



24.23  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Exploración Geológica por Uranio del  
Distrito de Huajuapán de León, Estado  
de Oaxaca.**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO GEOLOGO**  
**P R E S E N T A N**  
MARCO A. MOSQUERA MORILLO  
EDGAR R. MELENDEZ DEL PINAL



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).

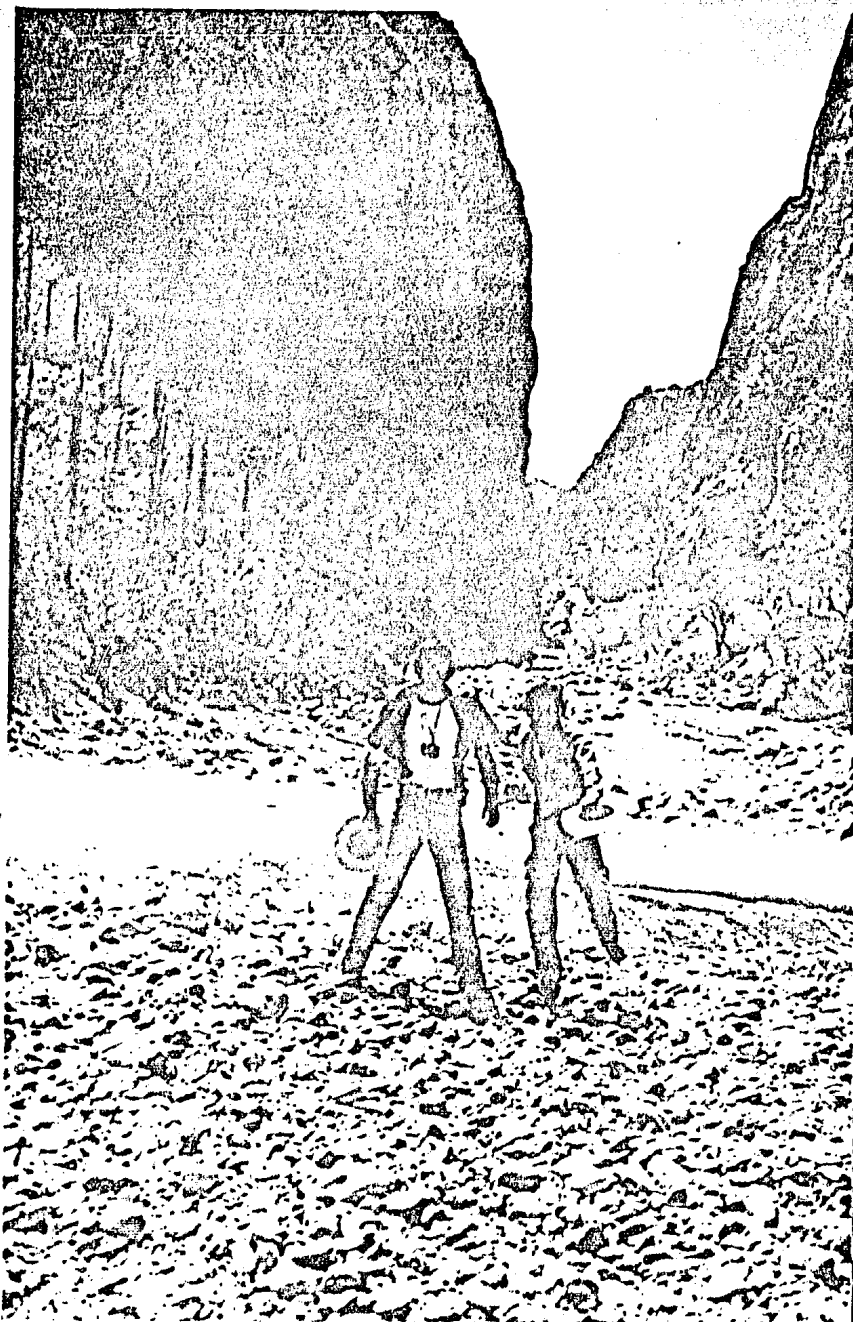
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

EXPLORACION GEOLOGICA POR URANIO DEL DISTRITO  
DE HUAJUAPAN DE LEON, ESTADO  
DE OAXACA.

MARCO A. MOSQUERA MORILLO

EDGAR R. MELENDEZ DEL PINAL.

M E X I C O



ECUADOR Y GUATEMALA





UNIVERSIDAD NACIONAL

AUTÓNOMA

Señores MELENDEZ DEL PINAL EDGAR ROLANDO Y  
MOSQUERA MORILLO MARCO A.,

P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Dr. -- José Guerrero G., para que lo desarrollen como tesis para su -- Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"EXPLORACION GEOLOGICA POR URANIO DEL DISTRITO DE HUAJUAPAN DE LEON, ESTADO DE OAXACA"

- I INTRODUCCION.
- II GENERALIDADES.
- III FISIOGRAFIA.
- IV GEOLOGIA.
- V GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL
- VI EXPLORACION DE MINERALES RADIATIVOS.
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

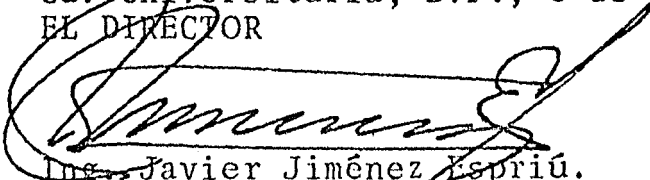
Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., 3 de septiembre de 1982.

EL DIRECTOR

  
Ing. Javier Jiménez Espriú.

## V.- GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL

V.1. Características Generales del Relieve . . . . .	99
V.2. Formas Plicativas . . . . .	101
V.3. Formas Disyuntivas . . . . .	102
V.4. Formas Intrusivas . . . . .	104
V.5. Formas Volcánicas . . . . .	105
V.6. Estructuras Bloques y Unidades Geomorfológico- Estructurales. . . . .	106

## VI.- EXPLORACION DE MINERALES RADIATIVOS

(Area de Tezoatlán, Oax.)

VI.1. Aspectos generales . . . . .	111
a) Instrumentos radiométricos . . . . .	113
b) Distribución radiométrica . . . . .	116
VI.2. Anomalías radiométricas . . . . .	119
a) Descripción de Anomalías . . . . .	120
b) Mineralogía y Asociación Mineralógica . . . . .	126
VI.3. Geoquímica del uranio . . . . .	133
VI.3.1. Introducción . . . . .	133
VI.3.2. Consideraciones Geoquímicas . . . . .	135
VI.3.3. Técnicas de Análisis y Muestreo . . . . .	147
VI.3.4. Interpretación . . . . .	153
VI.3.5. Etapas en la exploración Geoquímica . . . . .	154

## VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1. Conclusiones . . . . .	157
VII.2. Recomendaciones . . . . .	161

## VIII.- BIBLIOGRAFIA

### APENDICES: - PLANOS.

APENDICE "A".- SONDEOS

APENDICE "B".- PETROGRAFICO

APENDICE "C".- PALEONTOLOGICO

APENDICE "D".- FOTOGRAFICO

EXPLORACION GEOLOGICA POR URANIO, DEL DIS-  
TRITO DE HUAJUAPAN DE LEON, ESTADO DE  
OAXACA.

C O N T E N I D O

RESUMEN

I.- INTRODUCCION

- I.1. Objetivo del trabajo . . . . .1
- I.2. Antecedentes geológicos . . . . .1
- I.3. Método de trabajo . . . . .6
- I.4. Reconocimientos . . . . .9

II.- GENERALIDADES

- II.1. Localización . . . . .10
- II.2. Vías de comunicación . . . . .10
- II.3. Clima y Vegetación . . . . .10
- II.4. Población y características económicas . . .13

III.- FISIOGRAFIA

- III.1. Provincias Fisiográficas . . . . .16
- III.2. Hidrografía . . . . .17
- III.3. Orografía . . . . .19

IV.- GEOLOGIA

- IV.1. Generalidades . . . . .20
- IV.2. Estratigrafía . . . . .25
- IV.3. Tectónica . . . . .81
- IV.4. Geología Histórica . . . . .93

## V.- GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL

V.1. Características Generales del Relieve . . . . .	99
V.2. Formas Plicativas . . . . .	101
V.3. Formas Disyuntivas . . . . .	102
V.4. Formas Intrusivas . . . . .	104
V.5. Formas Volcánicas . . . . .	105
V.6. Estructuras Bloques y Unidades Geomorfológico- Estructurales. . . . .	106

## VI.- EXPLORACION DE MINERALES RADIACTIVOS

(Area de Tezoatlán, Oax.)

VI.1. Aspectos generales . . . . .	111
a) Instrumentos radiométricos . . . . .	113
b) Distribución radiométrica . . . . .	116
VI.2. Anomalías radiométricas . . . . .	119
a) Descripción de Anomalías . . . . .	120
b) Mineralogía y Asociación Mineralógica . . . . .	126
VI.3. Geoquímica del uranio . . . . .	133
VI.3.1. Introducción . . . . .	133
VI.3.2. Consideraciones Geoquímicas . . . . .	135
VI.3.3. Técnicas de Análisis y Muestreo . . . . .	147
VI.3.4. Interpretación . . . . .	153
VI.3.5. Etapas en la exploración Geoquímica . . . . .	154

## VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1. Conclusiones . . . . .	157
VII.2. Recomendaciones . . . . .	161

## VIII.- BIBLIOGRAFIA

### APENDICES: - PLANOS.

APENDICE "A".- SONDEOS

APENDICE "B".- PETROGRAFICO

APENDICE "C".- PALEONTOLOGICO

APENDICE "D".- FOTOGRAFICO

## RESUMEN

El área estudiada se encuentra en la región NW del Estado de Oaxaca, en la denominada Mixteca Alta. Fisiográficamente queda comprendida dentro de la provincia Sierra Madre del Sur y geológicamente dentro de la cuenca de Tlaxiaco.

Las rocas que afloran en la zona comprenden a las siguientes unidades litoestratigráficas: Complejo Acatlán, Grupo Consuelo, Grupo Tecocoyunca, Caliza con Cidaris, Grupo Sabinal, San Isidro, San Juan Teita, Teposcolula, Huajuapán, rocas volcánicas pre-toarcianas y terciarias, rocas intrusivas e hipabisales y depósitos aluviales. Este conjunto abarca desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, excluyendo, por no depósito, los períodos Paleozoico Superior, Triásico y Cretácico superior.

El espesor de la secuencia sedimentaria del Jurásico Inferior al Oligoceno es de 2,810 m.

Considerando los fósiles colectados así como las relaciones de campo en cuanto a posición estratigráfica; en algunas localidades se encuentran rocas correspondientes a los intervalos de tiempo: Kimeridgiano-Titoniano del Jurásico Superior y Neocomiano-Aptiano del Cretácico inferior, y esto implica una continuidad en el depósito.

Rocas volcánicas encontradas por debajo de la secuencia clástica del Jurásico Inferior (Toarciano) indican la formación de un arco de islas volcánico, resultado de una actividad orogénica desarrollada durante el Triásico y parte del Jurásico Inferior y localizada al oriente de la faja tectónica de Oaxaca.

Los primeros movimientos diastróficos desarrollados en la región NW del Estado de Oaxaca datan del Precámbrico y su evolución hasta finales del Cretácico Superior, está relacionada con el dominio de tres unidades geotectónicas denominadas: faja tectónica de Oaxaca, Cuenca de Tlaxiaco y plataforma de Oaxaca-Guerrero.

La Orogenia Laramide es la responsable de la compresión y distensión de la secuencia mesozoica, así como de la actividad volcánica del Terciario. Ambos eventos modifican el relieve, mismo que es transformado continuamente por la actividad tectónica posterior.

Dentro de las estructuras más sobresalientes, se tienen al Anticlinorio de Diquiyú, el Anticlinal Mixteco y los elementos metamórficos que se alinean con la Trinchera Mesoamericana. Este conjunto de estructuras se encuentra fallado y fracturado, colaborando a la formación de un sistema de pilares y fosas tectónicas desarrollados con una orientación W-E.

Las principales orientaciones que posee el fracturamiento en la región son: NE 45° - 60° SW y NW 30° - 45° SE.

El programa de exploración geológico-radiométrico desarrollado, permitió conocer el valor radiométrico de fondo para la región, los valores radiométricos normales de cada unidad litoestratigráfica estudiada y la presencia de 5 zonas anómalas, desde el punto de vista radiométrico, que poseen valores que oscilan entre 100 y 2,000 cuentas por segundo (cintilómetro GR-101A). La mayoría de las anomalías contienen características litológicas-radiométricas, estratigráficas muy similares que hacen suponer un mismo origen, ya que se trata de una concentración de minerales pesados en sedimentos clásticos de ambiente deltaico, la cual contiene abundante Torio en sustitución de elementos del grupo de los

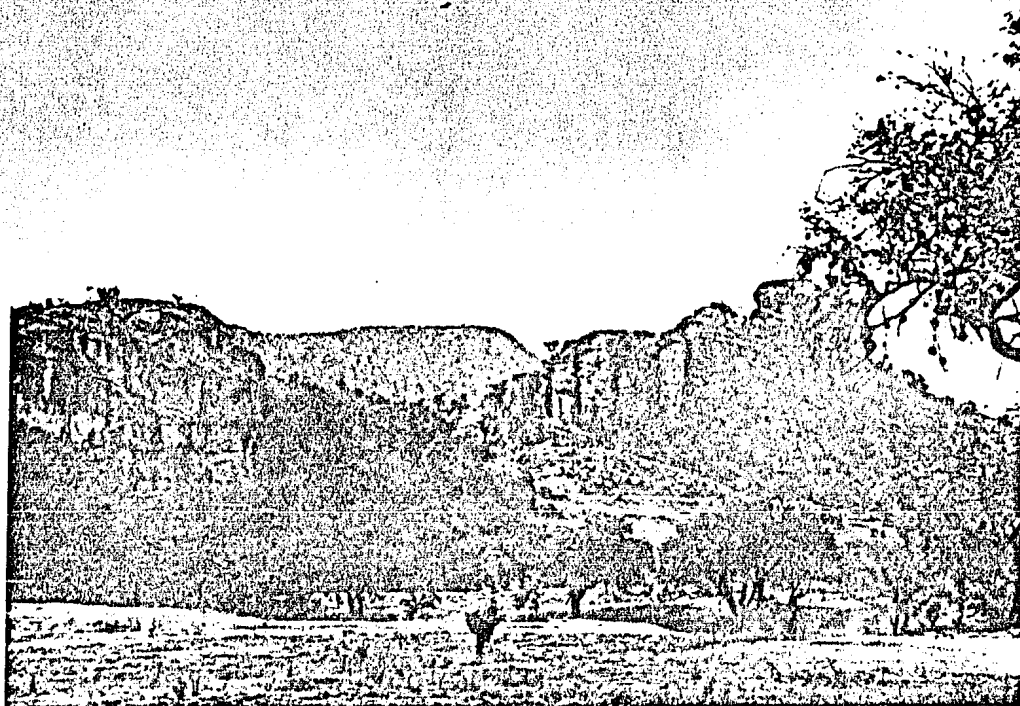
lantánidos; este elemento al parecer, es el responsable de la radiactividad anómala en la región.

Los minerales de mena son el circón y la monacita, de donde se obtienen contenidos en  $U_3O_8$  de 300 gr/ton, es decir 0.003% y se calculan 8.2 ton de mineral expuesto.

Las posibilidades de extraer mineral radiactivo, en las anomalías estudiadas, resultan ser bastante limitadas, ya que las leyes de  $U_3O_8$  son bajas y la mineralización es fundamentalmente de Torio.



# 1.- I N T R O D U C C I O N





## I.- INTRODUCCION

### I.1.- Objetivo del trabajo.

El presente trabajo comprende la etapa inicial de exploración geológica en búsqueda de minerales radiactivos, que está enmarcada dentro del programa de desarrollo nuclear que se ha propuesto URANIO MEXICANO (URAMEX) en los próximos años, con el fin de aumentar las reservas de uranio para garantizar el abastecimiento de la planta nucleoelectrica de Laguna Verde, Ver., y fincar las bases del desarrollo nuclear del país.

En dicho contexto, este trabajo cumple con el objetivo de realizar un estudio geológico y radiométrico que permite evaluar el potencial uranífero del área en estudio correspondiente al distrito de Huajuapán de León, Oax., para posteriormente programar etapas más avanzadas en la exploración, que puedan ser justificadas económicamente.

Además de este objetivo económico se hizo un esfuerzo por definir la estratigrafía referida especialmente al período Jurásico Superior-Cretácico Inferior, con el afán de aportar mayores conocimientos en la geología de esta compleja región.

### I.2.- Antecedentes geológicos.

Como antecedente histórico se puede mencionar que en el año de 1955, se localizó un yacimiento de uranio en pegmatitas, cerca de la población de Huitzo, Oaxaca. En dicho lugar se estableció la mina "El muerto", que posteriormente fue abandonada por considerarse económicamente no explotable.

En 1956 se da inicio a la prospección de minerales radiactivos en México, con la integración de un organismo gubernamental para este propósito.

Actualmente en México, varios investigadores, basados en la experiencia y el análisis de localidades uraníferas a nivel mundial, han determinado zonas favorables para la exploración de minerales radiactivos; entre ellos Bazán, (1974), define 7 posibles provincias uraníferas:

- 1.- Península de Baja California
  - a) Región de Sebastián Vizcaíno
  - b) Región de Purísima-Iray
- 2.- Zona costera del golfo de California
  - a) Llanura desértica de Sonora
  - b) Zona de bermas y deltas de Sinaloa
- 3.- Planicie costera del golfo de México
  - a) Cuenca marina de Tampico-Tuxpan
  - b) Cuenca terciaria de Veracruz
- 4.- Mesa Central del norte
  - a) Cuenca endorréica de Mayrán
  - b) Valles y Bolsones aluviales de Chihuahua, Durango, Coahuila y Zacatecas.
- 5.- Cuenca de Oriental-Serdán
  - a) Estados de Tlaxcala, Puebla y Veracruz
- 6.- Faja orogénica de Oaxaca y Guerrero (complejo metamórfico precámbrico).
- 7.- Faja orogénica de Sonora y Sinaloa (complejo metamórfico precámbrico).

Como se observa en la anterior definición, se enfatiza al complejo metamórfico precámbrico de la faja orogénica de Oaxaca y Guerrero.

Así también Rodríguez Torres (1975-76, pg. 601) divide la República Mexicana en 7 Unidades Geológicas Regionales, como objetivos geológicos en la prospección de Uranio, mencionando que dentro de los ambientes -- magnéticos, son de interés las rocas volcánicas ácidas, (Fig. No. 1 y 2).

