentro del área del Proyecto "Los Achotes- San Miguelito" se localizan los manantiales 2, 3, 4, 5 y 6, los cuales en su conjunto tienen un aporte de 41 lps (3' 542, 400 litros por día), que cubren las necesidades de abrevadero, lo que representa el 9.5% del gasto total, quedando un excedente utilizable para riego en época de sequía o en el cultivo de forraje para el autoconsumo.

DECIMA NOVENA.- Para la actividad ganadera se cuenta con 2500 hectáreas que se pueden desarrollar en forma mecanizada, 1648 de tracción animal y 11, 306 en forma manual.

VIGÉSIMA.- Pueden aprovecharse especies ramoneables de la selva y alternar con praderas cultivadas en el bosque para evitar desequilibrios ecológicos y sobre todo que la selva tiene un estado avanzado de perturbación.

VIGÉSIMA PRIMERA.- El proyecto "Espinosa del Judío" cuenta con la aportación del arroyo Polonia (2' 332, 800 lpd), para abastecer a 3154 cabezas de ganado, cuyo consumo representa el 9.5% del caudal total (220, 780 lpd). En la época de lluvias el caudal del arroyo se incrementa por las corrientes que se le unen.



**VIGÉSIMA SEGUNDA.-** Se cuenta con 10, 092 hectáreas de las cuales 2788 son cultivables con maquinaria agrícola y 7304 en forma manual. Los tipos de vegetación que serían sustituidos son la selva mediana subcaducifolia y parte del bosque mezclado con selva.

## **Recomendaciones**

Se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

**VIGÉSIMA TERCERA.-** Plantear ante las comunidades la posibilidad de llevar a cabo los proyectos "Los Achotes-San Miguelito" y "Espinos del Judío".

**VIGÉSIMA CUARTA.-** La captación superficial de los manantiales para el uso pecuario en dos zonas de proyecto: "Los Achotes-San Miguelito" y "Espinos del Judío", por medio de canales y/o tuberías de tal forma que el ganado no tenga que recorrer grandes distancias para abastecerse.

**VIGÉSIMA QUINTA.-** El excedente, del agua, que no se utilice deberá dejarse correr por su cauce normal para evitar impactos ecológicos y alteración de las poblaciones que dependen de ella y/o utilizar, parte de ella, para el riego de las praderas.

**VIGÉSIMA SEXTA.-** La ubicación de estaciones hidrométricas a lo largo de los ríos Cuitzamala y San Miguel para poder obtener información real del comportamiento de estos.

**VIGÉSIMA SEPTIMA.-** A nivel regional se proponen una serie de bloques con tendencias direccionales NNW – SSE lo cual coincide con la tendencia del Graben de Chapala los bloques involucrados son "San Miguel", "El Divisadero", "Nacastillo" y "Chamela" y que además guardan un paralelismo con respecto a la línea de costa. Otro grupo de bloques propuesto es el que mantiene una dirección NNE – SSW y que parece coincidir con el sistema del Graben de Colima, estos bloques corresponden a "La Huerta", "Tecuastitan", "San Ignacio" y "San Nicolás" los cuales se encuentran en forma perpendicular a la línea de costa.

**VIGÉSIMA OCTAVA.-** Levantamiento geológico a detalle.

**VIGÉSIMA NOVENA.-** Datos estructurales específicos (estrias, pitch y orientación del plano) en los puntos de mayor interés, para verificar si existen movimientos laterales.

**TRIGÉSIMA.-** Muestreo en las rocas sedimentarias, con la finalidad de obtener evidencias paleontológicas, que permitan definir mejor a las unidades en tiempo y espacio.

**TRIGÉSIMA PRIMERA.-** Proteger la subcuenca de una sobreexplotación del recurso agua para evitar un desequilibrio ecológico y el fenómeno de la intrusión salina en la franja costera.

**TRIGÉSIMA SEGUNDA.-** Evitar la perforación de pozos profundos, principalmente en el valle de San Miguel.

**TRIGÉSIMA TERCERA.-** Llevar a cabo estudios geofísicos en el valle de San Miguel para conocer el espesor de la Formación San Miguel y la(s) profundidad(es) a la(s) que se encuentra el acuífero.

**TRIGÉSIMA CUARTA.-** Utilizar trazadores para definir las direcciones de flujo.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguayo, C. J. E., 1983.** Integración y Análisis de la Información Geológica-Geofísica de la Cuenca Colima-Jalisco, Inst. Mex. Del Petróleo (PC-1144, Inédito).
- Bónhel, H. et al. 1989.** Paleomagnetic Data and the Accretion of the Guerrero Terrane, Southern Mexico Continental Margin.
- Campa, U. M. F., et al. 1974.** La Secuencia Mesozoica Volcánico-Sedimentaria Metamorfizada de Ixtapan de la Sal, Mex.-Teloloapan, Gro. Bol. de la Soc. Geol. Mex., Tomo XXXV, pp. 7-28.
- Campa, U. M. F., 1978.** La Evolución Tectónica de Tierra Caliente, Guerrero. Memoria de la IV Convención Geológica Nacional, Bol. de la Soc. Geol. Mex. Tomo XXXIX, No. 2, pp.52-64.
- Campa, U. M. F. y Ramírez, J., 1979.** La Evolución Geológica y la Metalogénesis del Noroccidente de Guerrero, Serie Técnico-Científico de la Univ. Aut. De Guerrero, No. 1, pp. 102.
- Campa, U. M. F. y Flores, R., 1981.** Conjuntos Estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, Región Comprendida Entre los Estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos, Bol. de la Soc. Geol. Mex., Tomo XLII, No. 1 y 2, pp. 46-67.
- Consejo de Recursos Minerales No Renovables, 1990,** Síntesis Geológica del Estado de Jalisco. Inédito.
- Demant, A. y Robin, C., 1975.** Las fases del vulcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Revista del Instituto de Geología, UNAM, No. 1 pp. 70-82.
- Davis y Wiest, 1971.** Hidrogeología, Ediciones ARIEL, Barcelona, España.
- Del Arenal, R., 1962.** El Uso del Diagrama Semilogarítmico para la Representación Gráfica de los Análisis de Agua, UNAM, Inst. de Geof., Anales, Vol. 8, pp. 81-95.
- González Partida, E. y Torres-Rodríguez V., 1988.** Evolución Tectónica de la Porción Centro-Occidental de México y su Relación con los Yacimientos Minerales Asociados, Geofísica Internacional, Vol. 27-4, pp.543-531.
- Guerra, P. F., 1980.** Fotogeología, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Huang, W., 1968.** Petrología, Edit. Hispano-Americana UTEHA, México.
- INEGI, SPP.** Mapas Geológicos y Topográficos escala 1:50 000, E13-B11, E13-B12, E13-B21, E13-B22 y E13-B31, Mapa Geológico (en prensa) y Topográfico escala 1:250 000 E13-2-5-, Mapas Geológico y Topográfico escala 1:1' 000 000 Guadalajara.
- INEGI, SPP,1988.** Informe de la Carta Geológica Manzanillo (E13-2-5) escala 1:250 000, Inédito, 13 pp.
- INEGI, SPP, 1990.** Datos Preliminares del XI Censo de Población.
- Medina, R. J. M. y Cortés, A. F. J., 1990.** El Manantial "Los Achotes" Evidencia de Acuíferos Calcáreos en la Región de la Costa de Jalisco. Seminario Internacional "la Tierra" estudio de la atmósfera, continentes, agua y ecología. Resúmenes, Inédito.