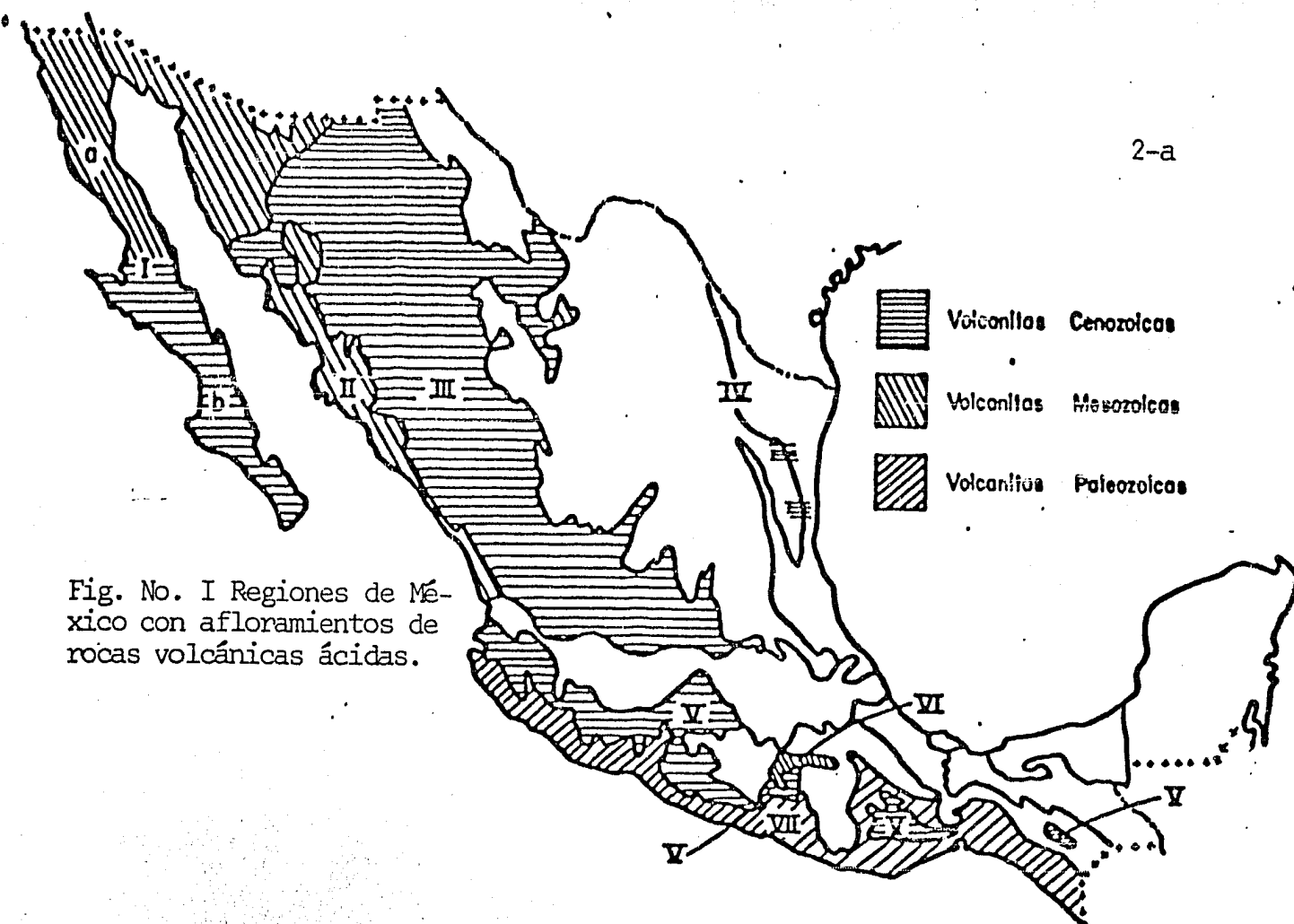


Fig. No. I Regiones de México con afloramientos de rocas volcánicas ácidas.

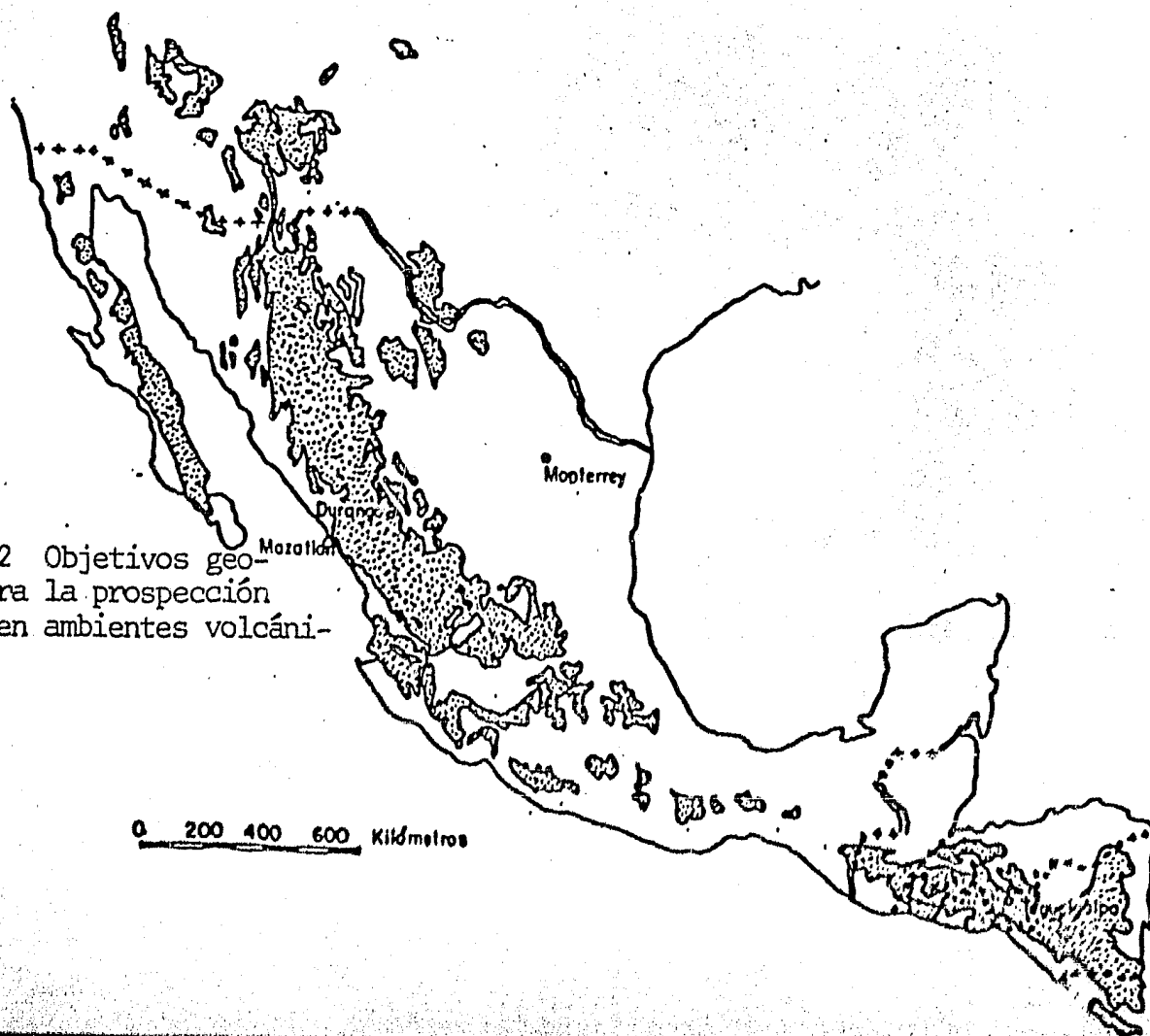


Fig. No. 2 Objetivos geológicos para la prospección de Uranio en ambientes volcánicos.

De estas 7 Regiones, se recalcan a continuación las que conciernen al Estado de Oaxaca.

Región V. Unidad Regional Mesetas Volcánicas Australes, están principalmente constituídas por epiclásticos y piroclásticos intercalados -- con corrientes lávicas. Las unidades volcánicas basales son de composición ácida, mientras que las últimas unidades son de composición intermedia e incluso básico. Las edades posiblemente oscilan entre el Eoceno y el Plioceno. En los alrededores de Oaxaca se han cartografiado -- ignimbritas; en forma local, se encontraron fósiles del Mioceno, según Wilson y Clabough (in Rodríguez Torres 1975-76, pg. 605). Estas mesetas constituyen relictos de erosión de una extensa cubierta volcánica que debió estar relacionada y asociada, tanto en origen como en controles, con los eventos inferidos para las rocas que constituyen las "Sierras Volcánicas Ácidas", (Sierra Madre Occidental). Región VI. En las partes bajas o regiones erosionadas por el sistema fluvial del Río Balsas, en la región limítrofe de los Estados de Michoacán, México y Guerrero, afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas asociadas con sedimentos parcialmente metamorfizados (facies bajas de los esquistos verdes). Las rocas volcánicas son de composición andesítica, dacítica y aún riolítica. La edad es problemática; la parte superior de la secuencia volcánica está relacionada con sedimentos incipientemente metamorfizados de edades que oscilan entre el Titoniano y el Neocomiano, según Campa y colaboradores (in Rodríguez Torres 1975-76 pg. 605). El -- origen de esta secuencia está relacionado con una zona de arcos insulares, localizada al sur de un macizo de plataforma continental (elemento paleogeográfico del Triásico-Cretácico), que define una "paleosutura", activa desde el Mesozoico hasta el Reciente.

Región VII. Intercalada con un variado conjunto de rocas metamórficas de muy diversos grados y de edades que oscilan desde el Precámbrico medio hasta el Paleozoico medio, se encuentra una secuencia de tobas riolíticas asociadas con vulcanitas básicas, interestratificadas con meta-sedimentos que muestran evidencias mineralógicas, desde las facies altas de los esquistos verdes hasta ultrametamorfismo. Estas rocas en conjunto forman el "basamento" priesozoico de México, principalmente expuesto como una franja que se extiende a lo largo de la costa del Pacífico, desde el Estado de Jalisco hasta el Estado de Chiapas, constituyendo la "Unidad Geológica Regional Sierras Cristalinas". Los datos geocronométricos existentes permiten considerar al principal evento metamórfico como prepaleozoico tardío, y algunos otros datos geocronométricos de rocas magnéticas asociadas a las últimas deformaciones nos restringen la edad de la secuencia volcánica al Cámbrico-Ordovícico. Este vulcanismo continental está directamente asociado, genéticamente, con el emplazamiento de una secuencia típicamente ofiolítica, extravasada durante el Cámbrico-Ordovícico y metamorfizada repetidamente durante el Paleozoico medio, en ambientes metamórficos característicos de zonas de subducción litosférica, según Ortega (in Rodríguez Torres 1975-76, pg. 605).

Por otro lado se determinó como zona favorable para la concentración de minerales radiactivos a la cuenca de Tlaxiaco, por sus características litológicas y sus condiciones reductoras.

Dentro del programa de trabajo de la delegación Oaxaca, se determinaron zonas de interés al NW del estado, entre las cuales se encuentra la zona de Tezoatlán de Segura y Luna, distrito de Huajuapán de León, donde en noviembre de 1979 se localizó la anomalía radiométrica No. 10 y 10A.

El conocimiento de esta anomalía, provocó el interés por desarrollar la exploración geológica-radiométrica de la zona.

El área de trabajo ha sido estudiada con diferentes enfoques a partir de 1882 por Santiago Ramírez en la prospección de yacimientos de carbón mineral para la Cía. Oaxaca Iron and Coal Co.: posteriormente la estudiaron múltiples investigadores como: Félix y Lenk (1890-1899), - cuyo trabajo es académico regional y de geología regional; Aguilera - (1896), en estudios geológicos de la parte nor-occidental del Edo. de Oaxaca, en relación a yacimientos de carbón; Flores (1909), en un trabajo académico regional de geología general del Edo. de Oaxaca; Birkinbine (1911), con un estudio económico detallado en relación a yacimientos de hierro y carbón; Wieland (1914), con su trabajo académico detallado de la Paleobotánica del Triásico (Jurásico); Burckhard - - (1927), quien contribuyó esencialmente respecto de la Paleontología y Estratigrafía del Mesozoico, con él se iniciaron una serie de trabajos básicamente paleontológicos, entre los que se encuentran: Maldonado-Koerdell (1948); Erben (1956-a, 1956-b, 1956-c); Alencáster (1963); - Ochoterena (1963); Alencáster y Buitrón (1965), Silva Pineda (1970); Delevoryas (1966, 1973, 1975); Person (1974); en trabajos más recientes: Salas (1949) y Guzmán (1950) con estudios de tipo regional y presentan los primeros mapas de una amplia zona en los Edos. de Guerrero y Oaxaca; Cortés Obregón (1957), en su estudio económico semiregional sobre yacimientos de carbón; Calderón García (1956), cuyo trabajo es académico semiregional con estudios sobre la Estratigrafía del Cretácico; el área estudiada por Pérez, Hokuto y de Cserna (1965), describe nuevas formaciones y constituye un trabajo académico, detallado de la Estratigrafía del Mesozoico; Fries (1952), con su contribución en re-

lación a la cronometría del Precámbrico; en los trabajos de Fries y Rincón Orta (1965) y Fries y colegas (1966), se encontraron las fechas cronológicas de rocas paleozoicas; Cárdenas (1966) en un trabajo académico, semiregional de geología general; Ochoterena (1968-69,80), en un estudio sobre Unidades Morfoestructurales de la región de Diquiyú, --- Oax.; López Ticha (1969-1975), en sus informes Geológico-Estratigráficos Regionales, PEMEX; Rodríguez Torres (1969-70), con su trabajo sobre la Geología Metamórfica de Acatlán; Ferrusquía (1970, 80), en su estudio Estratigráfico del Terciario y Paleontológico respecto de reptiles mesozoicos en el Edo. de Oaxaca; Ojeda (1975), en su estudio geológico-económico sobre prospección de carbón en la región de Tezoatlán Oax.; Quezadas (1978), Geología Regional; Ortega (1978), en su trabajo sobre la Geología y Petrología del Complejo Acatlán en los Edos. de Puebla y Oaxaca; Corona Esquivel (1983), y su trabajo sobre la Estratigrafía Paleozoica de la zona de Olinalá-Tecocoyuca, Edo. de Guerrero.

### I.3.- Método de trabajo.

Bibliografía y recopilación de datos: Se obtuvo información y publicaciones de trabajos geológicos del área, así como de temas referentes a la exploración del uranio en las bibliotecas del ININ, CRM e Instituto de Geología. Por otra parte, se utilizó el servicio de investigación bibliográfica retrospectiva del Centro de Información Científica y Humanística (CICH). de la Universidad Nacional Autónoma de México, sobre el tema de geología del estado de Oaxaca.

Análisis de informes geológicos: Se estudiaron los informes presentados por las brigadas geológicas de la Delegación Oaxaca, con el objeto de ubicarse en el marco geológico de la región y el sistema de trabajo desarrollado por éstas.

Conocimiento y manejo de equipo radiométrico: Se estudió el funcionamiento del equipo usado para la prospección radiométrica (escalas, variación de valores, etc.), así como el principio físico que los rige.

Fotointerpretación: Se interpretaron fotografías aéreas escala 1:50,000, línea 9, 10, 11 y 14 del vuelo 1935; que cubren un área de 1,332.00 Km<sup>2</sup>, en las que se delimitó la hidrografía, contactos litológicos y estructuras, elaborando el plano fotogeológico respectivo.

Comprobación de campo: Con base en el plano fotogeológico se programaron caminamientos por brechas y arroyos, en dirección transversal a las estructuras principales, determinando las unidades de roca, su manifestación estructural y su respuesta radiométrica. Al mismo tiempo se realizó un muestreo de las localidades de interés geológico-estratigráfico y radiométrico. Se interpretaron y correlacionaron los datos obtenidos.

Secciones geológico-estructurales: Se realizaron secciones con brújula y cinta en áreas de interés estratigráfico, representadas a escala 1:50,000. Asimismo se elaboró un plano geológico a semidetalle, en la misma escala, de la región de Tezoatlán Consuelo, cuya información se trasladó al plano base geológico.

Estudios petrográficos y paleontológicos: Se efectuaron estudios petrográficos, químicos, de difracción de rayos "X" y radiométricos, también se clasificaron los fósiles obtenidos determinando la edad y posición estratigráfica del estrato que los contiene.

Elaboración del plano geológico: Con base en la comprobación de campo y en los estudios petrográficos y paleontológicos se rectificó el plano fotogeológico preliminar, conformando de ésta manera el plano geológico a escala 1:50,000. (plano No. 1).



Orientación de la exploración: Tomando en cuenta las anteriores etapas de exploración y las características de la anomalía 10 y 10A, se procedió a seleccionar áreas favorables para la concentración de minerales radiactivos, como lo son la secuencia sedimentaria del Jurásico y las tobas terciarias ácidas e intermedias.

Se elaboró un mosaico hidrológico de 200 Km<sup>2</sup> basado en fotografías aéreas escala 1:50,000 sobre el que se determinó la densidad de fracturas y las orientaciones preferenciales del patrón estructural.

Reconocimiento geológico-radiométrico en áreas seleccionadas: Se llevaron a cabo levantamientos geológicos con brújula, altímetro y fotografías aéreas por caminos, veredas y arroyos. En este proceso se determinaron guías estratigráficas con base en el estudio de anomalías localizadas en el reconocimiento, las cuales fueron de utilidad para la detección del horizonte mineralizado en otras localidades. Se realizaron secciones radiométricas a detalle, utilizando cintilómetros, brújulas y cinta, formando una malla de 20 x 20 m. (Foto No. 1 Apéndice D).

Interpretación de imágenes de satélite: Se interpretaron las imágenes ERTS-LANDSAT Nos. 30 y 36, banda 7, a escala 1:500,000 en base a estudios anteriores y reconocimientos de campo, representando esta información en el plano No. 2.

Integración e interpretación: La información geológica y geofísica obtenida se integró e interpretó, con el objeto de determinar la importancia del área como probable zona de reservas de Uranio.

Material utilizado: Fotografías aéreas escala 1:50,000 de la Compañía AEROFOTO, vuelo 1935, realizado en 1967, que comprenden las líneas de vuelo Nos. 9, 10, 11 y 14.

- Imágen de Satélite ERTS-LANDSAT No. 30 y 36, esc. 1:500,000.

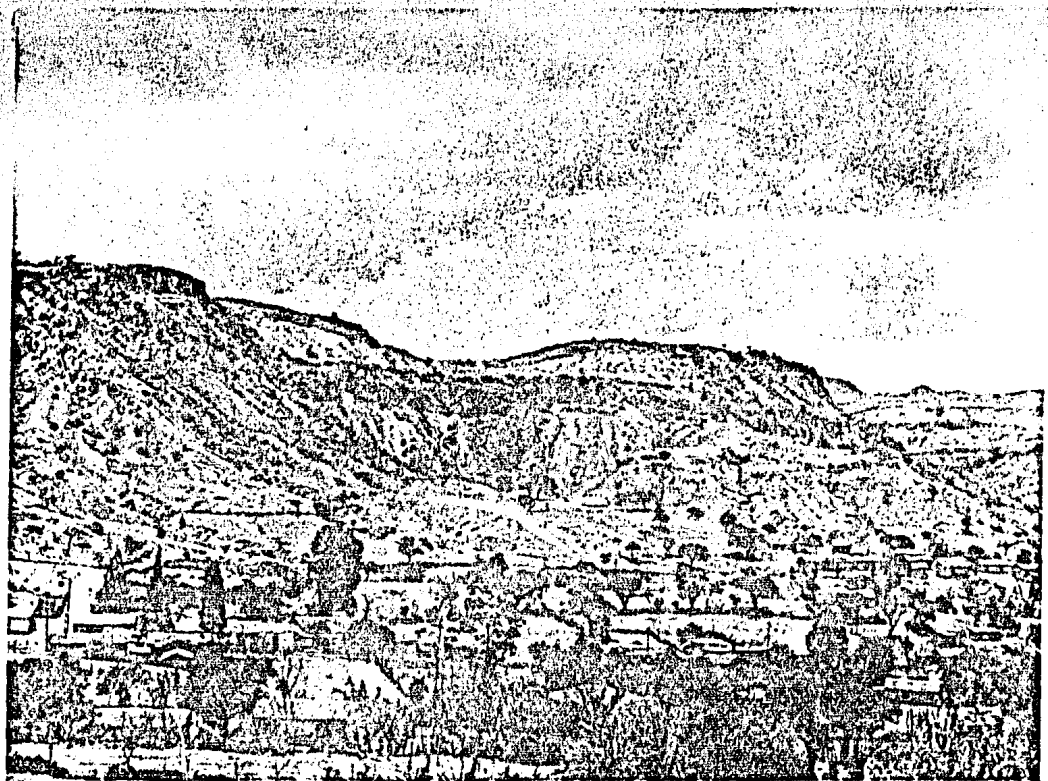
- Hoja topográfica No. 14 Q L (1), Huajuapán de León, a esc. - - - 1:100,000 publicada por la Secretaría de la Defensa Nacional, ampliada a escala 1:50,000, con las correcciones respectivas.
- Brújula Brunton, altímetro, cinta, pico y pala.
- Cintilómetros: Geometrics Grs-101A, Mount Sopris CS-132, INEN 310.
- Espectrómetros: Scintrex Gis-5, DISA 300

Duración del trabajo: El presente trabajo constituyó a grandes rasgos 2 actividades principales: trabajo de campo y trabajo de gabinete; los cuales se desarrollaron en 12 y 4 meses respectivamente, es decir un total de un año cuatro meses.

#### I.4. Reconocimientos

Para la realización del presente trabajo se contó con el apoyo fundamental de URAMEX; de los Ingenieros E. Rodríguez Soto, Luis del Castillo, R. Beutelespeacher, M. A. Ordáz Ramírez y el personal de la Delegación Oaxaca: así como del Instituto de Geología de la UNAM. Además se agradece la valiosa asesoría de: Dr. José Lugo Hubp en el desarrollo de la Geomorfología Estructural; Dra. Blanca E. Buitrón Silva, M. C. Alicia Silva Pineda en los estudios paleontológicos; Ing. Germán Arriaga en los estudios petrográficos y metalogenéticos; M. C. Guadalupe Villaseñor en el aspecto Geoquímico; Ing. Miguel Vera Ocampo; Ing. Odranoel Quintero, en la revisión de este escrito; y se da especial agradecimiento al Dr. José C. Guerrero García por la dirección e integración de esta tesis profesional; Ing. Alfredo Victoria en los análisis de "microscopio electrónico de barrido".

## II.- GENERALIDADES



## II.- GENERALIDADES

### II.1. Localización

El área de estudio comprende una superficie de 1,332.00 Km<sup>2</sup>, se encuentra situada al NW del estado de Oaxaca (Figs. 3 y 4), en la llamada -- Mixteca Alta, perteneciente al distrito de Huajuapán de León, y sus -- coordenadas geográficas son:

Latitud Norte	17°	30'	--	17°	50'
Longitud Oeste	97°	40'	--	98°	00'

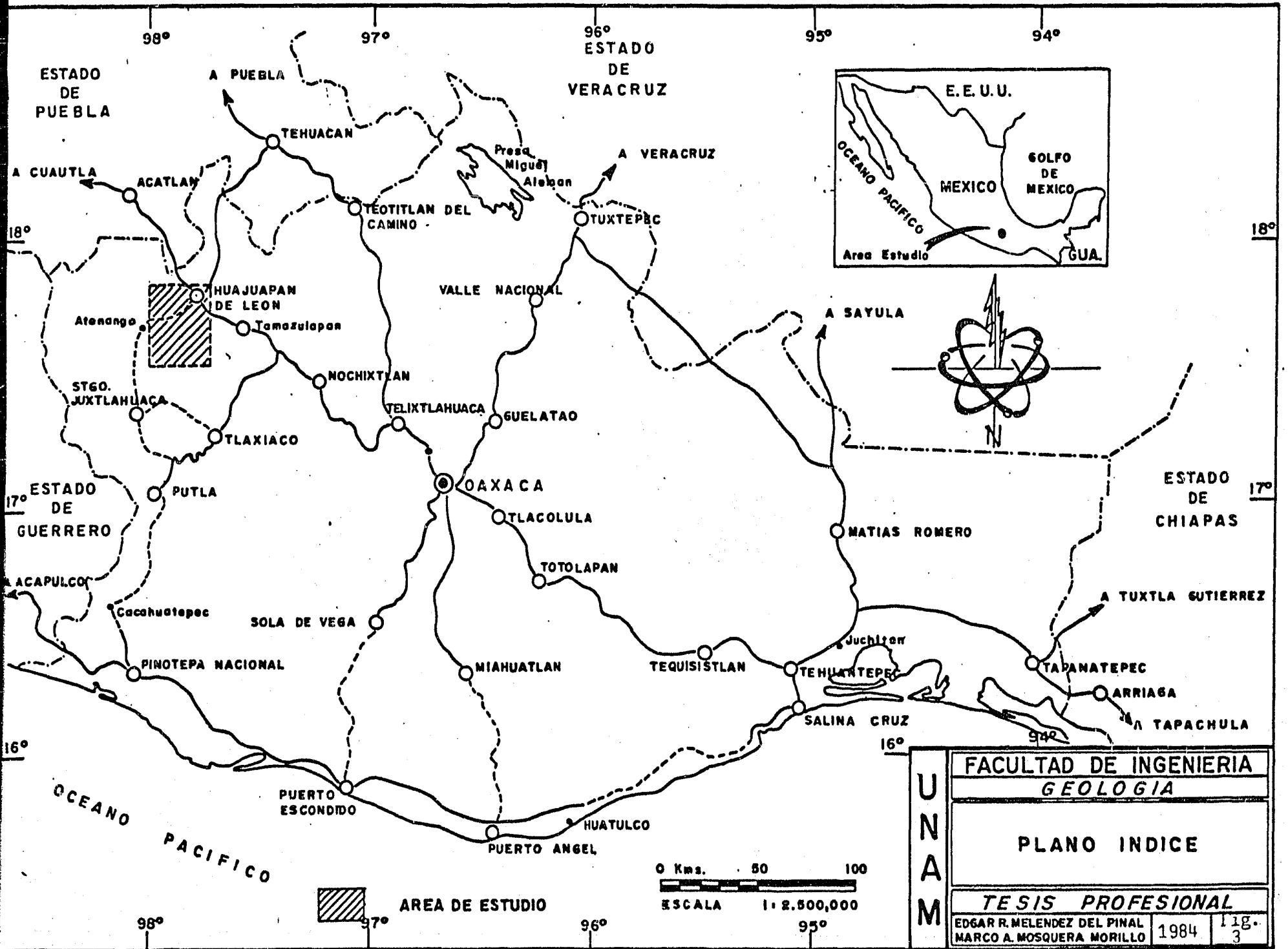
Esta superficie se encuentra dentro de la provincia geológica denominada Cuenca de Tlaxiaco, según la clasificación de López Ramos (1983, Tomo II, pg. Vii) (Fig. 5).

### II.2. Vías de comunicación

La región está comunicada por las carreteras federales 190 y 125, que van de México a Oaxaca y de Tehuacán, Pue., a Pinotepa Nacional, Oax., respectivamente. En lo que se refiere a las vías de comunicación secundarias (terracería, brechas y veredas) la zona se encuentra pobremente comunicada, destacándose el camino que va de la Ciudad de Huajuapán de León a San Marcos Arteaga y Tonalá, actualmente en pavimentación, así como el camino de terracería que entronca con la carretera federal 190 en el kilómetro 8 de la carretera de Huajuapán de León a Tamazulapán y que comunica al poblado de Tezoatlán de Segura y Luna, punto central -- del área de trabajo donde se estableció el campamento; a partir del -- cual se inician caminos transitables, en tiempo de secas, que van a -- los distintos pueblos de la región.

### II.3. Clima y Vegetación

El área, de acuerdo con la clasificación de Köppen, posee un clima --



ESTADO DE PUEBLA

98°00'

97°30'

A TEHUACAN

Límite de Estado

Carretera Principal

Camino de Terracería

Población



A ACATLAN

18°00'

18°00'

Mariscala

Silacayoapilla

Stgo. Huajolotlitan

HUACUAPAN DE LEÓN

Tonala

S. Cacaloxtepec

Teotongo

COIXTLAHUACA

Tezoatlán Dinicuitl

Yodohino

Tamazulapan

Tejupan

Yucunuti

Nicanandúta

TEPOSOLULA

SILACAYOAPAN

Monteverde

Chilapa de Díaz

Yanhuitlan

Tindú

Tepejillo

Yolamecatl

Sinaxtla

A OAXACA, ASUNCIÓN NOCHISTLAN

17°30'

17°30'

STGO. JUXTLAHUACA

Mixtepec

Tayata

ESTADO DE OAXACA

TLAXIACO

Mateo Peñasco

Telto

ESTADO DE GUERRERO

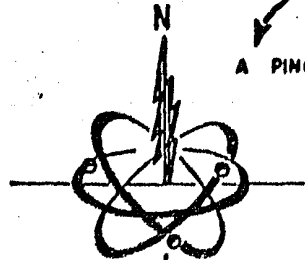
17°00'

17°00'

PUTLA DE GUERRERO

A PINOTEPA NACIONAL

Stgo. Yosandúa



0 10 20 30 40 Kms. ESCALA 1:600,000



AREA DE ESTUDIO 98°00'

97°30'

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	GEOLOGIA	
	PLANO DE LOCALIZACION	
	TESIS PROFESIONAL	
	EDGAR R. MELENDEZ DEL PINAL	1984
MARCO A. MOSQUERA MONILLO		

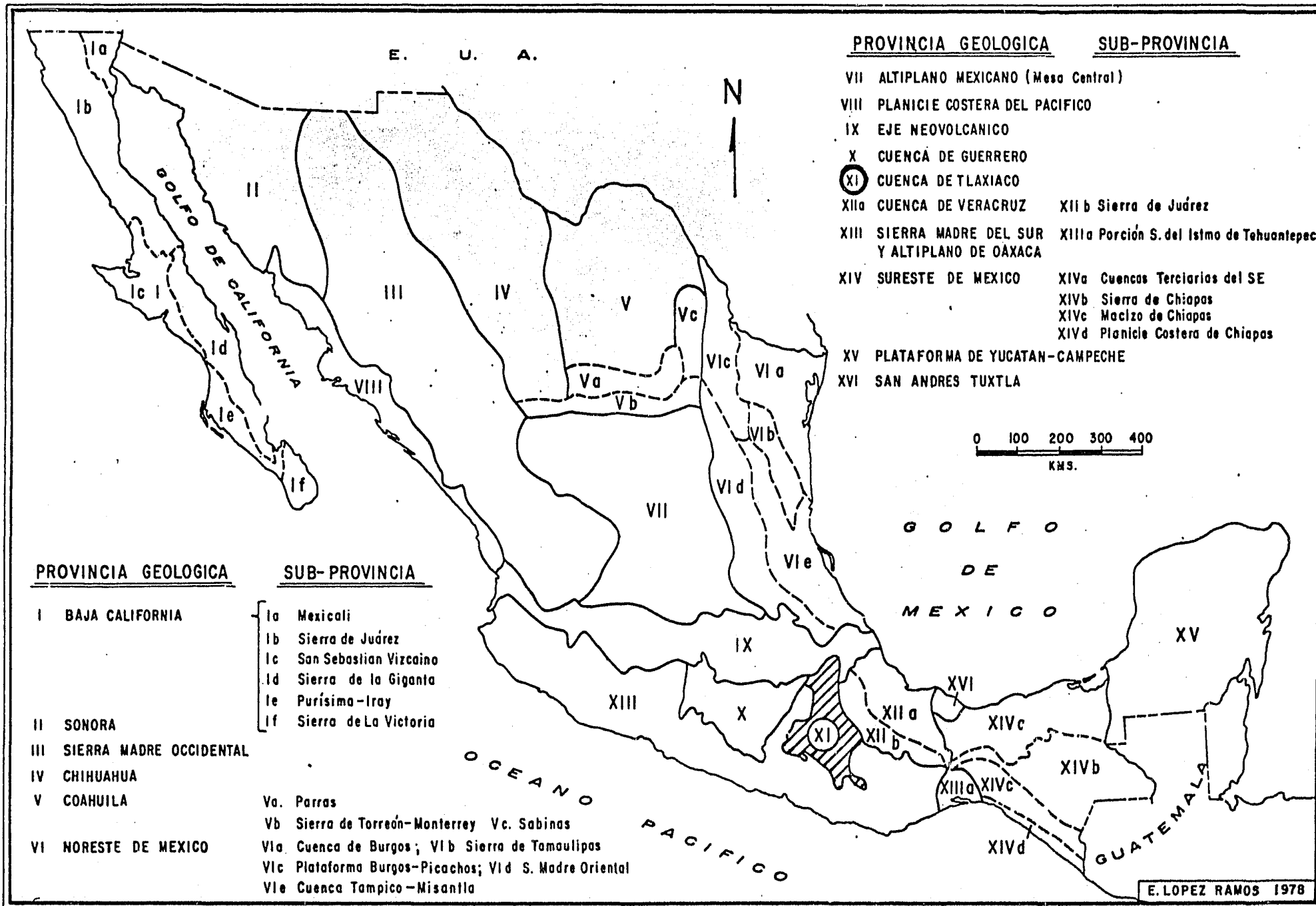


Fig. No. 5.-PROVINCIAS GEOLOGICAS DE MEXICO

templado moderado lluvioso (CW), que se caracteriza por una temperatura media anual de 18°C a 20°C; temperatura extrema promedio máxima de 28.6°C. y mínima de 11.1°C. con 17.5°C., de oscilación, según reportes de la estación climatológica de Huajuapán de León, Oax., durante el período 1941-1970. Los meses más cálidos corresponden al período Abril-Agosto y los más fríos de Diciembre-Enero.

La precipitación media anual es de 773.1 mm., considerando los meses de junio a septiembre como los de mayor precipitación, mientras que los de menor precipitación son de diciembre a marzo. La presión atmosférica media anual es de 760 mm o 1014 mb.

En las partes altas, arriba de los 2,000 m., el clima varía entre 15° y 18°C., de temperatura media anual, con mínimas extremas hasta de 0°C., y la precipitación media anual aumenta arriba de los 700 mm.

La vegetación está constituida principalmente de bosques de coníferas en las partes altas, alrededor de los 2,000 m.s.n.m., y de variedades de xerofitas en las partes más bajas, especialmente en los valles interiores; en menor proporción existen árboles y matorrales de espinos, mezquites y algunas especies de acacias. Las especies más representativas son:

<u>Nombre científico</u>	<u>Nombre común</u>
<u>Pinus radiis</u>	pino
<u>Pinus teocote</u>	pino
<u>Fouquieria splendens</u>	ocotillo
<u>Yucca carnerosana</u>	palma de ixtle
<u>Brahea dulcis</u>	zoyate
<u>Opuntia streptacantha</u>	nopal cardón



<u>Opuntia microdrasys</u>	nopal cegador
<u>Opuntia atropes</u>	nopal
<u>Cephalocereus selenis</u>	viejito
<u>Neobuxbaumia mezcalensis</u>	gigante
<u>Carnegia gigantea</u>	pitahaya
<u>Agave lechuguilla</u>	lechuguilla
<u>Escontria chiotilla</u>	chiotilla
<u>Myrtillocactus geometrizans</u>	garambullo
<u>Auphorbia antisiphylitica</u>	candelilla
<u>Agave striata</u>	espadin
<u>Cephalocereus hoppenstedtii</u>	órgano
<u>Larrea tridentata</u>	gobernadora
<u>Acacia paniculata</u>	espino, cola de lagarto

La fauna es propia de la región agreste, entre las cuales se tienen las especies:

<u>Nombre científico</u>	<u>Nombre común</u>
<u>Lupus californicus</u>	liebre
<u>Sylvilagus floridanus</u>	conejo
<u>Neotoma mexicana</u>	rata conejo
<u>Linx tufus</u>	gato montés
<u>Mephitis macroura</u>	zorrillo
<u>Odocoileus virginianus</u>	venado
<u>Selupones microlepidopus</u>	lagartija
<u>Circus exaneus hudsonjus</u>	gavilán
<u>Geococcyx mexicanus</u>	correcaminos
<u>Crotalus vidis</u>	víbora cascabel
<u>Androctonus occitanus</u>	alacrán

#### II.4. Población y características económicas

Los poblados más importantes de la zona en estudio son:

Huajuapán de León . . . . .	60,000 hab.
Santiago Huajolotitlán . . . . .	8,000 hab.
Tezoatlán de Segura y Luna . . . . .	5,000 hab.
Sto. Domingo Tonalá . . . . .	4,000 hab.

San Marcos Arteaga, San Jerónimo Silacayoapilla, Santiago Caloxtepec, San Fco. Yosocuta, Sta. María Yucuñuti de Juárez, San Andrés Yutatiu, Yucuquimi de Ocampo, Sta. María Xochistlapilco, entre otros.

Las principales actividades económicas que se realizan en el área son:

- a) Agricultura de temporal: se cultiva el maíz, frijol, jitomate, aguacate, chile. La labor se realiza con yunta y en ocasiones se utiliza tractor.
- b) Pastoreo de ganado cabrío y vacuno.
- c) Comercio en pequeña y mediana escala, restringido a los principales centros de población.
- d) Artesanías y oficios: en esta región se trabaja el tejido de la palma de ixtle, en la elaboración de sombreros, tanates, petates, etc., los cuales constituyen un producto de exportación más que de mercado interno.

También se desarrolla el tejido de la lana (cobijas, tapetes, ponchos, etc.). La industria textil en la región está controlada por los programas gubernamentales FIDEPAL E IMSS-COPLAMAR y por particulares que pagan a precios muy bajos el producto artesanal.

e) Turismo: Se desarrolla en pequeña escala u restringido a visitar la Presa de Yosocuta para la pesca de la carpa y la lobina negra; el Cañón de Tonalá, las ruinas arqueológicas en el Cerro de San Juan Viejo y las ferias anuales de los diferentes poblados.