**Méndez, S. A., 1982.** Interpretación Geológica del Distrito Ferrifero "El Encino", Mpio. De Pihuamo, Jalisco, México. Universidad de Sonora, Escuela de Ingeniería, Tesis Profesional, 112 pp.

**Moran, Z. D. J. et al. 1982.** Geología de la Republica Mexicana, INEGI, SPP.

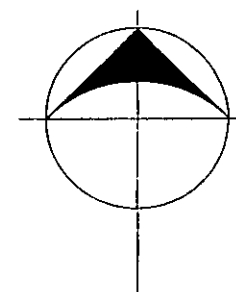
**Negandank, J. F., et al. 1986.** Granitoid Rocks of the Sierra Madre del Sur, VIII Convención Geológica Nacional, Resúmenes, pp. 92-93.

**Pantoja, A. J. , Estrada, B. S., 1986.** Estratigrafía de los alrededores de la mina de Hierro de "El Encino", Jalisco. Soc. Geol. Mex., Bol. XLVII, No. 1, pp. 1-15.

**Pulido, C. J. L., 1978,** Hidrogeología Práctica, URMO, S. A. de Ediciones, Bilbao, España.

**Urrutia, F. J., et al., 1986.** Paleomagnetism and Tectonics of Mexico, Comunicaciones Técnicas, Instituto de Geofísica, UNAM, pp. 22.

**Vidal, S. R., 1986.** Tectónica de la Región de Zihuatanejo, Guerrero, Sierra Madre del Sur, México. Instituto Politécnico Nacional, ESIA, Tesis Profesional, 144 pp.



LEYENDA

MESOZOICO	CRETACICO	Ki(1a)	Grutas	Ki(1a) - Grutas	
		Ki(1b)	Pm. San Miguel		Ki(1a) - Grutas
CENOZOICO	TERCIARIO	Ti(Lv)	Coahuila - Veracruz	Ti(Lv) - Coahuila - Veracruz	
		Ta(1a)	Arriaga - Comalapa		Ta(1a) - Arriaga - Comalapa
		Qa(1)	Atlix		Qa(1) - Atlix

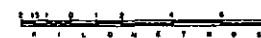
SIMBOLOS GEOLOGICOS

SUBCUENCA RIO CUTZIMALA	
CONTACTO GEOLOGICO	
UNIDAD GEOLOGICA	
FALLA NORMAL	
FALLA NORMAL INFERIDA	
FRACTURA Y/O LINEAMIENTO	
FRACTURA Y/O LINEAMIENTO INFERIDO	
EDIFICIO ECHADO FOTOGEOLOGICO	
PUNTO DE VERIFICACION	
LINEA DE SECCION GEOLOGICA	

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

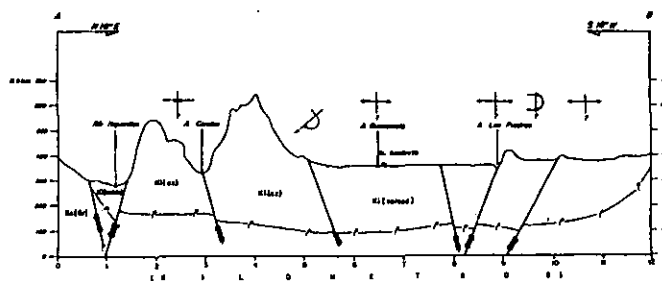
POBLACION	
CARRERA	
RIECA	
CURVA DE NIVEL ADOTADA EN METROS	
PO O ARROYO	

ESCALA 1:100 000



SIMBOLOS GEOLÓGICOS

FALLA NORMAL	
ANTICLINAL, ANTICLINAL RECURRENTE	
SINCLINAL, SINCLINAL RECURRENTE	



ESC. VER. 1:50 000  
ESC. HOR. 1:50 000



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA  
"RÍO CUTZIMALA", EN LA COSTA DE OAXACA