El grupo étnico predominante es el de los mixtecos, cuya cultura alcanzó gran esplendor en la época prehispánica y es considerada entre las más importantes de América.

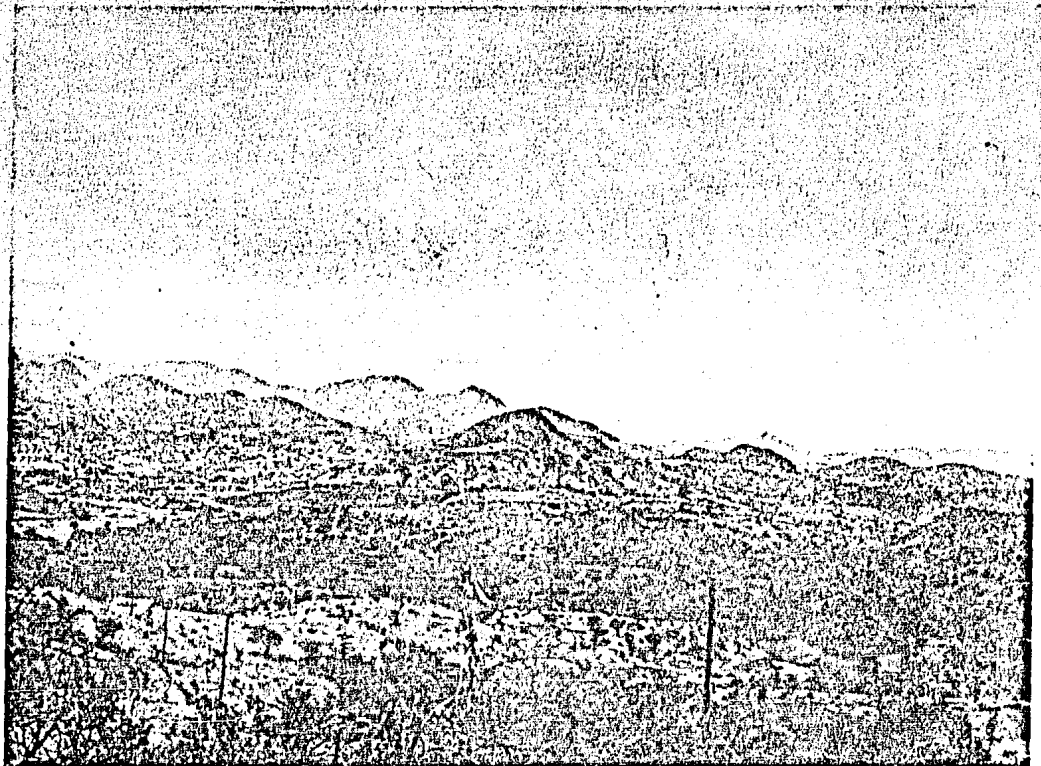
Actualmente la Mixteca Alta es una de las regiones más pobres de la República Mexicana, donde las lluvias son escasas, las tierras son poco cultivables y la alimentación es de lo más exigua: chile, tortillas y frijoles constituyen la base, en ocasiones se complementa de productos vegetales como chayotes, chilacayotes y calabazas. En la mayor parte de la región la carne está restringida a los días de fiesta. En lo que a vivienda se refiere ésta es paupérrima, las chozas están hechas de carrizo, bajareque, madera, etc., con sus techos de palma. En los poblados cercanos a la civilización, se encuentran viviendas hechas de adobe y tabicón, con sus techos de lámina, teja y loza. El agua es escasa en toda la región y no es potable, salvo en algunos casos donde personas particulares han instalado un sistema de agua potable, mientras que el 40% de los poblados carecen de energía eléctrica y los medios de comunicación son deficientes, cada municipio tiene una oficina de correos, telégrafos y teléfonos.

Existen escuelas primarias, una en cada población, excepto la ciudad de Huajuapán de León que tiene 7 y 3 de enseñanza media.

En el poblado de Tezoatlán existe una escuela técnica agropecuaria (ETA).

En cuanto al sector salud, hay únicamente un centro del IMSS en la ciudad de Huajuapán de León, mientras que en el resto de poblaciones, y sólo en aquellas que son importantes, existe un centro de la Secretaría de Salubridad y Asistencia Social (SSA), que asiste a las poblaciones vecinas, donde se improvisan las condiciones de asistencia médica; muy esporádicamente se logran ver centros de consulta médica -- que fueron recién implementados por el programa IMSS-COPLAMAR.

### III.- F I S I O G R A F I A



### III. FISIOGRAFIA

#### III. 1. Provincias Fisiográficas.

Según Raiz (1964), la provincia fisiográfica en la que se encuentra el área de estudio es la provincia de la Sierra Madre del Sur, que se extiende a lo largo de la costa del Pacífico, desde la cordillera neovolcánica de Cabo Corrientes, hasta el istmo de Tehuantepec; posee una longitud de 1,200 Km., y una anchura media de 100 Km., que en el Estado de Oaxaca se amplía a 200 Km. La Sierra Madre del Sur está limitada al norte por el Eje Neovolcánico, al este por la Meseta de Oaxaca y al sur por el litoral Pacífico (Trinchera de Acapulco), conservando una dirección general WNW-ESE.

La altitud media es de 2,000 m, exceptuando algunas cimas elevadas que no exceden los 3,500 m.

En toda su extensión tiene una vertiente suroccidental directa al Océano Pacífico y gran parte de su vertiente interior se encuentra localizada en las cuencas de los Ríos Balsas, Verde y Tehuantepec.

La provincia está dividida en 4 subprovincias a saber:

- a) Meseta del Norte
- b) Cuenca del Balsas
- c) Vertiente del Sur
- d) Planicie costera

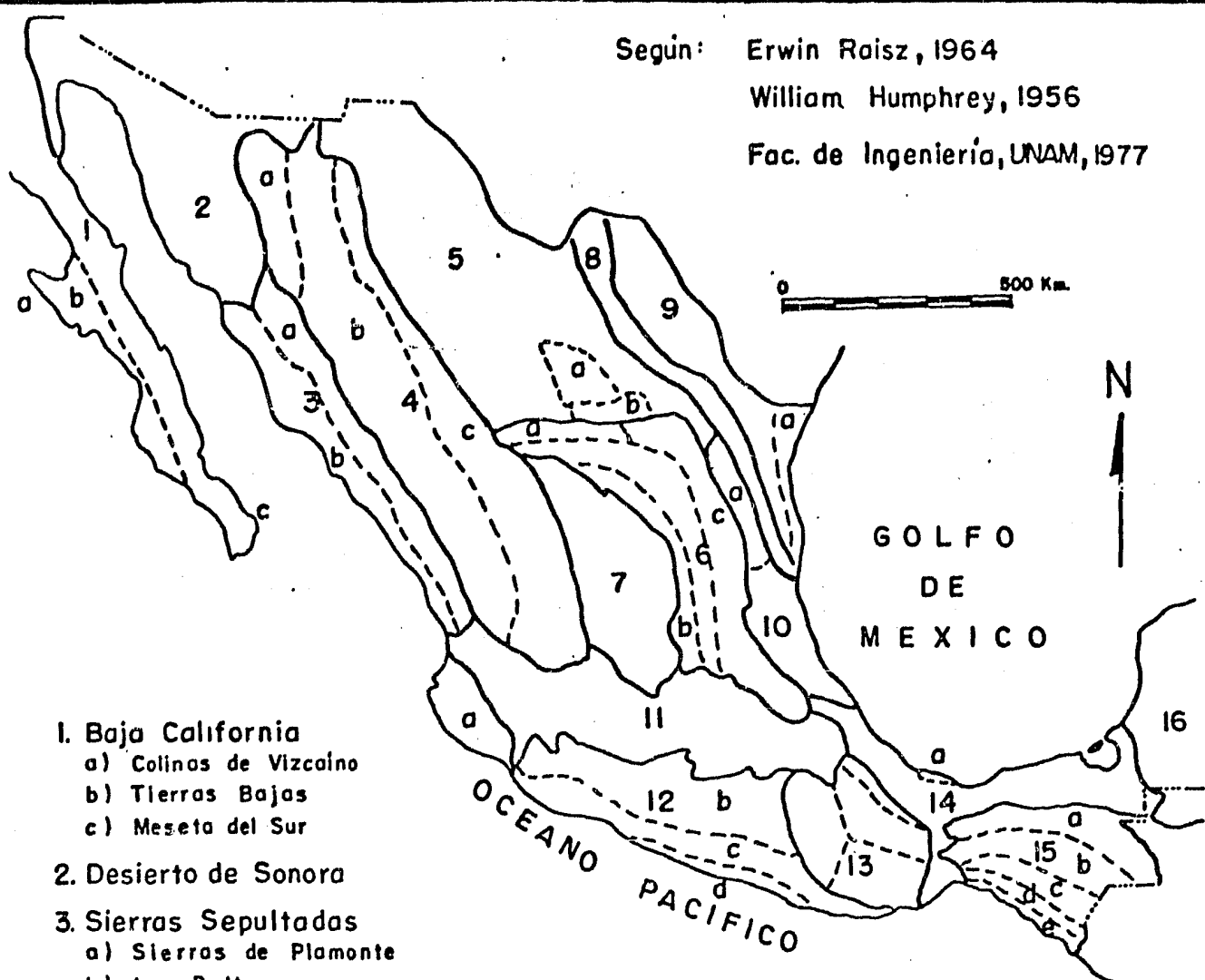
El área en estudio se encuentra ubicada en la porción sur oriental de la subprovincia Cuenca del Balsas que colinda al norte con la provincia del Eje Neovolcánico, al sur por la subprovincia Vertiente del Sur, al este por la Meseta de Oaxaca y al oeste por el Océano Pacífico (Fig. No. 6).

Posee una longitud aproximada de 600 km., y de 100 km., de ancho, con

Según: Erwin Raisz, 1964

William Humphrey, 1956

Fac. de Ingeniería, UNAM, 1977



1. Baja California  
 a) Colinas de Vizcaino  
 b) Tierras Bajas  
 c) Meseta del Sur

2. Desierto de Sonora

3. Sierras Sepultadas  
 a) Sierras de Plamonte  
 b) Los Deltas

4. Sierra Madre Occidental  
 a) Sierras Alargadas  
 b) Meseta de Lava (riolitas)  
 c) Mesetas y Cuencas

5. Sierras Y Cuencas  
 a) Meseta de Coahuila  
 b) Cuenca de Parras

6. Sierra Madre Oriental  
 a) Sierras Transversas  
 b) Sierras Bajas  
 c) Sierra Alta

7. Meseta Central

8. Sierras Tamaulipecas

9. Planicie Costera  
 a) Costa Baja

10. Cuenca Panuco-Tuxpan  
 a) Cuenca de Magltzcatzin

11. Meseta Neovolcánica

12. Sierra Madre del Sur

- a) Meseta del Norte  
 b) Cuenca del Balsas  
 c) Vertiente del Sur  
 d) Planicie Costera

13. Meseta de Oaxaca

14. Vertiente del Golfo  
 a) Tuxtias

15. Meseta de Chiapas

- a) Sierras Piegadas  
 b) Los Altos  
 c) Cuenca Central  
 d) Sierra de Chiapas  
 e) Planicie Costera

16. Plataforma de Yucatan

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	<b>GEOLOGIA</b>	
	<b>PROVINCIAS. FISIOGRAFICAS</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
EDGAR R. MELENDEZ DEL PINAL		1984, Fig. 6
MARCO A. MOSQUERA MORILLO		



una altitud media de 1,000 m, que en su parte central, donde corre el Río Balsas-Mexcala, baja a altitudes medias de 500 m, que se reducen a menos de 200 en la parte occidental.

La vertiente sur de la cuenca es más angosta que la correspondiente a la vertiente de la cordillera Neovolcánica.

Como característica local se puede mencionar que esta área se encuentra en el borde suroriental de la cuenca donde nacen los afluentes del Río Mixteco que posteriormente toma los nombres de Atoyac, Mexcala y finalmente Balsas.

### III.2. Hidrografía

La zona de trabajo se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Río Balsas, que pertenece a la vertiente del Océano Pacífico y está limitada por el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur. Esta cuenca comprende los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, México, Morelos, Michoacán y Guerrero, cubre un área de 112,320 Km<sup>2</sup>, con un escurrimiento anual de 13,863 millones de m<sup>3</sup> lo cual hace a la corriente principal de las más importantes del país.

La Cuenca del Río Balsas se origina al NW del Estado de Oaxaca y al SW del Estado de Puebla en el llamado Alto Balsas, que a medida que la corriente principal pasa por el Medio y Bajo Balsas adquiere una orientación preferencial E-W, paralela a la Sierra Madre del Sur que impide una salida más corta al Océano Pacífico, hasta encontrar una zona de debilidad que le permite desembocar en él, cambiando así su dirección a N-S.

Al oriente del área de trabajo convergen las cuencas hidrográficas de los Ríos Papaloapan, Verde y Balsas; la primera drena al Golfo de



México y las otras dos al Océano Pacífico. El parteaguas que separa a las vertientes del Golfo y del Pacífico, tiene una orientación NW-SE, mientras que el parteaguas que separa a las cuencas del Río Balsas y Río Verde, tiene una orientación preferencial N-S.

En la zona de estudio existen dos ríos principales: el Río Mixteco y el Río Salado; ambos de corriente permanente.

El Río Mixteco atraviesa la región con una dirección NE-SE, drenando el sector norte y nororiental del área; entre sus afluentes principales destaca el Río Xatán que se une al Mixteco en la cercanía del pueblo de Santiago Huajolotitlán. En este río cerca de la ciudad de Huajuapán de León, se construyó en 1970 la presa de riego denominada Yosocuta. El Río Mixteco, en su curso hacia el oeste, adquiere los nombres de Atoyac, Mexcala y finalmente Balsas.

El Río Salado atraviesa la región central del área, con una dirección SE-WNW, que junto con el Río Nopales y el Río del Oro como afluentes principales, drenan la porción centro y suroriental del área. Cerca del poblado de Tezoatlán, el valle fluvial del río se amplía hasta los 200 y 500 m, debido a las características topográficas y litológicas del sector. El Río Salado es afluente del Río Mixteco y se une a éste al sur de San Marcos Arteaga.

Los sectores noroccidental y suroccidental poseen menor densidad de drenaje que el resto del área y en su mayoría son de flujo intermitente.

La red hidrográfica en la región posee modelos de drenaje predominantes; dentrítico, rectangular y subparalelo, regido por el patrón estructural existente en la zona.

### III.- 3.- Orografía

La vertiente sur de la Cuenca del Balsas es más abrupta y angosta que la vertiente norte, debido a que la primera se desarrolla sobre la -- Sierra Madre del Sur y la segunda sobre el Eje Neovolcánico; es decir que la cuenca se desarrolla sobre dos estructuras geológicas distintas y cuyo cauce principal se manifiesta a través del contacto tectónico -- entre éstos.

Los rasgos orográficos predominantes son sierras alargadas con dirección norte-sur, normadas por estructuras anticlinales y sinclinales -- para el caso de rocas sedimentarias; mientras que para las rocas ígneas los rasgos son de: sierras, mesas y bloques horizontales masivos, bajo un control regional de fallas N-S. Estas sierras se manifiestan en la porción sur del área de estudio y alcanzan elevaciones entre los 2,500 y los 3,500 m.s.n.m., y entre los 1,000 y los 2,000 metros sobre el nivel medio del valle, mientras que en la porción central destaca -- la subcuenca de Tezoatlán labrada por el Río Mixteco y sus afluentes, extendiéndose desde Huajuapán de León, Santiago Cacaloxtotec y Santo -- Domingo Yodohino hacia el occidente, hasta el Cañón de Tonalá, en el -- que encuentra su salida y a partir del cual se inicia otra subcuenca -- rumbo al occidente, donde se manifiestan las costas más bajas del área entre los 1,200 y 1,250 m.s.n.m., estas subcuencas son debidas al fallamiento regional y escalonado de dirección NW-SE y a los procesos -- exógenos modificadores del relieve que actuaron simultáneamente y posteriormente a los endógenos.

IV.- G E O L O G I A



#### IV.1. Generalidades

En el área estudiada afloran diversas clases de rocas: ígneas intrusivas, hipabisales y extrusivas; sedimentarias marinas, sedimentarias continentales; y rocas metamórficas.

Las rocas volcánicas terciarias son las que alcanzan una mayor distribución superficial, seguidas, en función de la superficie que cubren, por rocas sedimentarias marinas, rocas metamórficas, sedimentarias continentales y en último lugar por las rocas ígneas intrusivas e hipabisales. La proporción relativa de cada uno de los tipos de roca mencionados, es como sigue:

volcánicas terciarias . . . . .	48%
sedimentarias marinas . . . . .	35%
metamórficas . . . . .	10%
sedimentarias continentales . . . . .	6%
ígneas intrusivas e hipabisales . . . . .	1%

La edad de las rocas estudiadas, abarca un rango bastante amplio, que va del Paleozoico al Cuaternario. El Basamento Cristalino no aflora en el área de estudio, sin embargo, fue observado en el trayecto de Nochixtlán-Oaxaca, Tlaxiaco-Putla-Pinotepa Nacional y Oaxaca-Puerto Escondido. Son las rocas más antiguas del Estado de Oaxaca (920 ± 30 m.a., Precámbrico), las cuales forman una faja positiva, morfológicamente, a lo largo de la costa del Pacífico, que ha influido directamente sobre la tectónica de rocas más jóvenes.

El Paleozoico está representado por el Complejo Acatlán y litológicamente está constituido por diferentes variedades de rocas metamórficas desde filitas, esquistos, mica-esquistos, augen-esquistos, gneises cuarzo-feldespáticas y augen-gneises. En general el complejo metamórfico está

constituido por 4 unidades metasedimentarias; una unidad metaígneas y 3 unidades graníticas, que intrusionan a las anteriores. Este complejo litológico posee una expresión fisiográfica definida, fácilmente identificada en imagen satélite y fotografías aéreas; lo que permitió delimitarlas a escala regional. Geomorfológicamente forman una serie de elevaciones amplias, prominentes e irregulares, algunas limitadas por fallas normales semejanado pilares, bordeados por rocas mesozoicas y terciarias, y con una orientación al NNW-SSE (ver Plano No. 2).