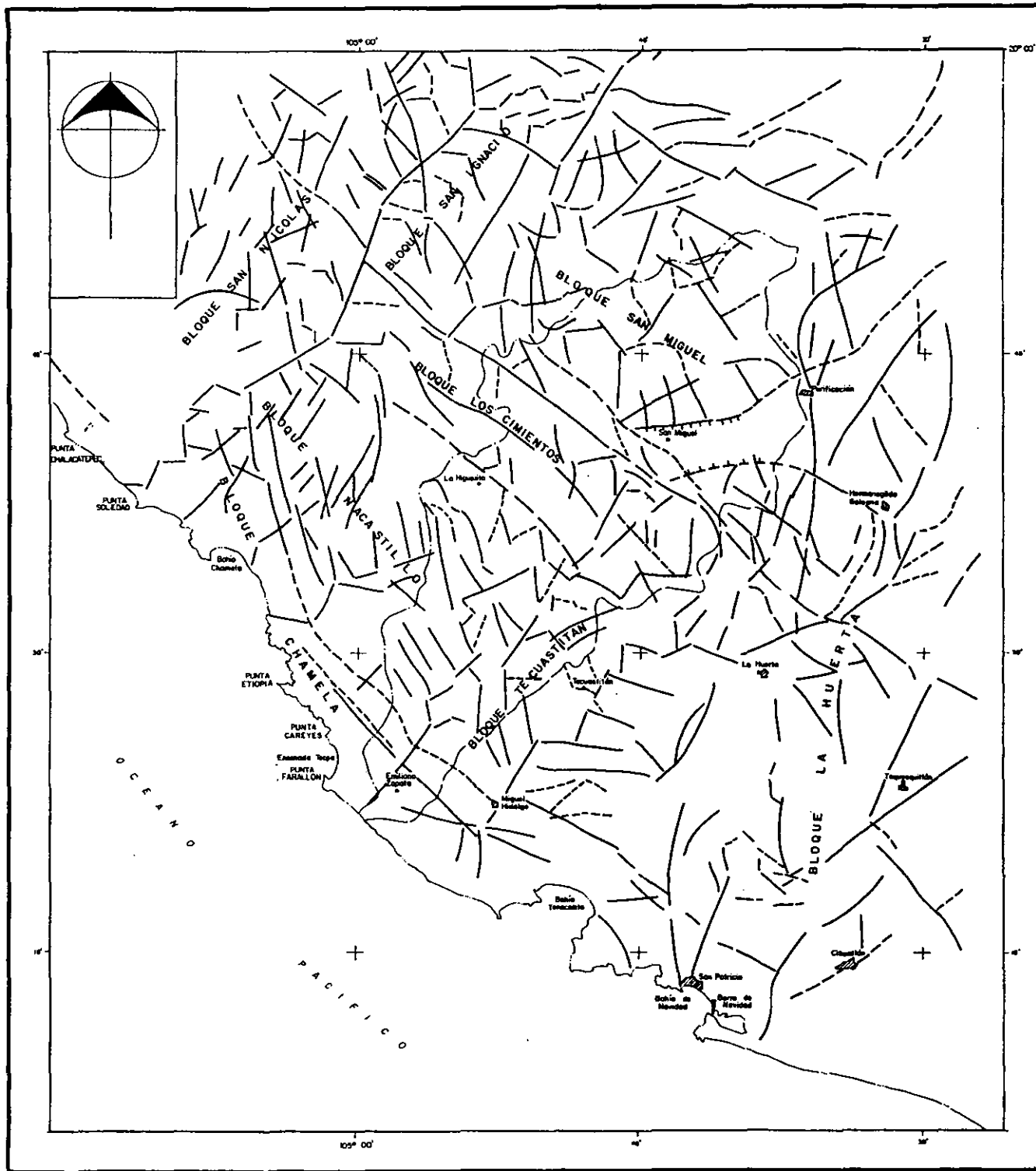
PLANO GEOLOGICO

TESIS PROFESIONAL

FELIPE DE JESUS CORTES AVILA

PLANO No.:

MÉXICO, D.F. 2001



**L E Y E N D A**

- LINEAMIENTO \_\_\_\_\_ /
- LINEAMIENTO INFERIDO \_\_\_\_\_ /
- FALLA NORMAL \_\_\_\_\_ /
- FALLA NORMAL INFERIDA \_\_\_\_\_ /

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- CIUDAD O POBLADO \_\_\_\_\_
- LINEA DE COSTA \_\_\_\_\_
- SUBCUENCA RIO CUTZMALA \_\_\_\_\_

ESCALA 1: 250,000



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DE LA SUBCUENCA  
"RIO CUTZMALA", EN LA COSTA DE JALISCO

CARTA DE LINEAMIENTOS Y BLOQUES

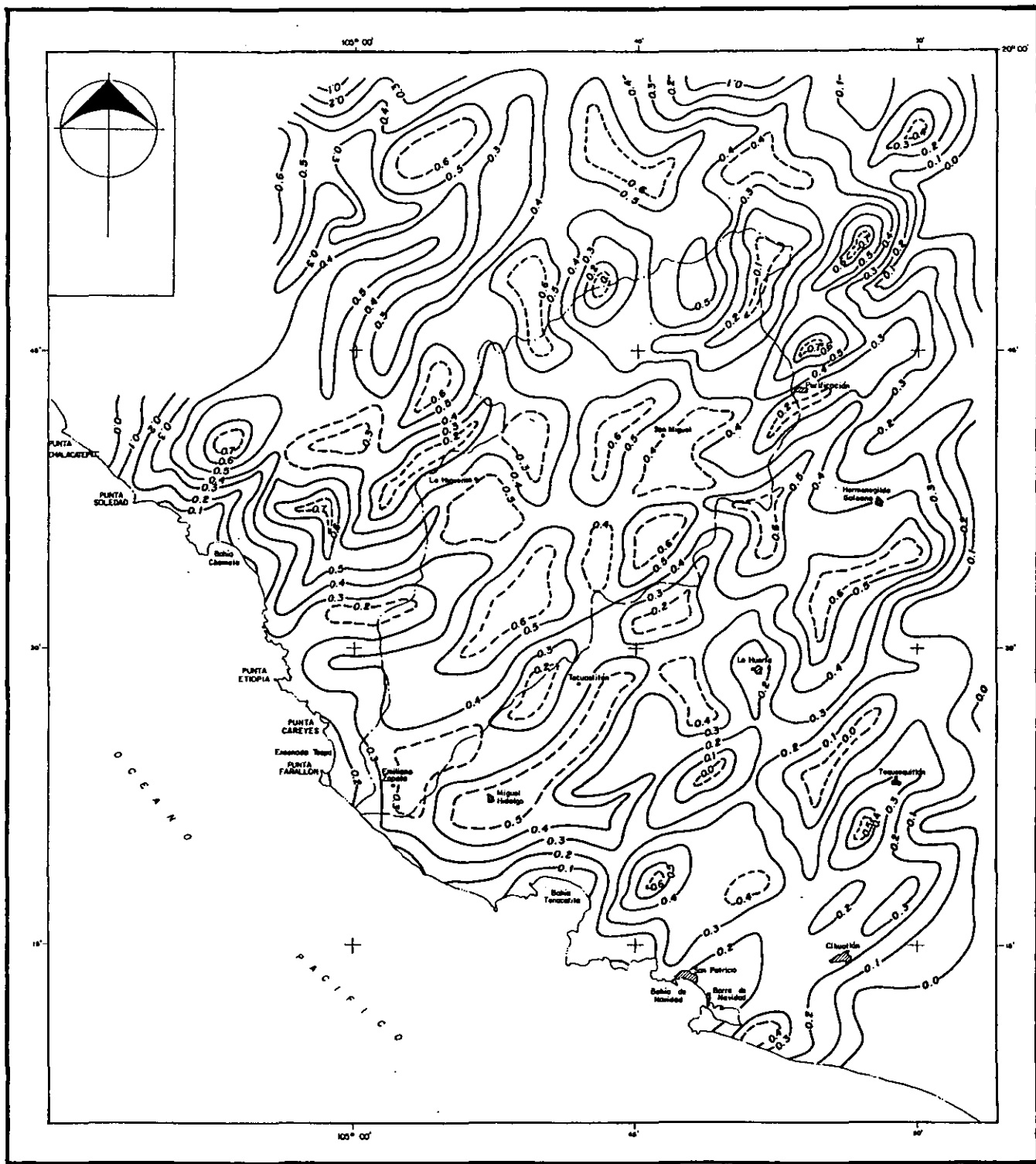
TESIS PROFESIONAL

FELIPE DE JESUS CORTES AVILA

FIG. No.

IV. 4

MEXICO, D.F. 2001



ISOLINEAS DE  
DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO  
EN KM/KM<sup>2</sup>

- 0.0
- 0.1
- 0.2
- 0.3
- 0.4
- 0.5
- 0.6
- 0.7

NOTA: Las mediciones fueron hechas  
dentro de un área de 25 km<sup>2</sup>.

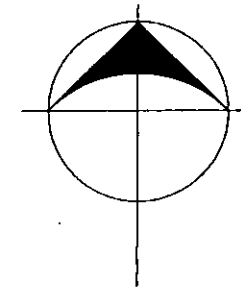
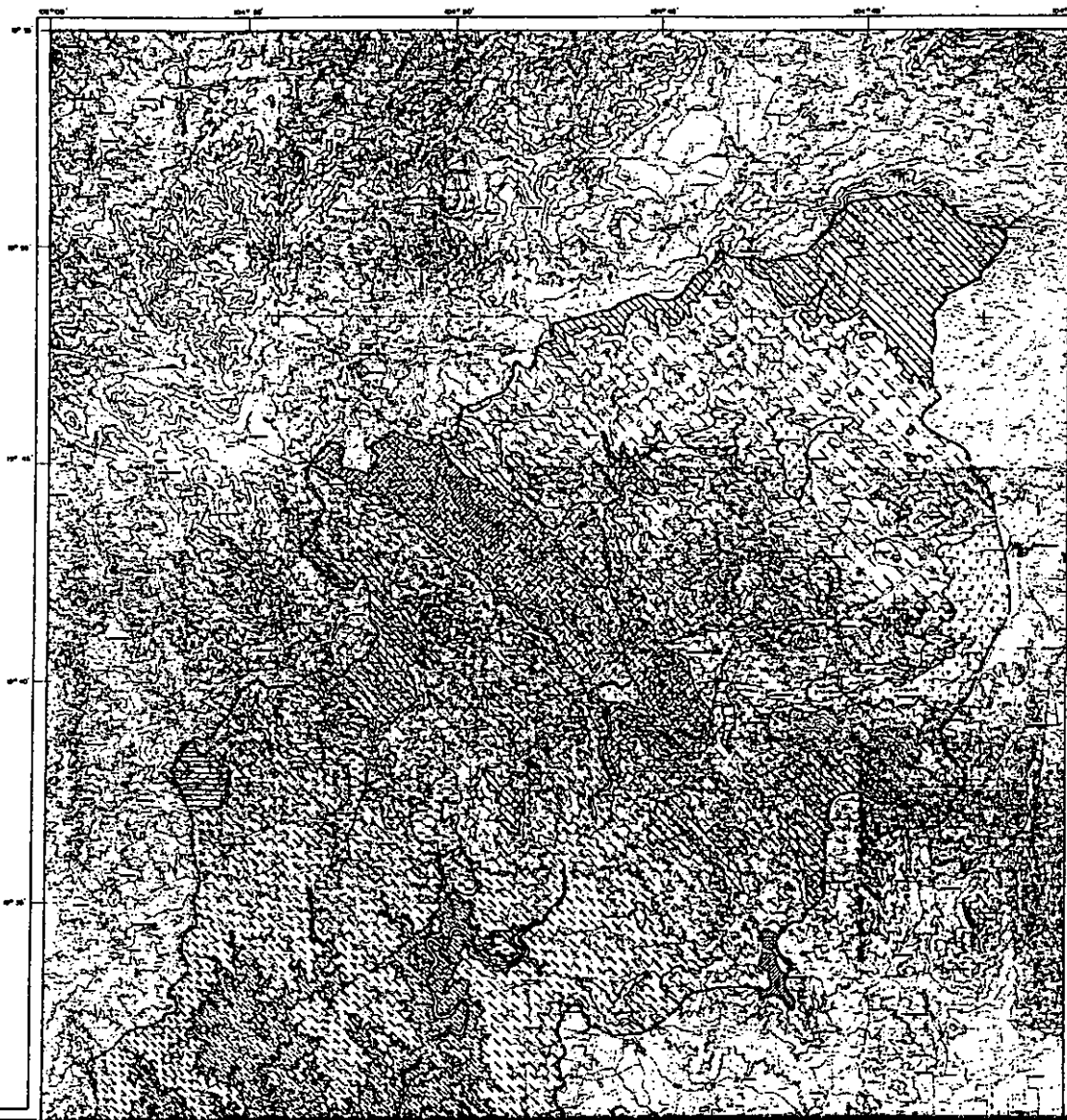
SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- CIUDAD O POBLADO \_\_\_\_\_
- LÍNEA DE COSTA \_\_\_\_\_
- SUBCUENCA RÍO CUITZMALA \_\_\_\_\_