El Paleozoico superior, representado por una secuencia clástica marina y continental, se encuentra aflorando en pequeñas proporciones al nor-oriente de Nochixtlán (Jerjes Pantoja-Alor, 1965), en el Cerro Titania al sur de Tlaxiaco (Bustamante, 1909) y en la región de Tehuacán, en los alrededores de San Luis Atolotitlán (de Cserna, 1970). También en Olinalá-Tecocoyunca, Estado de Guerrero, se reportan rocas sedimentarias marinas asignadas al Pérmico superior y que corresponde a la Formación Los Arcos propuesta por Corona-Esquivel (1981-83, pág. 17) o a la Formación Olinalá propuesta por De Dios González y Buitrón (1982, pág. 10). En el área estudiada, no afloran rocas sedimentarias, ya que la región de Tezoatlán, probablemente permaneció expuesta a los procesos de dinámica externa durante el Paleozoico tardío y posiblemente continuó expuesta en el Triásico y parte del Jurásico inferior.

En efecto, una actividad orogénica desarrollada durante el período Permo-Triásico, originó una emersión parcial del continente en forma de isla o península, en la que no existieron grandes depósitos continentales como en el N y NE de México. Sin embargo, la presencia de rocas volcánicas de composición basáltica-andesítica por debajo de la secuencia detrítica del Jurásico medio (Toarciano), cortadas por los pozos 8, 13

y 12, en el Anticlinorio Diquiyú (Cortés, Obregón, 1957) y el hecho de que la secuencia detrítica mencionada contiene fragmentos de rocas volcánicas de la misma composición, así como interestratificación de tobas con ligero metamorfismo; hacen suponer la existencia, al occidente, de una actividad volcánica (arco insular), como producto de la Orogenia -- Permo-Triásica. Al sur de la Cuenca de Morelos, en la región de Chilpancingo se han reportado depósitos de tobas con material detrítico (Formación Chapolapa), formados anteriormente a la sedimentación marina del Mesozoico; y se les da una edad tentativa entre el Triásico tardío y el Jurásico temprano (López-Ramos, 1983-III, pág. 46).

De ser así, dichos depósitos apoyan la existencia del arco de islas mencionado antes. Como también podrían apoyar lo anterior, las rocas volcánicas encontradas en Olinalá-Tecocoyunca, a las que Corona-Equivel -- (1981-83, pág. 20) denominó Ignimbrita Las lluvias. No obstante, es necesario que se realicen estudios más profundos y detallados que nieguen o confirmen esta teoría.

El Jurásico medio y superior está representado por sedimentos de origen continental y marino que incluso llegar a alternar uno con otro, lo cual indica un ambiente de depósito deltaico con la consecuente formación de áreas de inundación restringida donde se originaron depósitos de carbón (Grupo Consuelo y Grupo Tecocoyunca). Sin embargo, el Jurásico superior (Oxfordiano-Titoniano) lo representan rocas carbonatadas de cuencas someras (Caliza con Cidaris) y una secuencia variable de rocas tanto de cuenca como de borde de plataforma que contiene abundante fauna fósil y algunos miembros calcáreos generadores de hidrocarburos (Grupo Sabinal). La distribución de los sedimentos jurásicos es también variable ya que en unas áreas no se presentan y en otras poseen características

litológicas distintas, donde se les ha denominado según la localidad observada. Así pues no existe uniformidad en la distribución de las rocas que representan a cada uno de los pisos del Jurásico en el NE de Guerrero, Sur de Puebla y NW de Oaxaca.

Durante el Cretácico inferior los mares se retiraron permitiendo el depósito de una secuencia clástica (Formación San Isidro), que posee una distribución restringida e incluso se han localizado distintos afloramientos en áreas cercanas a la del presente trabajo, donde se reportan espesores variables. Dichos sedimentos se encuentran en todos los casos sobreyaciendo en forma discordante a sedimentos del Jurásico superior (Grupo Sabinal).

La formación de una amplia plataforma durante el Cretácico inferior y medio, permitió el depósito de evaporitas y carbonatos (Formación San Juan Teita y Formación Teposcolula, respectivamente). Estas últimas están ampliamente distribuidas y se identifican claramente en las imágenes satélite, sobre todo las de la Formación Teposcolula y sus correspondientes formaciones correlacionables.

El Cretácico superior no está representado por algún tipo de roca, al menos en la superficie estudiada, ya que en zonas cercanas se encontraron sedimentos arcillo-calcáreos correspondientes a las siguientes unidades: Margas Tilantongo, Margas Yucunama y Caliza Petlalcingo.

La Orogenia Laramide hizo emerger a gran parte del territorio Mixteco y/o al mismo tiempo a los fenómenos de dinámica externa que controlaron la sedimentación precedente originando grandes depósitos de sedimentos continentales (Eoceno-Oligoceno) representados por la Formación Huajuapán y sus correspondientes unidades correlacionables alrededor de esta área, las formaciones: Yanhuitlán, Conglomerado Tamazulapan, Tehuacán,

Conglomerado Rojo de Guanajuato; estos fenómenos implican una gran actividad erosiva, junto con un levantamiento rápido y el desarrollo al final, de cuencas lacustres donde se depositaron las primeras manifestaciones de vulcanismo.

Las rocas volcánicas presentan la mayor distribución en el área y corresponde a la intensa actividad volcánica desarrollada a fines del Oligoceno, principios del Mioceno y probablemente parte del Pleistoceno, acompañada inicialmente con la formación local de pequeñas cuencas lacustres donde se depositaron calizas pedernalosas (Formación Chilapa), para luego originar una actividad volcánica amplia con dos fases (bimodal), una explosiva de composición ácida e intermedia y otra de derrames de composición básica e intermedia, que probablemente corresponden a la interacción de la Placa Americana y la de Cocos, que aún es activa y que caracteriza a la zona como de alta sismicidad.

Esta actividad volcánica ha rejuvenecido fisiográficamente la región y ha quedado expuesta a una intensa acción erosiva durante el Cuaternario con los consecuentes depósitos que definen el relieve actual.





## IV.2. Estratigrafía

### PRECAMBRICO

#### Complejo Basal Precámbrico, "Complejo Oaxaqueño"

Definición: Las rocas del basamento cristalino de la región de Oaxaca fueron estudiadas desde 1896 por Buelna, Ordóñez y Aguilera, en 1899 por Felix y Lenk (in Fernando Ortega, 1975, pág. 30), en 1957 y 1960 Schmitter y en 1962 Fries (in Zoltan de Cserna, 1970, pág. 37), determinaron las primeras edades radiométricas, por medio del método Potasio-Argón, que dieron de  $920 \pm 30$  millones de años, lo cual indica una edad precámbrica. Estos mismos autores posteriormente obtuvieron un total de 13 fechas radiométricas cerca de la ciudad de Oaxaca; en 1967, Jerjes Pantoja-Alor y Robinson (in Jerjes Pantoja-Alor, 1970, pág. 67, 68) hicieron una clasificación basados en la superposición de rocas sedimentarias paleozoicas (cámbrico-ordovícicas), asignando a estas rocas una edad precámbrica. Finalmente, Ortega-Gutiérrez (1975, pág. 29-44) define rocas del basamento metamórfico del sur de México en base a rasgos cronológicos, litológicos-metamórficos y estructurales.

Litología y espesor: El Complejo Oaxaqueño consta de rocas metamórficas que fueron afectadas por distintos gradientes geotérmicos y por intrusiones graníticas.

Ortega (1975, op. cit.) indica que las rocas más antiguas del Estado de Oaxaca consisten de gneis bandeados en facies de granulita o transición granulita-anfibolita que incluyen charnockitas, anortositas y pegmatitas complejas con orientación general N-NW, así como de mármoles intrusivos. El espesor, según Fries (1962, in López-Ramos, 1983, pág. 311) es de más de 3,000 m.

Relaciones Estratigráficas: Sobre este complejo descansan en discordan-

cia angular, rocas sedimentarias paleozoicas, rocas mesozoicas (Jesús Pantoja-Alor, 1970 pág. 67-69).

Según Thompson y Miller en 1944, Gutiérrez-Gil en 1956, (in Zoltán de Cserna, 1970 - pág. 40), señalan que desde la región de Tehuacán a Chiapas, sedimentos del Paleozoico superior no sólo cubren al complejo, sino que están plegados contra él.

Edad: A este complejo basal se le ha dado una edad entre 670 y 1,110 millones de años, determinadas por los métodos K-Ar, Pb-Alfa y Rb-Sr, realizados por Fries (1962), Rincón O. (1974) y Damon (1975), (in López Ramos 1983, pág. 314). Por lo que se le asigna una edad Precámbrica, aunque se necesite de mayor estudio para obtener una edad absoluta definitiva.

Origen: Según Fries (1965; in López Ramos 1983, pág. 311, in Cárdenas 1966, pág. 24), el complejo metamórfico es el resultado de la deformación y metamorfismo de los depósitos de un Geosinclinal Oaxaqueño por efectos de la Orogenia Oaxaqueña que es equivalente a la Orogenia Greenvillana del Precámbrico tardío.

Ortega Gutiérrez (1975, pág. 29), concluye que el Complejo Oaxaqueño se derivó de una secuencia sedimentaria de arcillas, principalmente calcáreas y dolomíticas con algunos estratos de dolomía, localmente cloríticas. Estas rocas fueron metamorfoseadas bajo condiciones de alta presión y temperatura características de las facies de granulita; pero una disminución parcial en la presión lito-estática produjo rocas, de grado algo más bajo, con cordierita. Las rocas transicionales a las facies anfibolita de temperatura más baja se pudieron haber formado ya sea por polimetamorfismo o por gradientes locales de presión y temperatura durante un solo episodio metamórfico.

Cárdenas (1966, pag. 39), supone que gran parte de las rocas graníticas alojadas en el complejo basal de la costa del Pacífico son de origen anatexítico.

Ortega Gutiérrez (1977 pág. 28-31), concluye con relación a los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño, el origen anatexítico de éstos, a partir de calizas impuras durante la culminación del metamorfismo de la Orogenia Oaxaqueña.

Nota: En la zona de estudio, no aflora esta unidad y sólo mencionamos los caracteres generales de lo que probablemente es el Complejo Basal en la región.

## PALEOZOICO

### Complejo Acatlán

Definición: Las rocas metamórficas que afloran en la parte meridional del Edo. de Puebla, NW del Estado de Oaxaca y NE del Estado de Guerrero fueron descritas por vez primera en la región de Acatlán, Puebla, - por Aguilera (1896) y Ordóñez (1906), in ortega 1978. pág. 113), este último las denominó "Formación Acatlán" refiriéndose a un augengneis como su base, subyaciendo a una secuencia de pizarras verdes ... sumamente plegadas y dislocadas. Posteriormente Salas, en 1949, les denomina "Esquistos Acatlán" y en 1965, Fries y Rincón Orta (in Ortega 1978 pag. 113), proponen formalmente el nombre de Formación Acatlán. La Formación Acatlán ha sido motivo de investigación por especialistas en la materia, lo que ha llevado a subdividirla en varias unidades litoestratigráficas, entre ellos Rodríguez-Torres (1970 pág. 52) y Ortega-Gutiérrez (1978 pág. 113), este último propuso cambiar el rango de la Formación Acatlán por el de "Complejo Acatlán", determinando como área tipo la región de Acatlán, Puebla y como sección tipo

a lo largo de la carretera federal 190 (México-Oaxaca), desde su entronque con el camino pavimentado a Tecomatlán, hasta los poblados de Petlalcingo y Chila de Flores. Dicho autor diferenció unidades metasedimentarias tales como pizarra, filita, esquistos, gneis y magmatita; unidades metaígneas como rocas verdes ofiolíticas, metagranitos y milonitas.

El grado de metamorfismo en términos generales es de bajo grado en la región al poniente de Acatlán, aumentando paulatinamente hacia el sureste hasta llegar a la parte alta de la facie de anfibolita y los niveles de migmatización anatexítica en los alrededores de Magdalena. Las características más distintivas del Complejo Acatlán son su intensa alteración metamórfica regional y su deformación extrema, manifestándose mediante una foliación en varias direcciones e inclinaciones, así como dos o más generaciones de plegamiento isoclinal o subisoclinal recostado y de plano axial vertical, que en conjunto indican acortamiento y transporte cortical de magnitud seguramente superior al 50%.

Litología: El Complejo Acatlán se subdivide en dos grupos, según Ortega-Gutiérrez en 1978 (op. cit.), los cuales se describen a continuación:

#### Subgrupo Petlalcingo.

=====

Este subgrupo comprende las formaciones: Migmatita Magdalena, Chazumba y Cosoltepec, las cuales en su totalidad son de origen sedimentario marino y se caracterizan por su composición silíceas y escasamente calcáreas; es decir, de ambiente esencialmente pelágico, formada por grauva, ca, lutita, pedernal y algunos carbonatos, cuyo depósito se vio acompañado a diferentes tiempos y niveles estratigráficos por vulcanismo e intrusiones básicas diferenciadas.

### Migmatita Magdalena

Localidad Tipo y Distribución: Esta formación se encuentra entre Ayú y Magdalena a lo largo de una faja de 10 km de longitud siguiendo el curso del Río Petlalcingo; está cubierta discordantemente por rocas vulcanoclásticas terciarias, excepto al norte, donde cambia transicionalmente a la Formación Chazumba.

Litología: Consiste de migmatitas de composición tonalítico-diorítico, con abundante movilización magnética del neosoma en forma de diques y cuerpos irregulares concordantes y discordantes de composición granítica y pegmatítica. Remanente de anfibolita, piroxenita, calsilicatita (roca metamórfica compuesta por silicatos de calcio) y de mármol y frecuentes intervalos de gneis granítico. El mineral pesado más abundante es la esfena y en menor cantidad se presenta circón, apatito, allanita, rutilo, turmalina y opacos; entre los de alteración retrógrada más comunes se tienen muscovita, clorita, epidota, calcita, saussurita y hematita.

### Formación Chazumba

Consiste principalmente de esquisto lit-par-lit en la parte basal, esquisto de biotita con intervalos de cuarcita, metagabro diferenciado y esquisto pelítico. El componente litológico más característico es el esquisto de biotita. Los minerales primarios son el cuarzo (40%) plagioclasas (0-20%) y biotita (10-20%); los accesorios más comunes son muscovita y granate; en ocasiones se encuentra granate, estaurolita y sillimanita.

Esta formación se extiende desde las cercanías de Magdalena hasta Chazumba, su contacto inferior es gradual con la Migmatita Magdalena, en tanto que el superior es brusco y paralelo.

### Formación Cosoltepec

Las rocas que integran esta formación son en su parte basal rocas verdes y cuarcitas con intervalos pelíticos; en su parte media predominan esquistos psamíticos y pelíticos que incluyen algunas capas de esquistos calcáreos, esquistos de talco, roca verde, metapedernal y rocas manganesíferas finamente laminadas. La parte superior consta solamente de filitas, filitas cuarzosas y cuarcitas, con intervalos de roca verde y delgadas capas calcáreas. La roca verde contiene plagioclasa, hornblenda y epidota y los accesorios calcita, muscovita y biotita; las cuarcitas contienen cuarzo, impurezas de muscovita, biotita y granate; los esquistos pelíticos son micáceos, granatíferos en menor proporción con estauroлита.

La sección-tipo se sitúa a lo largo del camino Cosoltepec-Xoluxtla-Chichihualtepec. Se encuentra también en las cercanías de los poblados Tlaxcoapan, Guadalupe, San Bernardo, Xayacatlán, Fresnillo, Amatitlán, Yolotepec y Silacayoapilla.

El contacto inferior es estructuralmente concordante con la F. Chazumba, mientras que el contacto superior es brusco o gradual con el Subgrupo Acateco, pero siempre es estructuralmente paralelo.

### Subgrupo Acateco

El subgrupo consiste de dos formaciones que comprenden la parte estructuralmente superior del Complejo Acatlán y son la F. Xayacatlán y la F. Tecomate.

El origen de la Formación Xayacatlán es de carácter magmático debido a que las rocas básicas y ultrabásicas poseen estructuras primarias reliquias (vesículas, bandeamiento ígneo, cumulitas), como sus texturas (dolerítica, gabroide) y minerales reliquios (hornblenda basáltica, il-

menita esquelética); por lo que Ortega, 1978 (op. cit.) infiere que esta unidad consistió de un complejo ofiolítico originalmente formado por peridotita, gabro, dolerita, basalto y sedimentos pelágicos asociados. El origen de la F. Tecomate es sumamente heterogéneo para conformarse a un solo origen o ambiente de depósito, sin embargo su origen marino es obvio debido a la presencia de intervalos calcáreos con fósiles marinos; la presencia de conglomerados, arcosas, intervalos calcáreos con fósiles marinos y su aparente transición a la formación sobreyacente que contiene Fe sedimentario (magnetita-hematita), indican un ambiente marino de depósito somero para esta formación, cuya fuente de los sedimentos es probablemente un complejo metamórfico de alto grado así como de rocas volcánicas ácidas y granitos de edad precámbrica o paleozoica temprana. El carácter aparentemente tobáceo de muchas rocas de la Formación Tecomate sugiere un vulcanismo explosivo cercano al lugar de su depósito. Las dos formaciones que constituyen este subgrupo se describen a continuación:

#### Formación Xayacatlán

Esta formación consiste de esquisto verde, metagabros bandeados de hornblenda y augita milonitizados, serpentinita, anfíbolita, eclogitas y metasedimentos cuarcíticos y pelíticos, con afinidad ofiolítica.

Los minerales originales (magnéticos) están parcial o totalmente destruidos, pero consistieron de hornblenda titanífera, plagioclasa cálcica, clinopiroxena y óxidos ferrotitaníferos, los cuales están actualmente reemplazados por tremolita, epidota, clorita, calcita y esfena en las facies de esquisto verde y por onfacita, granate, anfíbola fengita y rutilo, en las fases de eclogita. Es en esta formación donde por primera vez se reconocieron rocas eclogitas en México (Ortega-Gutiérrez,



1974). En las anfibolitas predominan los minerales de granate; en las serpentinas predominan la clorita, cromita, fuchsita, kammerinita y epidota cromífera, pero no se han identificado los cristales originales de la roca serpentinizada (peridotita); en los esquistos pelíticos predominan los de granate-fengita, granate-cloritoide, granate-mica blanca. Asociado a los esquistos pelíticos existen cuarcitas y diversas variedades de gneises cuarzo-feldespáticos milonitizados, ricos en granate y minerales accesorios como rutilo y zoisita.

La sección tipo de esta formación se encuentra en las inmediaciones de la población de Xayacatlán; también se le localiza al poniente de Acatlán y en los alrededores de los poblados de Zacatepec, Yolotepec, Ayquila y Yosocuta.

El contacto inferior es abrupto pero paralelo y el superior es paralelo con la formación suprayacente.

#### Formación Tecomate

Las rocas de esta formación son principalmente metacalizas y metaconglomerado compuesto por cantos deformados, principalmente graníticos y volcánicos, asociado a arenisca conglomeráticas cuarzo-feldespáticas; mientras que la metacaliza es impura con fragmentos de invertebrados fósiles e interestratificada con pizarras y filitas algo carbonosas, presenta una intensa laminación producto de tectonismo, como lo demuestran las abundantes charnelas de pliegues sin sus flancos correspondientes. La mayor parte de la unidad la integran psamitas y semipelitas finamente bandeadas; las psamitas feldespáticas son probablemente meta-arcosas ricas en feldespato alcalino, plagioclasas y fragmentos de cuarcita y metagrauvas ricas en plagioclasa y cuarzo en una matriz recristalizada de clorita, mica blanca, epidota y albita; las semipeli-

tas bandeadas consisten de rocas finamente estratificadas alternando areniscas calcáreas y pizarras. Los componentes detríticos de estas rocas tienen una deformación cataclástica de tipo milonítico y aún filonítico.