ESCALA 1:250,000



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA "RÍO CUITZMALA", EN LA COSTA DE JALISCO	
CARTA DE DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO	
TESIS PROFESIONAL	
FELIPE DE JESÚS CORTÉS AVILA	
FIG. No. IV.11	MÉXICO, D.F. 2001



**LEYENDA**

- I. MONTAÑAS**
- FORMADAS EN EL COMPLEJO INTRUSIVO DEL CINTACHO  
Montañas altas macizas, elevadas (1800 > H < 1900 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO SEDIMENTARIO DEL CINTACHO INFERIOR  
Montañas bajas plegadas de relieve labrado y frías, moderadamente elevadas (1800 > H < 2000 m.)
- II. PREMONTAÑAS**
- FORMADAS EN EL COMPLEJO VOLCANICO DEL TERCIARIO INFERIOR  
Premontañas de origen volcánico, moderadamente elevadas (1400 > H < 2000 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO INTRUSIVO DEL CINTACHO  
Premontañas altas de relieve accidentado, moderadamente elevadas (1400 > H < 2400 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO SEDIMENTARIO DEL CINTACHO INFERIOR  
Premontañas bajas plegadas de relieve labrado, moderadamente elevadas (1000 > H < 2000 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO VOLCANICO INFERIOR DEL CINTACHO INFERIOR  
Premontañas bajas plegadas y labradas, moderadamente elevadas (1400 > H < 2400 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO VOLCANOLITICO DEL CINTACHO INFERIOR  
Premontañas bajas plegadas y labradas, moderadamente elevadas (1400 > H < 2000 m.)
- III. ELEVACIONES MEDIAS**
- FORMADAS EN EL COMPLEJO INTRUSIVO DEL CINTACHO  
Elevaciones medias accidentadas, moderadamente elevadas (1200 > H < 1400 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO VOLCANOLITICO DEL CINTACHO INFERIOR  
Elevaciones medias de relieve accidentado, moderadamente elevadas (1800 > H < 2000 m.)
- IV. ELEVACIONES BAJAS**
- FORMADAS EN EL COMPLEJO INTRUSIVO DEL CINTACHO  
Elevaciones bajas de relieve accidentado, moderadamente elevadas (800 > H < 1000 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO VOLCANICO DEL TERCIARIO INFERIOR  
Elevaciones bajas de relieve accidentado, moderadamente elevadas (1200 > H < 1800 m.)
  - FORMADAS EN EL COMPLEJO SEDIMENTARIO DEL CINTACHO INFERIOR  
Elevaciones bajas de relieve accidentado, moderadamente elevadas (1200 > H < 1800 m.)
- V. LLANURA INTERIOR**
- VI. VALLES INTERMONTANOS**
- VII. LLANURA FLUVIAL ACUMULATIVA**
- VIII. LLANURA FLUVIO-MARINA**

**SIMBOLOGIA**

SUBCENCIA NO CUATZIMALA





**SIMBOLOGIA**

**1 GEOLOGIA**

- I- Llanura sedimentaria
- II- Depresión sedimentaria reciente
- III- Depresión sedimentaria reciente
- IV- Depresión sedimentaria reciente
- V- Depresión sedimentaria reciente
- VI- Depresión sedimentaria reciente
- VII- Depresión sedimentaria reciente
- VIII- Depresión sedimentaria reciente

**2 REGIONES MORFOGENETICAS**

**LEYES**

**I ZONA DE HORTALIZAS**

- IA- Depresión sedimentaria reciente
- IB- Depresión sedimentaria reciente
- IC- Depresión sedimentaria reciente

**II ZONA DE PIEDRAZOS**

- IIA- Depresión sedimentaria reciente
- IIB- Depresión sedimentaria reciente
- IIC- Depresión sedimentaria reciente
- IID- Depresión sedimentaria reciente
- IIE- Depresión sedimentaria reciente
- IIF- Depresión sedimentaria reciente
- IIG- Depresión sedimentaria reciente
- IIH- Depresión sedimentaria reciente
- IIJ- Depresión sedimentaria reciente

**III ZONA DE ELEVACIONES BAJAS**

- IIIA- Depresión sedimentaria reciente
- IIIB- Depresión sedimentaria reciente
- IIIC- Depresión sedimentaria reciente

**IV ZONA DE ELEVACIONES ALIAS**

- IIIV- Depresión sedimentaria reciente
- IIIVB- Depresión sedimentaria reciente
- IIIVC- Depresión sedimentaria reciente

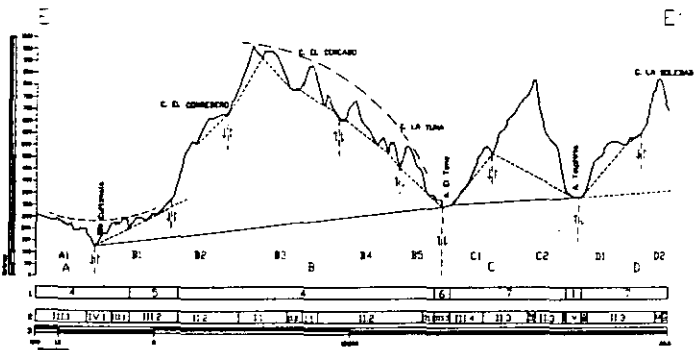
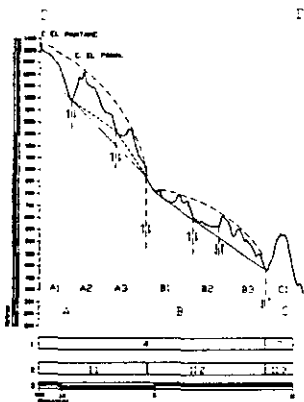
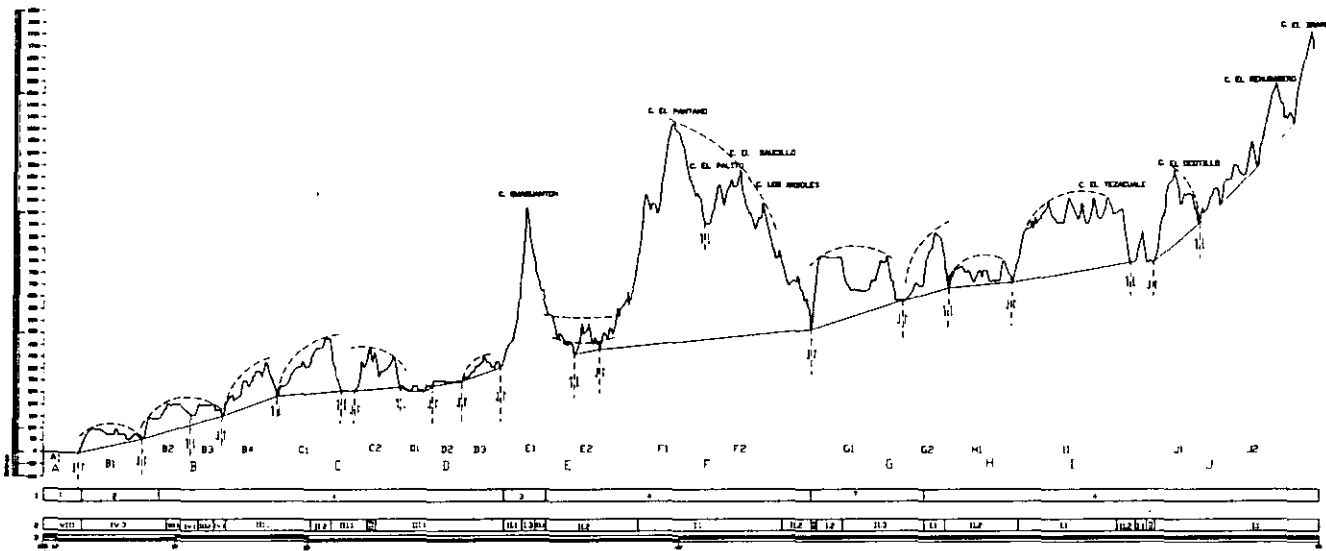
**V LLANURA INTERIOR**