Esta formación se encuentra entre Acatlán y Tecomate, donde se ha definido su área tipo y se le encuentra también al occidente de Mariscal, Fresnillo y al oriente de Tetla y Quicayan. La Formación Tecomate sobreyace paralelamente a la Formación Xayacatlán y subyace en aparente concordancia con una secuencia en posición normal, débilmente metamorfoseada en areniscas y pizarras interbandeadas, horizontes de conglomerado y caliza.

#### Granitoides Esperanza

Esta formación constituye una secuencia de rocas graníticas, aplíticas y pegmatitas cataclásticas, metamorfoseadas, con intercalaciones bandas metasedimentarias y de rocas verdes. A escala de afloramiento la formación se expresa como un complejo foliado y bandeado de augengneis, augenesquitsto, gneis micáceo, granito gneísico, roca verde y cuerpos estratiformes de rocas afaníticas. El conjunto forma un complejo cataclástico de protomilonita-milonita-ultramilonita recristalizado. Los minerales dominantes de los Granitoides Esperanza son: cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa; las facies asociadas incluyen mica blanca, epidota, granate, biotita y clorita. Los minerales accesorios son circon, turmalina, apatita, alanita, esfena, rutilo, hematita, opacos, calcita y en forma característica stilpnomelano.

El área-tipo se encuentra al occidente de Acatlán en los poblados de Tetla, Quicayan, Ilamancingo, Cieneguilla y Zoquiapan. Siempre está en contacto con rocas del Grupo Acateco y parte superior de la Formación

Cosoltepec.

Esta formación actúa como intrusivo tanto en la Formación Xayacatlán como en la Formación Tecomate, ya que el contacto entre éstas es tectónico y en algunos lugares los granitoides tienen xenolitos e inclusiones tabulares de caliza marmolizada que pudieran pertenecer al intervalo calcáreo de la Formación Tecomate, la que se encuentra intrusionada por un dique semiconcordante de granito pegmatítico deformado rico en muscovita y turmalina que pudiera pertenecer a los Granitoides Esperanza; esto se vislumbra en las cercanías de Acatlán. Lo anterior indica que los Granitoides Esperanza son más jóvenes que el Subgrupo Acateco. Por otro lado, se encontraron evidencias al oriente de Quicayan, donde aflora la Formación Tecomate, compuesta de metaconglomerados que poseen cantos graníticos de aspecto semejante al de las rocas de los Granitoides Esperanza, así como feldespatos detríticos de meta-arcosas que parecen también ser derivados de los granitoides; lo que indica que los granitoides son más antiguos que el Subgrupo Acateco. Sin embargo, Ortega-Gutiérrez (1978), prefiere otorgar el carácter de intrusivo a la Formación Granitoides Esperanza y por lo tanto considerarla más joven que el Subgrupo Acateco.

El origen de esta formación es magnético, donde las facies pegmatíticas conservan todas las evidencias de su origen plutónico y composición granítica. Otra evidencia de su origen plutónico es la abundancia de Turmalina y feldespatos peritéticos.

#### Tronco de Totoltepec

Este cuerpo fue descrito y nombrado por Fries y colaboradores en 1970, quienes lo definieron como una leuco-granodiorita compuesta de oligoclasa, ortoclasa, albita y cuarzo como minerales primarios y como se-

cundarios cuarzo, augita, antigorita, calcita, epidota y pirita.

El cuerpo se localiza al oriente de Acatlán, en los poblados de Totoltepec y Tonahuixtla, extendiéndose con una dirección E-W a lo largo de 8 km y 5 km de ancho, lo que hace un área de 40 km<sup>2</sup> que dentro de las estructuras ígneas se define como tronco.

Según Ortega-Gutiérrez (1978), se trata de una roca Trondhjemítica (diorita de oligoclasa-biotita y cuarzo), débilmente deformada y metamorfoseada. Su textura es compuesta, en la que se combinan elementos de su origen ígneo, recristalización metamórfica y deformación cataclástica, sus minerales esenciales son cuarzo, plagioclasa sódica y biotita como único mineral máfico del intrusivo, pero reemplazada por clorita, entre los minerales secundarios está la epidota que es abundante y se encuentra asociada con muscovita, calcita, esfena y rutilo, entre los accesorios pesados están el circón y apatita. Su parte meridional se encuentra bordeada por orto-gneises máficos bandeados y migmatíticos de aspecto cataclástico, el intrusivo tiene una ligera foliación de dirección general E-W, modificada por plegamiento aparente de carácter cataclástico.

El origen de este cuerpo es intrusivo, su composición Trondhjemítica y su aureola de orto-gneis máfico sugieren que este tronco pudo haber resultado de la diferenciación de un gabro toleítico.

En cuanto a su relación con las rocas encajonantes es probable que al norte se encuentra en contacto tectónico contra una secuencia de lechos rojos de edad jurásica, cuyas capas basales tienen abundantes detritos derivados del plutón, en otros sitios se encuentra rodeado por rocas de las formaciones Tecomate y Xayacatlán, en aparente relación intrusiva, complicada al oriente por fallamiento intenso de sus márgenes (Orte-

ga-Gutiérrez, 1978).

### Diques San Miguel

Estas rocas son descritas por Ortega-Gutiérrez (1978) y se refieren a un conjunto de intrusiones tabulares que incluyen tonalita de hiperstena, granito de muscovita y granate, granito de biotita, pegmatita y aplita.

Su distribución es apreciable solamente al NW y SE del poblado de Tultitlán, al SE de Acatlán.

Consiste de una gran cantidad de diques que varían de espesor desde algunos centímetros hasta más de 100 m, con una orientación general NW, pero se les puede observar intrusionando en diferentes direcciones, en posición vertical, horizontal e inclinada, y de composición variable: granito de muscovita y granate, compuesto de cuarzo, plagioclasa sódica, feldespatos potásico y muscovita, como accesorios principales el granate y la mirmequita.

Tonalita de hiperstena, constituida por cuarzo, plagioclasa, hiperstena y biotita. Granito de biotita y pegmatitas, consistentes de microclina xenomórfica y algo pertítica, oligoclasa, andesina y cuarzo como minerales esenciales, acompañados de biotita y accesorios pesados como circon, apatita, esfena y turmalina. Aplitas, de aspecto afanítico y color blanco o crema, presentan bandeamiento difuso paralelo a sus paredes, sus componentes principales son cuarzo, feldespatos y muscovita.

El origen de los diques se cree que está relacionado a un sólo evento geológico post-orogénico. Esta inferencia se basa en la íntima asociación espacio-temporal de los diques y en sus condiciones físicas de emplazamiento similares. La región donde se generaron estos cuerpos supuestamente fue de una zona de la corteza por debajo del nivel de mig-

matización expuesto (Migmatita Magdalena).

Distribución: En el área estudiada el Complejo Acatlán aflora en la zona nor-occidental, entre los poblados de San Jerónimo Silacayoapilla, Saucitlán de Morelos, San Francisco Yosocuta, San Miguel Papalutla y Concepción de Porfirio Díaz, extendiéndose hacia los Estados de Puebla y Guerrero con una dirección NW y al sur del área, al oeste de San Juan Viejo, sobre el camino que va a Santa María Tindú.

En las zonas anteriormente citadas se distinguieron diferentes variedades de rocas metamórficas, desde filitas, esquistos, mica-esquistos de muscovita, augenesquisto, gneises cuarzo-feldespáticos y augengneises, correspondientes a las formaciones: Cosoltepec del miembro superior del subgrupo Petlalcingo, al subgrupo Acateco no diferenciado y los Granitoides Esperanza, las cuales se encuentran en contacto tectónico con rocas mesozoicas que están plegadas contra de éste y afectadas por un metamorfismo incipiente, también están en contacto con rocas terciarias continentales y volcánicas (Foto No. 3, Apéndice D).

La expresión fisiográfica, observada tanto en campo como en fotografía aérea de estas rocas, se caracteriza por lomeríos de pendiente suave, de forma cómica, con drenaje dendrítico que no sigue un patrón estructural definido, con un dominio estructural de pilares orientados NW-SE que alcanzan elevaciones desde los 1,600 m, hasta los 2,350 m.s.n.m. (Foto No. 4, Apéndice D).

Origen: Según Ortega-Gutiérrez (1978), el Complejo Acatlán representa una secuencia eugeosinclinal paleozoica de espesor considerable, deformada y metamorfoseada en tiempos premisisípicos e intrusionada por diversas rocas graníticas durante su evolución tectónica. En los subgrupos del complejo se distinguen 4 unidades metasedimentarias y una de origen

esencialmente magnético, el resto del complejo está constituido por 3 unidades graníticas que intrusionan a las anteriores.

Edad y Correlación: La edad del complejo Acatlán, según datos estratigráficos, geocronométricos y paleontológicos, es paleozoica pre-misisípico (Paleozoico inferior y medio). Es correlacionable con el Grupo Chaucúz de Guatemala, con las rocas metamórficas de la sierra de Omoa en Honduras y con el esquisto Granjeno del NE de México.

Relaciones con rocas suprayacentes: Al sur de Tehuacán el complejo parece estar cubierto por la Formación Matzitzzi de edad pensilvánica. En el oriente de esta misma región, el Complejo Acatlán está constituido por una amplia zona de falla, al oriente de la cual se encuentra yuxtapuesto el Complejo Oaxaqueño del Precámbrico (Ortega, 1978, pág. 114). En el área de tesis, las rocas suprayacentes al Complejo Acatlán son en su mayoría rocas jurásicas fuertemente dislocadas, plegadas y afectadas por un metamorfismo incipiente en las zonas de contacto. Esto se debe a la relación tectónica entre éstos, ya que el dominio tectónico del complejo Acatlán consiste de pilares, que a escala regional siguen una orientación NW-SE. También se encuentra en discordancia litológica y angular con rocas terciarias clásticas y volcánicas.

## MESOZOICO-JURASICO

### Grupo Consuelo

En 1956 Erben define al grupo Consuelo, agrupando las formaciones Rosario y Cualac, situando este grupo entre los pisos Toarciano y Bajociano inferior del Jurásico inferior y medio respectivamente. Aunque las rocas de este grupo han sido estudiadas con anterioridad por Birkinbine (1911), Wieland (1914), Burckardt (1927), Salas (1949) y Guzmán (1950), (in Erben, 1956-B, pág. 18-21) fue Erben quien las definió formalmen-

te (1956-b, pág. 18-25), como a continuación se describen:

#### Formación Rosario

=====

Definición: Consiste de arenisca gris, pardo rojiza y pardo amarillenta de grano fino a medio, de estratificación delgada a media, limolita del mismo color, de estratificación delgada, lutita y lodolita negras carbonosas, con vetas de carbón y lignito, lutitas amarillentas, pardo o gris a veces con concreciones calcáreas pequeñas y algo limoníticas, de color pardo amarillento claro. Localmente aparecen conglomerados de color pardo negruzco sucio, no estratificados, pero a veces en forma de bancos aislados. Estos conglomerados contienen guijarros bien redondos de diámetros variables (2-15 cm).

Su localidad tipo se encuentra en la falda del cerro situado arriba de la población el Rosario, cerca del panteón del pueblo, al SW de Tezoatlán de Segura y Luna.

Distribución: La Formación Rosario aflora principalmente en la zona de Tezoatlán-el Consuelo, no encontrándose en el área de Mixtepec (López, 1983). Cárdenas y Bautista en 1965 suponen la existencia de esta formación al sur del poblado de Santa Catarina Noltepec, distrito de Juxtlahuaca y al este de San Miguel Ixcatlán en la barranca de Yusique -- que desciende al Río de Cuanana, esta suposición se basa en la similitud litológica y posición estratigráfica.

En el área de estudio se encuentra la localidad tipo, aflorando en un área de 6 Km<sup>2</sup> aproximadamente y ubicados en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú, presentando una coloración del terreno característica pardo rojiza, con expresión del relieve en forma de pequeños lomeríos, - con sus correspondientes inclinaciones suaves, subhorizontales entre 10-30°. También se localiza al SW de San Juan Diquiyú, en la región



de el Consuelo.

Litología: En la sección geológica de Yucuquimi a San Diquiyú (ver plano No. 1), se observó que la Formación Rosario consiste de una intercalación de conglomerados de cuarzo y feldespató potásico de tamaño pequeño en una matriz arenosa, con areniscas de grano fino pardo amarillentas, muy intemperizadas de estratificación delgada, presenta micas y escasas lutitas: Bajando estratigráficamente se encuentra una secuencia interestratificada de conglomerados de cuarzo y fragmentos de roca ígnea con areniscas rojizas de grano muy fino y estratificación delgada, con abundantes lutitas rojas con concreciones calcáreas pequeñas. En el eje del Anticlinorio Diquiyú se presentan areniscas arcillosas, de estratificación delgada, color gris, las cuales se encuentran muy meteorizadas, intemperizando en colores rojizo y verdoso, presentan lineaciones de color oscuro, intercalando con lutitas verdosas y amarillentas. Esporádicamente se observan areniscas conglomeráticas de cuarzo y feldespató potásico. Se observaron fragmentos de troncos de Gimnospermas carbonizados, con recristalización de barita en forma de vetillas, que fue imposible clasificar exactamente por no presentar características distintivas de un género determinado.

En la localidad tipo, además de la litología descrita, se observó un conglomerado oligomíctico de fragmentos de rocas ígneas afaníticas y algunas porfídicas de composición andesítica; los fragmentos varían de 1 a 20 cm. de diámetro, de forma redondeada, ovalada y algunos son subangulosos. En general el conglomerado se encuentra pobremente clasificado en una matriz fina y compacta, con vetillas de calcita; contienen algunos clastos, manchas de carbón pequeñas; presenta estratificación mediana a gruesa y subyace concordante y transicionalmente - al Conglomerado Cualac, (esto último se observó en el Arroyo Rosario).

(Foto No. 5 y 6 Apéndice D)

Según Erben (op. cit.) el espesor varía entre 50 y 120 m, pero excepcionalmente puede aumentar. Basados en la sección mencionada, los autores determinaron un espesor aproximado de 300 a 350 m, no excluyendo la posibilidad de que sea mayor, por no estar expuesto su contacto inferior.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior no aflora y es probablemente discordante con el Complejo Acatlán; el contacto superior con el Conglomerado Cualac es concordante y transicional.

Al SE de la localidad tipo, la Formación Rosario se encuentra intrusiva y afectada por una roca de composición andesítica que forma parte de una estructura lacolítica. En la sección de Yucuquimi-Diquiyú el contacto con las rocas ígneas es claramente tectónico y se observa muy intemperizado. En el cruce del Arroyo Rosario y el camino de San Juan Diquiyú a Santa María Tindú, se observó al intrusivo afectando los estratos de la Formación Rosario de tal forma que los flexiona hacia arriba y adelgaza hacia el contacto. (Foto No. 7 Apéndice D). Este contacto comprende una zona de rocas aproximadamente 10 m, de color verde oscuro, verdosa y rojiza que varía de arcillosa a una roca más compacta.

Considerando todo lo mencionado respecto a estas rocas ígneas y su relación con las rocas de la Formación Rosario, se les asigna el carácter de intrusivas y corresponden al Terciario.

Edad y Correlación: La flora Fósil encontrada por Wieland (1914) en la región del Consuelo, data del Toarciano (Jurásico inferior), mientras que la encontrada por Erben en la localidad tipo pertenece al Jurásico medio; destacando los géneros: Otozamites, Williamsonia, Ptilophyllum

pulcherium wiel. Por lo que se le puede asignar una edad toarciana aaleniano. Además, nosotros encontramos plantas clasificadas como Ptilophyllum acutifolium Morris, cuyo alcance estratigráfico abarca desde el Triásico superior al Cretácico inferior. (EMM-247, Apéndice C).

La Formación Rosario es correlacionable según López Ramos (op. cit.) con la Formación Cahuastas del NE de México y la Formación. Todos Santos, del Sur de México; y con la Formación Barranca Superior del Norte, según Erben (op. cit.).

Ambiente de Depósito: por las características litológicas de esta formación como son lutitas negras carbonosas, horizontes de carbón y lignitos y con plantas fósiles de helechos, areniscas grises, estratificación delgada y la ausencia de fauna fósil marina, indican un ambiente continental de facies palustre cercana a la costa.

#### Conglomerado Cualac

=====

Definición: Esta Formación (Guzmán 1950, in Erben 1956, b, pág. 23), originalmente fue descrita bajo la denominación de Cuarcita de Cualac. Posteriormente Erben (1956-b, pág. 23, 24), la designó Conglomerado Cualac.

Consiste de un conglomerado de matriz en general cuarcítica, duro, --- gris a veces algo amarillento, que muestra una estratificación mediana hasta casi gruesa. Está compuesta casi exclusivamente de guijarros de cuarzo blanco lechoso y que muestran diámetros entre 0.5 y 5 cm, de una manera subordinada también se presentan gneises, aunque con menor frecuencia. En algunos niveles se intercalan pocos estratos de limolitas y areniscas finas, pardas hasta amarillentas de estratificación -- delgada. En ocasiones el conglomerado cambia a una cuarcita de color -

gris. (Erben, op. cit., p. 23-24).

La localidad tipo se encuentra en las cercanías de Cualac al NE del estado de Guerrero.

Distribución: Se le encuentra en la zona de Mixtepec, donde está ampliamente distribuido y al sur de Santa Catarina Noltepec. También se observa esta formación en el Anticlinorio Diquiyú al SW de Tezoatlán, donde es notoria su expresión geomorfológica de crestas resaltantes distinguibles fácilmente en las fotografías aéreas. por su expresión clara de arco delimitando ambos flancos del anticlinorio mencionado. (Foto No. 8 Apéndice D).

Litología: En el área estudiada el Conglomerado Cualac presenta fragmentos de cuarzo lechoso y feldespatos potásico, así como de rocas metamórficas que constituyen un conglomerado polimíctico. Los guijarros de cuarzo y feldespatos potásico se encuentran bien redondeados, mientras que los de roca metamórfica son rectangulares con sus esquinas redondeadas. (Foto No. 9 Apéndice D).

En la sección medida en el Cerro de La Isleta, el Conglomerado Cualac presenta un espesor de 43 m, variando en otros sitios entre 30 y 80 m. (Erben, op. cit.).

En la sección de Yucuquimi a Diquiyú transversal a la estructura anticlinorio mencionada, se le considera un espesor de 150 m aproximadamente.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con la Formación Rosario es concordante, sin embargo, en otras zonas descansa sobre el Complejo Acatlán como es el caso de los alrededores de Mixtepec. El contacto superior es concordante con la Formación Zorrillo.