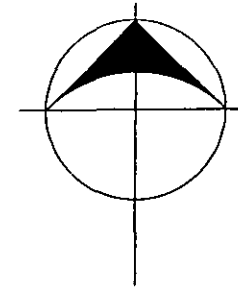
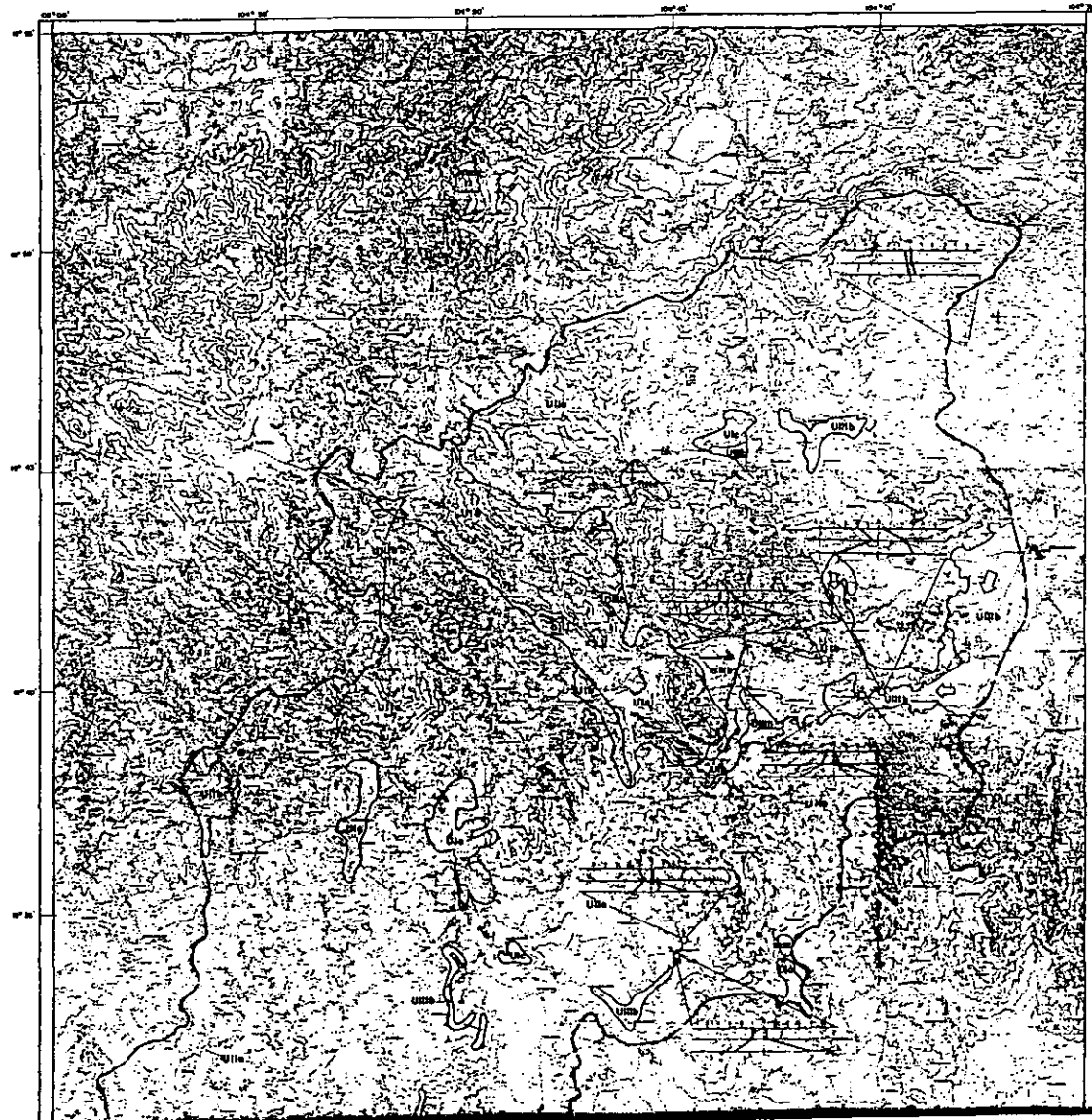
- VI VALLE INTERIOR
- VII LLANURA FLUVIAL AGUAFUERA
- VIII LLANURA FLUVIAL

- IX- Línea de separación de drenaje
- X- Línea de separación de drenaje y línea de drenaje
- XI- Línea de separación de drenaje y línea de drenaje
- XII- Línea de separación de drenaje y línea de drenaje

- 1- Línea de drenaje
- 2- Línea de drenaje

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 CENTRO TECNOLÓGICO DE LA INGENIERÍA  
 "NO CUSTODIA" EN LA CIUDAD DE JUZCO  
 PUEBLOS NUMERALES C-C, B-B' y E-E'  
**TESIS PROFESIONAL**  
 FELIPE DE JESUS CORTES AMLA  
 PÁGINA N.º 1-3      MARZO DE 1981



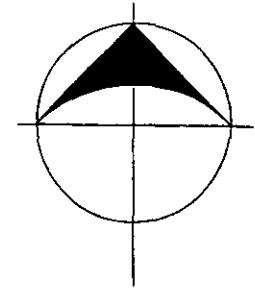


L E Y E N D A

UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SÍMBOLO GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
U10a)	U1	U1a	Permeabilidad media o alta, tipo de materiales: molinos o graníticos.
		U1b	Permeabilidad variable, tipo de materiales: arcillosos intercalados con materiales volcánicos.
		U1c	Permeabilidad baja, no contiene molinos.
U10b)	U2	U2a	Permeabilidad baja, contiene granos de feldspato y cuarzo al tipo molinos, no contiene molinos.
U2b		Permeabilidad baja, contiene granos de feldspato, no contiene molinos.	
Teterug)	U3	U3a	Permeabilidad variable, tipo de materiales: molinos de tipo molinos.
U3b)		U3b	Permeabilidad alta, tipo de materiales: molinos de tipo molinos.
U4a)	U4	U4a	Permeabilidad variable, tipo de materiales: molinos de tipo molinos.
U4b)		U4b	Permeabilidad alta, tipo de materiales: molinos de tipo molinos.

SÍMBOLOS GEOMORFOLÓGICOS

- CONTACTO GEOMORFOLÓGICO
- UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
- MANANTIAL
- ARROYO MUESTREADO
- DIRECCIÓN DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
- LÍMITE DE CUENCA
- LÍMITE DE SUBCUENCA
- DIABRAMA DE STIFF (MODIFICADO)



**LEYENDA**

SELECCION DE AREAS DEFINITIVAS PARA EL PROYECTO  
USO POTENCIAL: GANADERIA

TERRENOS APTOS PARA EL DESARROLLO DE PRADERAS CULTIVADAS:

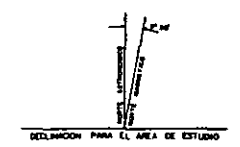
- 1 Con maquinaria agrícola
- 2 Con tracción animal
- 3 Aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal o praderas cultivadas de temporal
- ② NUMERO DE LA UNIDAD SELECCIONADA

**SIMBOLOS HIDROLOGICOS**

- LIMITE DE CUENCA
- LIMITE DE SUBCUENCA
- MANANTIAL MAESTREADO
- TUBERIA PROYECTADA

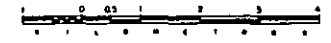
**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- CARRETERA
- TERRACERA
- BRECHA
- RIO O ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- POBLADO