Edad: El alcance estratigráfico probablemente abarca desde el Aaleniano

medio hasta el Bajociano inferior (López, R.E.; op. cit.), por posición estratigráfica sobre el Grupo Tecocoyunca.

Ambiente de depósito: Según Erben es probable que estos sedimentos -- sean de origen fluvial, lo cual podría estar indicado por la semejanza del conglomerado con gravas de cuarzo lechoso recientes, fluviátiles y por la presencia de frecuentes estratificaciones cruzadas en la roca - matriz. (Erben, op. cit.).

#### Grupo Tecocoyunca

=====

Erben (en 1956, p. 25), define formalmente a las Capas Tecocoyunca de - Guzmán (1950) y a la formación Carbonífera superior de Cortés-Obregón (1957), (in Erben 1956-b) como Grupo Tecocoyunca a una secuencia de estratos que en las partes inferiores es continental, mientras que en - la parte central existen intercalaciones marinas, terminando esta secuencia con estratos completamente marinos. Este grupo está constituido por las formaciones: Zorrillo, Taberna, Simón, Otatera y Yucuñuti, con edades entre Bajociano-Calloviano.

#### Formación Zorrillo

=====

Definición: Consiste de areniscas de grano fino a medio y de limolitas que a veces presentan estratificación cruzada. La estratificación de estas rocas es más bien delgada, además contiene limolitas de color gris amarillento que contienen numerosos restos de plantas terrestres. También contiene lutitas carbonosas y mantos de carbón. En algunos niveles existen intercalaciones concrecionarias calcáreo hematíticas hasta calcáreo limoníticas que tienen superficies muy irregulares. En las partes superiores aumenta el contenido en limolitas grises de estrati-

ficación muy delgada y sobre todo en lutitas y limolitas que contienen concreciones calcáreo hematíticas de color rojo vino. (Erben, op. cit. p. 26).

La localidad tipo está representada por la falda de la Loma de Zorrillo situada al este de San Juan Diquiyú, región de Tezoatlán, Oax.

Distribución: Se le ha reportado en el Cerro de La Isleta, al N de Tlaxiaco, en las cercanías de Mixtepec al W de Tlaxiaco, en la región de Huamuxtitlán Cualac, Guerrero, bordeando el flanco oriental del Anticlinorio Diquiyú, en la región de Tezoatlán-Consuelo y en las cercanías de la presa de Yosocuta, al W de Huajuapán de León.

Litología: En la base se presenta una arenisca de cuarzo de estratificación mediana a delgada y estratificación cruzada, de grano fino y medio, con abundante flora fósil, (Foto No. 10 Apéndice D), continua hacia arriba a areniscas arcillosas con lutitas laminares interestratificadas, estas lutitas se hacen más frecuentes hacia la cima alterando -- con areniscas de grano fino, lutitas carbonosas, lutitas con concreciones ferruginosas grandes y pequeñas y abundantes horizontes de carbón.

El espesor según Erben (1956 - b pág. 26) es de entre 20-80 m, en el Cerro de La Isleta se reportan 74 m. (in López Ramos 1983 Pág. 83). En la sección medida se estima un espesor de 150 m.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con el Conglomerado Cualac es concordante y bien definido por un cambio litológico abrupto. El contacto superior con la Formación Taberna es concordante y -- transicionalmente lento. En el sondeo No. 8 realizado por Cortés-Obregón (et al., 1957, pág. 91), se puede observar que una parte de la "formación Carbonífera superior" (que la interpretamos como Formación Zo-

rrillo) descansa sobre rocas ígneas metamorfizadas de composición basal to-andesita a una profundidad de 158 m.

Edad: Se le asigna una edad Bajociano inferior debido a su posición estratigráfica debajo de la Formación Taberna cuya edad es Bajociano medio y superior, caracterizado por su abundante fauna marina. La Formación Zorrillo contiene una de las floras más abundantes y mejor conservadas de México como son Cicadofitas (Otozamites, Ptilophillum y conos de Williamsonia), Helechos y los géneros nuevos Mexiglossa y Perezlaria (Delevoryas y Gould, 1973, Delevoryas y Person 1975, Person 1976) en la sección de San Juan Diquiyú hacia el oriente encontramos el fósil, clasificado como fragmentos de tallos de Equisetales (Jurásicos medio), (EMM-47, Apéndice C).

Ambiente de depósito: La abundante flora fósil y los mantos de carbón, indican que se trata de una formación de origen continental cercano a la costa.

#### Formación Taberna

=====

Definición: Erben, (op. cit. p. 27) la define como una secuencia de lutitas y arcillas de color oscuro, lutitas calcáreas oscuras que intemperizan en colores grises pardo claros y que contienen abundantes concreciones fosilíferas calcáreo hematíticas de color rojo vino y también algunas concreciones calcáreo limoníticas de color amarillento (diámetros de 5-25 cm aproximadamente). En algunos estratos estas concreciones están sustituidas por delgadas intercalaciones concrecionales del mismo tipo. Además se encuentran lutitas del tipo descrito pero que contienen concreciones esferoidales pequeñas (diámetros de 1.5-5 cm), oscuras, calcáreas y siempre perforadas por organismos ta-

ladrantes. Existen margas y algunos bancos intercalados de una caliza oscura bastante fina cuyo color de intemperismo es amarillo. Además de algunas limolitas intercaladas, no típicas, en varios lugares dentro de esta formación existen limolitas finas oscuras, grises negruzcas, llenas de canalitos formados por gusanos muy pequeños y que están rellenos. El rasgo más típico está representado por la abundancia de concreciones calcáreas hematíticas de color vino que en ninguna de las formaciones restantes son tan numerosas, así como por las concreciones pequeñas esferoidales perforadas por organismos barrenadores (Foto No. 11, Apéndice D)

La localidad tipo se encuentra en la falda de la Loma de la Tierra Amarilla, arriba del lado sur del arroyo de la Taberna al NE de San J. - Diquiyú, en la región de Tezoatlán Oaxaca.

Distribución: Aflora en el Cerro de La Isleta al W de Tlaxiaco, al NE, E, y SE de Mixtepec, Oaxaca, al oriente de Huamuxtitlán, Guerrero en la barranca del Río Temalacazingo, en la región SW de Tezoatlán está presente en los arroyos: del Carrizo, el Aguacate, Rosario y también bordeando el flanco oriental del Anticlinorio Diquiyú.

Litología: En transición lenta con la Formación Zorrillo se presenta una secuencia de areniscas de cuarzo de grano fino, estratificación mediana, que se intercalan con lutitas pardo rojizas con abundantes concreciones hematíticas y limoníticas de tamaños pequeños y grandes, en muchos casos se encuentran agrupadas entre sí, formando una estructura sedimentaria llamada septaria. Esporádicamente existen mantos delgados de carbón. Posteriormente se presentan con mayor amplitud -- las lutitas calcáreas con concreciones y en menor proporción areniscas arcillosas de grano fino y calizas negras de estratificación delgada;



las lutitas contienen abundantes pelecípodos (Trigonia erbeni Alencáster, Indotrigonia, Vaugonia v-costata mexicana Alencáster, Myophorela formosa, Parallelodon sp., Opis cf. leckenbyi Wright, Anatina burckhardti Alencáster y amonitas, entre dos estratos delgados de areniscas de grano fino se observó una estructura sedimentaria denominada rizaduras de oscilación.

Sobre el arroyo Rosario se encontró una concreción en cuyo interior se observa una impresión de tallos, clasificados como Equisetales (Mesozoico) EMM-115 (7), Apéndice D), y en la misma localidad la amonita Perisphinctes (Jurásico medio) (EMM-115 (5), Apéndice C). Hacia el contacto con la formación suprayacente se manifiestan en mayor cantidad areniscas de grano más grueso.

El espesor varía entre 50 y 60 m.

Relaciones estratigráficas: Los contactos inferior y superior son concordantes y transicionales. Con la Formación Simón (sobreyacente) el contacto se caracteriza por el aumento en tamaño de grano de los sedimentos. En el Arroyo Rosario, se encuentra la Formación Taberna, que está intrusionada por dos diques, uno de 80 cm de espesor y de composición andesítica y otros de 80 m de espesor y clasificado como pórfido basáltico; (EMM-115 (1), EMM-114 (5), Apéndice C). (Fotos No. 12 y 13, Apéndice D).

Edad: Erben, 1956, adjudica una edad Bajociano medio-superior y Batoniano inferior, basándose en la clasificación de Burckhardt (1930) y de los fósiles encontrados: Strenoceras aff. bifurcatum, Oppelia aff. subradita, Perisphinctes Sphero-ceras sp., Trigonia sp. y numerosos pelecípodos.

Ambiente de depósito: Por la fauna fósil que presenta, se le atribuye un origen marino. Sin embargo, pudieron existir, durante un intervalo

corto, condiciones continentales como lo indican los excepcionales mantos de carbón y las estructuras sedimentarias.

### Formación Simón

=====

Definición: "Predominan sedimentos clásticos de grano mediano hasta grueso (areniscas) y en general se puede decir que la estratificación es algo más gruesa que en las Formaciones Zorrillo y Taberna. Esta formación contiene areniscas amarillentas o pardas de grano medio a grueso y estratificación mediana hasta gruesa. Además hay areniscas de grano fino, cuarcíticas, que contienen esferoides endurecidos grandes --- (diámetros de 20-25 cm.), de color pardo claro, areniscas conglomeráticas, limolitas y loditas.

Aproximadamente en la mitad de esta Formación existe un conglomerado parecido al Conglomerado Cualac, es decir un conglomerado de una matriz cuarcítica dura, gris, conteniendo guijarros de cuarzo lechoso. Este conglomerado, sin embargo, contiene menor cantidad de guijarros de menor tamaño que los del Conglomerado Cualac. A veces en el conglomerado los guijarros de cuarzo se pierden completamente, de manera que estos casos se trata de una cuarcita gris. Además en la Formación Simón se encuentran lutitas carbonosas y mantos de carbón, así como unos pocos bancos de caliza.

Los rasgos más típicos que diferencian a esta Formación de la Formación Zorrillo son: el conglomerado intraformacional, las areniscas --- cuarcíticas con esferoides endurecidos, así como el grano y la estratificación más gruesos. (Erben , op. cit., p. 29-30).

La localidad tipo se encuentra en las partes inferiores de Arroyo del Simón de la Barranca del Carrizo al NE de San Juan Diquiyú, (Erben, op. cit., pag. 30)

Distribución: Se ha reportado en la zona de Mixtepec al W de Tlaxiaco, en el poblado de Tecocoyunca, Guerrero, al N de Cualac, en la región al SW de Tezoatlán se le observó en el Arroyo el Rosario, Loma de los Enebras, Arroyo Yucatiyú, al inicio del Arroyo el Pipi o Yucufñuti, en el Cerro de La Caja y al oeste en la Barranca del Muerto.

Litología: en el Arroyo Rosario esta formación inicia con una secuencia de areniscas cuarcíticas de grano fino a grueso que intercala con areniscas de estratificación delgada, de grano fino, lutitas bituminosas, limolitas y frecuentes mantos de carbón de 50-60 cm de espesor. Las lutitas bituminosas contienen abundantes tallos y hojas, en menor proporción se observan concreciones oxidadas de areniscas. Hacia la parte media de la formación predominan más las areniscas cuarcíticas de grano grueso, de estratificación gruesa, color pardo amarillentas, con estratificación cruzada y gradada, (Foto No. 14 Apéndice D), intercalando con estratos delgados de areniscas finas y escasos horizontes de carbón y lutitas carbonosas que contienen tallos, helechos y otras sobre el Arroyo Rosario se encontró una planta fósil, clasificada como Otozamites hespera Wieland, género descrito en Oaxaca, Puebla y Veracruz, del Jurásico interior y medio. (EMM-66 Apéndice C). Existen también areniscas rojizas de grano medio que representan esferas endurecidas constituidas de la misma arenisca con coloración rojiza más acentuada por alteración hematítica. También se presenta un conglomerado intraformacional de guijarros de cuarzo lechoso cuyos diámetros son menores a 3 cm, embebidos en una matriz cuarcítica. Este conglomerado cambia hacia la cima a una arenisca conglomerática de cuarzo con estratificación cruzada.

Hacia la cima de la formación hay nuevamente una disminución en el ta-

maño del grano, teniéndose así areniscas de cuarzo de grano fino a medio de estratificación delgada, con intercalaciones de limolitas y lutitas laminares negras carbonosas. Algunos estratos de areniscas contienen tallos alargados, bien conservados.

Según Erben (1956-b, pág. 30), su espesor varía de 80-100 m y excepcionalmente se hace un poco mayor o un poco menor. En el Arroyo Rosario se determinó un espesor aproximado de  $\pm$  130 m. Relaciones estratigráficas: La Formación Simón sobreyace concordante y transicional a la Formación Taberna. Y el cambio hacia la Formación Otatera que le sobreyace es concordante y transicional, en el Cerro de La Isleta este contacto se caracteriza por la reaparición de concreciones de color rojo vino y por la aparición de coquinas de ostras o de Pseudotrapezium aff. cordiforme (Deshayes). López Ramos (1983), op. cit., p. 85).

Edad: Erben, (op. cit., p. 30) le asigna una edad Bathoniano medio, debido a que se encuentra estratigráficamente arriba de la Formación Taberna de edad Bathoniano temprano y debajo de la Formación Otatera con edad Bathoniano tardío.

Ambiente de depósito: El origen de la Formación Simón es continental, no se encontró fauna fósil, mientras que la flora fósil es abundante tales como: "Bennetiales, destacando los géneros Pterophyllum, Ptilophyllum, Otozamites, conos de Williamsonia y los géneros de helechos Sphenopteris y Coniopteris (Silva, 1970, Delevoyras y Gould, 1973, Delevoyras y Person, 1975, Person, 1976). (Silva-Pineda A., op. cit., p. 9).

Formación Otatera  
 =====

Definición: "Consiste de areniscas de grano fino a medio, estratificación delgada y muchas veces diagonal y cruzada. Además existen arenis

cas de grano fino cuarcíticas, limolíticas y loditas de color pardo claro a beige, (Foto No. 15, Apéndice D), lutitas oscuras con concreciones calcáreas hematíticas de color rojo vino y calcáreo limoníticas de color pardo amarillentas, así como bancos ocasionales de calizas oscuras. Muy frecuentes son además calizas oscuras y limolitas calcáreas, ambas desarrolladas en forma de coquinas de ostrea sp. mostrando siempre las ostras conchas bien negras. En algunos niveles se encuentran coquinas sueltas de Pseudotrapezium aff. cordiforme (Deshayes), que a veces contienen yeso en plaquitas delgadas o sustituyendo las conchas de los fósiles.

Los rasgos más característicos están representados por las coquinas -- sueltas y la reaparición de las concreciones calcáreo-hematíticas de color rojo vino con Isocyprina sp. (ó Eocallista)". (Erben, op. cit., p. 30).

La localidad tipo se encuentra en la parte central y la salida septentrional de la Cañada Otatera del Río Rosario, al norte de la población Rosario Nuevo, en la región de Tezoatlán, Oaxaca.

Distribución: En el área de trabajo se le encuentra a la Formación Otatera al W del Anticlinorio Diquiyú en una franja que va desde las cercanías del poblado de Yucuquimi de Ocampo hasta el poblado de Yucuñuti, en el Arroyo el Pipi, correspondiendo esta parte al flanco este del anticlinorio. Al W de Tezoatlán se le puede observar en uno de los afluentes occidentales del Río Salado, así como en la carretera Huajuapán-Tollá cerca de la Presa de Yosocuta. Se ha reportado esta formación en el Cerro de La Isleta, al W de Tlaxiaco (López Ramos, op. cit., p. 86) y en el poblado de Tecocoyuca, Estado de Guerrero.

Litología: En el Arroyo Rosario se observó una intercalación de arenis-

cas grises de grano fino a medio, con vetillas de oxidación rojiza, de estratificación gruesa a delgada conforme se aleja del contacto con la Formación Simón; con lutitas oscuras y limolitas, aparecen estratos -- delgados de coquinas, no compactos, de color negro que se hacen más -- abundantes hacia la parte media. La secuencia continúa a areniscas de grano medio y escasamente areniscas conglomeráticas de cuarzo en forma gradacional con estratificación cruzada. Las areniscas de grano medio presentan formas redondeadas con alteración zonal formando una especie de red, también presentan muchas perforaciones de 2 cm que algunas están rellenas con cuarzo. A lo largo de la secuencia y en las lutitas oscuras existen concreciones calcáreas hematíticas y limoníticas de tamaño pequeño.

Según Erben el espesor varía entre 50 y 70 m, en el Cerro de La Isleta con un espesor de 12 m, para la sección estudiada por los autores en el Arroyo Rosario, se midió un espesor de 50 m.

Relaciones estratigráficas: La Formación Otatera, sobreyace concordante y transicionalmente a la Formación Simón y subyace en igual forma a la Formación Yucuñuti. Refiriéndose a este último contacto, Erben (op. cit. p. 31) menciona:

"En muchas regiones esta transición está caracterizada por una zona de areniscas finas o cuarcitas de color pardo amarillento desarrolladas en unos bancos bastantes gruesos. En lugares, en donde estos estratos faltan, la zona limítrofe está indicada por la desaparición de Isocyprina sp. (o Eocallista)".

Este fósil fue determinado por Alencáster G. (1963) como Eocallista -- imlayi N. sp.

Edad: Según el amonita Epistrenoceras paracontrarium, reportado por -- Burckhardt (1927, in Erben, 1956-b, pág. 31) se atribuye a esta formación una edad bathoniana superior, lo que según Erben se confirma por su posición estratigráfica con la F. Yucuñuti del Calloviano inferior. En el Arroyo Yucuñuti o Pipi, al sur del poblado de Yucuñuti, se encontraron los moluscos: Crenotrapezium hayami Alencáster, Eocallista imlayi Alencáster, Anisocardia coxi Alencáster, Vaugonia kobayashii Alencáster. (correspondientes al Jurásico medio de Oaxaca y Guerrero). (EMM-77 Apéndice C).

Ambiente de depósito: Considerando litología y la abundante fauna fósil se puede decir que el ambiente en que se depositó esta formación fue inicialmente un ambiente mixto y que transicionalmente cambia a marino. La abundante estratificación cruzada caracteriza a una facie deltaica en su parte frontal y los horizontes de coquinas de ostreas, indican bancos formados en las regiones costeras de alta energía, en la facie deltaica.

#### Formación Yucuñuti

=====

Definición: "En el NW de Oaxaca, consiste en coquinas sueltas de ostrea, coquina suelta de pelecípodos pequeños, especialmente de Astarte sp. y coquinas sueltas de Cerithium.