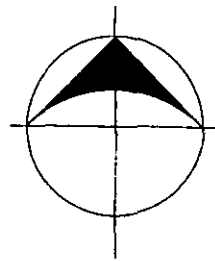
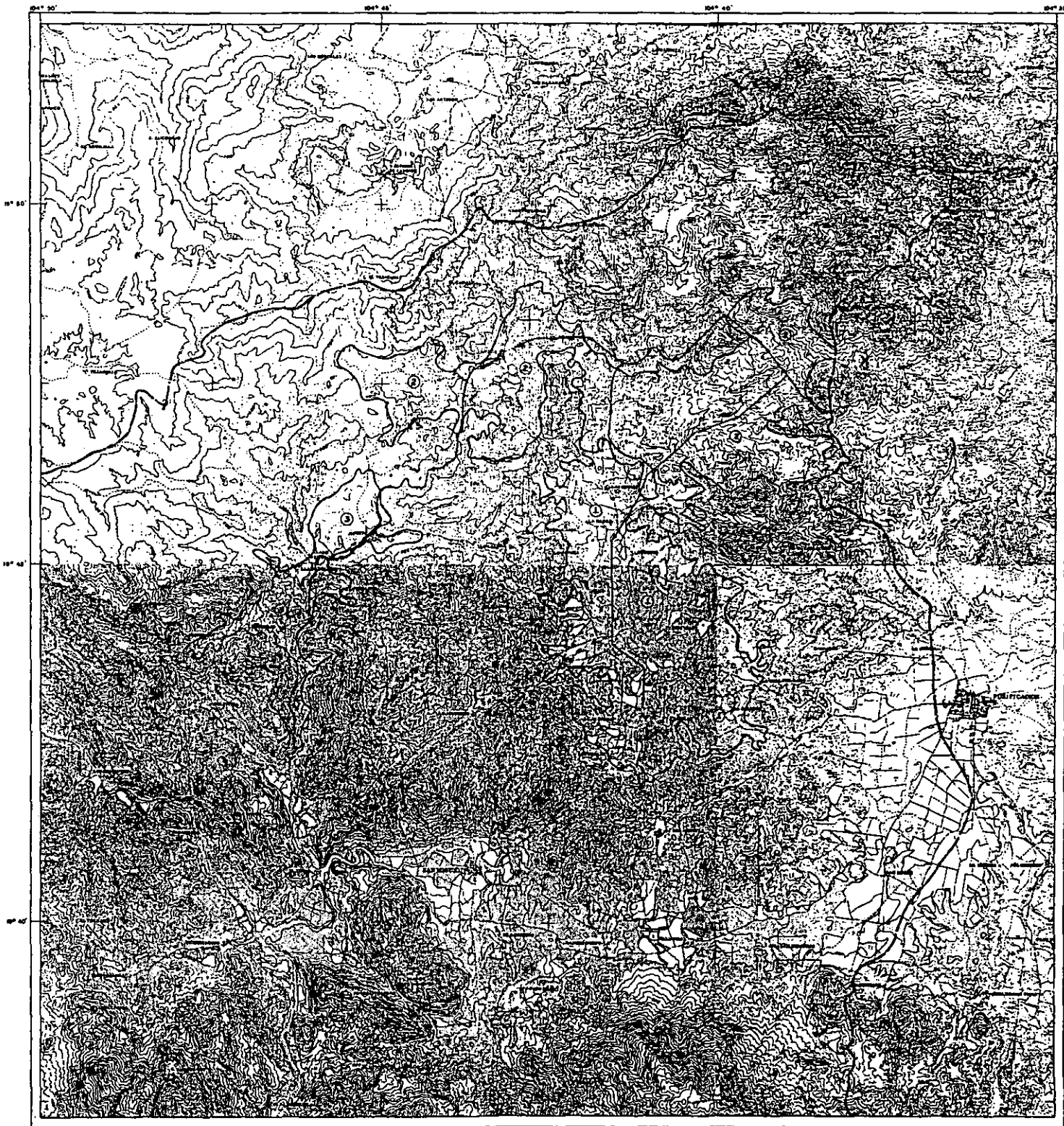


DELIMITACION PARA EL AREA DE ESTUDIO

ESCALA 1:50 000



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA "RIO CUTZAMALA", EN LA COSTA DE JALISCO
<b>PROYECTO LOS ACHOTES-SAN MIGUELITO</b>
<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>FELIPE DE JESUS CORTES AVILA</b>
PLANO No. 4 <span style="float: right;">MEXICO, D.F. 1961</span>



**LEYENDA**

SELECCION DE AREAS DEFINITIVAS PARA EL PROYECTO  
USO POTENCIAL: GANADERIA

TERRENOS APTOS PARA EL DESARROLLO DE PRADERAS CULTIVADAS:

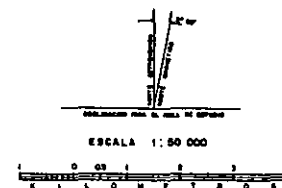
- 1 Cas maguarete artificial
- 2 Cas tracción animal
- 3 Aprovechamiento de la vegetación natural durante del período o períodos cultivos de temporal.
- ② NUMERO DE LA UNIDAD SELECCIONADA.

**SIMBOLOS HIDROLOGICOS**

- LIMITE DE CUENCA \_\_\_\_\_
- LIMITE DE SUBCUENCA \_\_\_\_\_
- MANANTIAL MUESTREADO \_\_\_\_\_
- ARROYO MUESTREADO \_\_\_\_\_
- TUBERIA PROYECTADA \_\_\_\_\_

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- CARRTERA \_\_\_\_\_
- TERANCIERIA \_\_\_\_\_
- BRINCA \_\_\_\_\_
- RIO O ARROYO \_\_\_\_\_
- CURVA DE NIVEL \_\_\_\_\_
- POBLADO \_\_\_\_\_



<span style="font-size: small;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</span> <span style="font-size: small;">FACULTAD DE INGENIERÍA</span>
ESTUDIO REGIONOLÓGICO DE LA SUBCUENCA "RIO CANTZMALA", EN LA COSTA DE JALISCO.
PROYECTO ESPINOS DEL JUDDO
TESIS PROFESIONAL
FELIPE DE JESUS CORTES AVILA
PLANO No. 5 <span style="float: right;">MEXICO, S.P. 2001.</span>