Los dos últimos tipos de coquinas a veces contienen algo de yeso (secundario) en plaquitas delgadas, otras veces contienen concreciones calcáreas (diámetros de 10-30 cm), que superficialmente a la intemperie adquiere un color pardo claro y que no contiene ningún óxido de hierro. Además esta formación contiene calizas duras pardas y calizas margosas blandas del mismo color, margas de color pardo oscuro y algu-

nas arcillas oscuras que a veces contienen concreciones esferoidales pequeñas (diámetros de .5 a 4.0 cm.), que se asemejan bastante a las concreciones esferoidales encontradas en la Formación Taberna, pero -- que no están perforadas por organismos fósiles en la Formación Yucuñuti. Las Lutitas y las coquinas sueltas de ostrea a veces contienen intercalaciones calcáreas delgadas en forma de placas de 1 a 2 cm de espesor, que muestran un contenido de numerosos individuos de un gsterópodo no determinado. Existen pocas limolitas de color pardo y algunos bancos gruesos de una cuarcita de grano muy fino y del mismo color". (Erben, op. cit., p. 31-32).

La localidad tipo se encuentra en el Arroyo de Yucuñuti, al este de Sta. María Yucuñuti, en la entrada del camino a dicho arroyo. Esta localidad pertenece a la región de Tezoatlán, Oaxaca.

Distribución: En la región de Mixtepec, Oaxaca se encuentra una formación con una litología similar a la de la localidad tipo. Además destaca una serie de limolitas de color pardo, que contienen numerosos canalitos rellenos, formados por gusanos fósiles pequeños. En el NE de Guerrero la litología de la F. Yucuñuti es la misma, pero muestra unos elementos adicionales representados por lutitas con intercalaciones calcáreas que contienen numerosos individuos de Rhynchonella sp., por margas arenosas de color café y por lutitas con concreciones calcáreas que contienen frecuentes ejemplares de Parapatoceras. (Erben, op. cit., p. 32).

En el Cerro de La Isleta esta formación muestra también calizas arenosas de color pardo y hacia la cima una caliza oolítica. El horizonte de calizas arenosas es de color pardo grisáceo y particularmente -- fosilífero, dentro de él se encontraron: Peltoceras neogaëum Burck-



hardt, Reineckeia prosicostata Till, también se encontró: Natica sp., Vaugonia v-costata Lycett. mexicana Alencáster. Reineckeia coronoides Burckhardt. (López R.E., op. cit., p. 87).

La Formación Yucuñuti es reportada al este del poblado de Tecocoyuca, Edo. de Guerrero, en el área al SW de Tezoatlán se le encontró en el Arroyo el Pipi (o Yucuñuti) a 1500 m desde el poblado de Yucuñuti en dirección aguas abajo del río, en lo que corresponde al flanco oriental del Anticlinorio Diquiyú, de igual manera se observó en su localidad tipo y al sur de esta formando una franja de 8 km aproximadamente, con dirección N-S, que corresponde al flanco occidental del anticlinorio mencionado. En el colgante Jurásico, sobre el Arroyo el Pipi aflora esta formación y parte de la Formación Otatera. También se encontró esta secuencia en los Arroyos el Sayuyá, el Rosario y en la sección Yucuquimi-Diquiyú, en la falda del Cerro San Juan Viejo, al W de Tezoatlán en las cabeceras de los arroyos afluentes del Río Salado, en el Río del Tlacuache adelante del poblado de Sta. María Xochistlapilco, en el poblado de San Miguel Papalutla y fuera del área de estudio al NW de Huajuapán de León, en la cercanía del poblado F. Ibarra Ramos.

Litología: La secuencia observada en las distintas localidades se caracteriza en su parte inferior por areniscas cuarcíticas de grano fino, estratificación mediana y cruzada, de color pardo amarillento con intercalaciones de coquinas de ostreas de tamaño grande, areniscas -- verdosas, lutitas carbonosas. (Foto No. 16, Apéndice D). El tamaño de la coquina varía y disminuye hacia arriba estratigráficamente. En esta zona de transición se observó un horizonte de areniscas de grano fino, estratificación media y cruzada, color pardo rojizo, con vetillas o franjas de color oscuro, con alto peso específico, en comparación con

las demás, muy fracturada, con la característica especial de ser altamente radiactivo, limitado hacia abajo por una arenisca cuarcítica, muy compacta, de grano grueso, estratificación gruesa y cruzada y hacia arriba por un horizonte de coquinas de ostrea con calizas oscuras. La secuencia continúa en intercalaciones de coquinas negras con lutitas carbonosas, calizas arenosas y calizas margosas. Las coquinas son de tamaño pequeño y en bancos más gruesos, aparecen coquinas de pelecípodos de tamaño pequeño, clasificados como Astarte sp., Corbula oaxaqueña Alencáster y coquinas de Cerithium, dichos bancos varían de medianos a gruesos. Las lutitas carbonosas contienen concreciones esféricas pequeñas y calcáreas. Las calizas varían estratigráficamente de arenosas a margosas, que en ocasiones son calizas oolíticas y presentan fósiles en la parte superior. Existen también lutitas amarillentas con calizas de estratificación delgada que contienen bivalvos y ammonitas, clasificados por la Dra. Blanca Buitrón como Reineckeia plicata, Reineckeia cf. R. bifurcata, Reineckeia coronoides, Reineckeia consolations, Peltoceras monacanthum y Lucina bellona D'Orbigny. --- EEMM-82b, III, 82-A, 82a, XI).

Según Erben el espesor es de 50-90 m aproximadamente y sólo excepcionalmente se hace mayor o menor, llegando a 200 m y 40 m respectivamente. Según López Ramos, en el Cerro de La Isleta el espesor es de 147 m. En los Arroyos Rosario y Yucatiyú se determinó un espesor de 70 m aproximadamente, pero se considera que es mayor en las otras localidades. Relaciones Estratigráficas: Su contacto inferior es concordante y transicionalmente lento con la Formación Otatera, mientras que el superior es transicional con la Formación Caliza con Cidaris y se caracteriza por una mayor frecuencia de calizas grises.

Edad: En base a los fósiles colectados, que coinciden con los descritos por Burckhardt, Waitez, Boese y Erben, se le asigna a esta formación una edad calloviana.

Ambiente de depósito: La Formación Yucuñuti procede de un ambiente absolutamente marino por su lato contenido faunístico. Sin embargo, Carrasco R. (1981), mencionada en sus análisis petrográficos, diferentes ambientes para las muestras analizadas en la zona de Tlaxiaco; que corresponden a cuarzoarenitas formadas en una llanura de inundación; limolitas de probable ambiente lagunar con comunicación al mar debido a la asociación con coquinas de invertebrados; ambos con una fuente de aporte de rocas ígneas y metamórficas alejadas y biomicritas de ambiente nerítico-somero con aporte de terrígenos.

Correlación: El Grupo Tecocoyunca es correlacionable con la Formación Tecmazuchil del sur de Puebla y con la parte superior de la Formación Todos Santos.

#### Caliza con Cidaris

=====

Definición: Burckhardt (1930, in Erben, 1956-b, pág. 53), define a la Formación Calizas con Cidaris como una serie de calizas grises bien estratificadas que con el intemperismo se vuelven blanquizas y que contienen cidaris cf. florigemma Phil, y abundantes Rhynchonella.

Erben (1956-b), define una secuencia consistente de margas de color gris claro a veces de color crema con algunas manchas amarillentas y con numerosas intercalaciones de calizas margosas de color gris medio en bancos de 5 a 10 cm. En algunos lugares, en la parte inferior se encuentran coquinas calcáreas de ostrea y Exogyra cf. ptychodes, muy semejantes a las coquinas de la Formación Yucuñuti, pero diferentes de

ésta en su contenido de abundantes ejemplares de la *Exogyra* mencionada y en su color. En las partes medias de la secuencia se encuentran las mismas margas con intercalaciones de bancos de calizas margosas - grises, pero aparte de esto también se encuentran intercalaciones de bancos de 5-10 cm de calizas no margosas, las cuales contienen algo de pedernal. Las partes superiores de la secuencia consisten de calizas con algo de pedernal, estratificadas en bancos de 30 cm hasta 1 m de espesor.

Localidad tipo: Se encuentra en los alrededores del Consuelo, Oaxaca.

Distribución: Erben la reporta en el Cerro Titania de Tlaxiaco, entre las huertas y la mina fundición del Sol de Mayo, en el Rancho de Nicolás Pacheco, las Huertas y al norte de éste y en las cercanías de Tlaxiaco camino de Tezoatlán-Yucuñuti, al sur de Yucuquimi, en el Cerro de la Virgen al este de Tlaxiaco, entre Mixtepec y Tejocotes, -- cerca del Cerro de La Isleta, donde también es reportado por Cárdenas y Bautista.

En el área de estudio aflora en una franja que corresponde al flanco occidental del Anticlinorio Diquiyú, desde el sur de Yucuquimi de Ocampo hasta el NW de Yucuñuti, bordeando la estructura citada, así como en ambos flancos del Sinclinal de Tezoatlán.

Litología: En el Arroyo Yucatiyú al oriente de Yutatio aflora esta formación de la siguiente manera:

En la parte inferior se observan calizas arcillosas de color gris con gran cantidad de fósiles de ostreas, semejantes a los de la Formación Yucuñuti, de tamaño pequeño y más abundantes (*Exogyra* cf. *ptychodes*), de estratificación delgada. Se observó una roca andesítica con frag-

mentos de caliza e interestratificado en calizas arcillosas de color gris verdoso, con abundantes fósiles de Cidaris.

En la parte media se observaron calizas arcillosas de estratificación delgada, de color negro con abundantes Cidaris e intertemperizan a amarillo y gris claro, posee muchas vetillas de calcita con orientación NE-SW. En la parte superior, se observó calizas arcillosas, color gris oscuro, estratificación delgada y laminar, intertemperiza a gris claro, con abundantes Cidaris, alternando con lutitas y limolitas laminares de 2,3 y hasta 5 cm de color pardo y amarillo, con ligeros pliegues. El contacto superior no se observó por estar cubierto por caliche.

El espesor de la formación según Erben se estima entre 60-80 m, mientras que López Ticha (1969, in López Ramos, 1983 pag. 87), reporta un espesor de 170-280 m para la zona de Tlaxiaco y Cárdenas y Bautista -- mencionan un espesor de 95 m, al sur de San Juan Mixtepec.

En la sección que va de Yucuquimi a San Juan Diquiyú, se determinó un espesor de 180-200 m el cual puede ser mayor, ya que el contacto superior se encuentra cubierto por caliche.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con la Formación Yucufuti es transicional, mientras que el contacto superior se cree que es con margas del Jurásico superior, mientras que en otros sitios es con el Grupo Sabinal en forma concordante y transicional, como se observa en el Cañón de Tonalá.

En otras localidades se encuentra descansando sobre ésta el conglomerado basal de la Formación Huajuapán con discordancia angular. En el Arroyo Yucatiyú, se observó una especie de aglomerado volcánico en la base de la formación, el cual corresponde a los efectos del intrusivo andesítico del terciario, al que por su posición y forma se le conside

ra concordante a la estratificación semejando pequeños Sills.

Edad y correlación: Burckhardt otorga a esta formación una edad oxfordiana tardía, mientras que Erben la considera perteneciente a todo el Oxfordiano porque entre ésta y la Formación Yucuñuti del Calloviano existe una transición lenta sin interrupciones de sedimentación.

Dentro de los fósiles encontrados en el camino a Papalutla se determinó el bivalvo Corbicellopsis (Bajociano, Cretácico inf.) y en el Cañón de Tonalá se determinó el coral Cladophyllia (Jurásico superior al Cretácico medio). (Muestras EMM 256 y EMM 264-3, respectivamente, Apéndice C).

La Caliza con Cidaris se correlaciona con la Formación Acahuitzotla descrita por de Cserna en la región de Chilpancingo, Gro., y con la Caliza Chimeco de edad oxfordiana que aflora al oeste de Petlalcingo, Puebla.

Ambiente de depósito: Es esencialmente marino, de facies nerítica caracterizada por su contenido faunístico. La presencia de terrígenos en la parte superior indica una transgresión en el Oxfordiano tardío.

#### JURASICO SUPERIOR-CRETACICO INFERIOR

##### Grupo Sabinal

=====

Definición: Las rocas asignadas al Jurásico superior-Cretácico inferior han sido reportadas en las cercanías de Tlaxiaco por Félix (1981, in Erben, 1956-b, pág. 57), quien las describe como lutitas bituminosas y calizas bajo la denominación de "Formación Virgen" Erben (op. cit., p. 57) al referirse a los últimos pisos del Jurásico superior menciona: "al norte de Amoltepec, Oaxaca T. Flores en 1909 encontró unos estratos, citados por Burckhardt en 1930, de calizas delgadas, negras que

alternan con lutitas levemente carbonosas. Según el hallazgo de un Idoceras gr. planula. estos estratos corresponden a los estratos del Kimeridgiano de Mazapil. Zacatecas que también poseen Idoceras".

Dicho investigador las observó como calizas margosas oscuras, bien laminadas, en forma de placas que contienen abundantes amonitas de gran tamaño.

Según Burckhardt (1933, p. 99, in Erben 1956-b, pág. 57) además de las amonitas se ha encontrado peces y pelecípodos, Acanthoceras sp., Inoceramus montezumae Felix, Thurmannites sp., Berriasella sp. Hoplites sp. Inlay cita la presencia de Neocosmoceras y Nathorst (1899) describe los restos de coníferas Sequoia cf. ambigua HEER, Sequoia cf. reichenbachi Geinitz, Pseudofrenelopsis felixi Nathorst, mientras que -- Wieland (1910) de estos estratos describió al saurio Plesiosaurus Polypychodon mexicanus Wieland. .

A esta serie de estratos, Burckhardt la había atribuido al Berriasiano, aunque también corresponden al límite entre el Jurásico superior más alto y el Cretácico inferior. Inlay (1952, p. 970, in Erben 1956-b, -- pág. 58) los cita como Valanginiano basal.

Dichos estratos han sido encontrados sólo en la región de Tlaxiaco, -- Oaxaca., es decir, en el Cerro de la Virgen y al norte del camino de Tlaxiaco a Putla, a 6 km al SSW de Tlaxiaco, además aparecen en el camino de Chalcatongo al N de Sto. Domingo Ixcatlán.

López Ticha en 1970 (informe inédito, PEMEX) describe a las rocas que afloran sobre el Río Sabinal en las Tlaxiaco, diferenciando 4 unidades: 1) Cuerpo bituminoso constituido por lutitas y calizas negras, -- muy delgadas a laminar con abundantes concreciones calcáreas ovoides y discoideas de 10 cm de diámetro, que contiene Idoceras, incluyendo

en las concreciones. 2) Una unidad arenosa-conglomerática de estratificación gruesa (80-100cm) constituida de conglomerado de cuarzo blanco lechoso que alterna con lechos de cuarcita blanca con zonas conglomeráticas de estratificación gruesa. Finaliza con una serie de conglomerados y brechas de calizas cementadas por sílice. No se observaron fósiles. 3) Sigue una unidad calcárea con la característica de que tiene un solo cuerpo de lutitas laminares similares a la parte basal pero diferentes faunísticamente, a partir de la cual inician las amonitas del Berriasiano. Luego se tienen dolomías y calizas litográficas con exogyras gigantes, dolomías de estratificación gruesa, exogyras, contiene infinidad de nódulos de pedernal negro y caliza gris coralígena. 4) Finaliza con una unidad de lutitas negras laminares de olor fétido (a hidrocarburos) con ejemplares de subthurmannias y también escasos horizoantes delgados de calizas negras. Estas unidades descansan concordante pero con un cambio brusco sobre la Caliza con Cidaris y subyace discordantemente a la F. San Isidro. Dicho autor les eleva al rango de Grupo Sabinal con un espesor de 900 m y reporta los fósiles Neocomites sp.--- (Hauteriviano), Leopoldia sp. (Hauteriviano), Olcostephanus sp. (Hauteriviano), Idoceras sp. (Kimmeridgiano), Spiticeras sp. (Berriasiano), --- Subthurmanites sp. (Berriasiano).

Distribución y litología: En el camino que va de San Marcos Arteaga a Tonalá y a 5 km en línea recta al NW de Arteaga, donde parte la desviación a San Miguel Papalutla aflora una secuencia que inicia con calizas y dolomías de estratificación delgada y laminar, despiden fuerte olor fétido al golpe del martillo, textura mudstone, color gris y gris claro, con fauna fósil (amonoideos y bivalvos) indeterminables. Continúa con margas y limolitas calcáreas, laminares de color crema que intemperizan



a amarillo con abundante fauna fósil, entre los que se identificó las amonitas Bochianites sp (Tithoniano Hauteriviano); Kilianella sp. --- (Berriasiano-Hauteriviano inferior); Neocomites sp. (Berriasiano-Valanginiano) y restos de vegetales indeterminables que probablemente fueron transportados. (EMM-228, 256-3, 266,266 (1-24), 267, 269, 270, Apéndice C), (Foto No. 17-Apéndice D). En esta zona Ferrusquía V.- Comas R. (1980, pág. 104), reportan restos de reptiles marinos asignados tentativamente a la familia Pliosauridae e Ichtyosauridae, asociado con restos de peces, amonitas, gasterópodos y coníferas, asignándole una edad Berriasiano superior y Huateriviano inferior. La secuencia culmina con unos estratos de areniscas conglomeráticas de color rojo vino, que sobreyacen a las margas y limolitas calcáreas en forma concordante pero brusca y que probablemente corresponden a un miembro intraformacional. En general la secuencia descrita descansa concordante a la Caliza con Cidaris y subyace discordante a la Formación Teposcolula, - estructuralmente se encuentra muy plegada y fallada, por lo que no fue posible calcular su espesor.

En el Cañón de Tonalá, sobre el Río Mixteco aflora una secuencia de -- aproximadamente 150 m de espesor constituída de calizas y dolomías de estratificación mediana a gruesa, textura mudstone y sacaroidal respectivamente, ambas despiden fuerte olor fétido al golpe del martillo y se encuentran plegadas. (Foto 18 Apéndice D). Contienen abundantes ruditas. Continúan hacia la base 100 m de calizas arcillosas y lutitas calcáreas delgadas y laminares de color gris oscuro y fuerte olor fétido al golpe del martillo, contiene fauna fósil constituída de Crenotrapezium sp. (Jurásico inf. -Cretácico inf.) y amonitas mal conservadas. (Foto No. 18, Apéndice D). Esta secuencia sobreyace concordante a

a la Caliza con Cidaris y subyace discordante a lutitas y areniscas de la Formación San Isidro.

Al NW del poblado Rancho Solano afloran 800 m de calizas de color gris y negro, estratificación delgada, despiden fuerte olor fétido al golpe y gradúan a calizas grises y amarillentas laminares de textura mudstone, posteriormente se intercalan con lutitas y limolitas calcáreas, para culminar la secuencia en calizas negras, laminares, con fuerte olor fétido, fuertemente plegadas, las cuales subyacen discordante a un conglomerado de la F. San Isidro.

Al NW de Huajuapán de León, a 2 km al sur de la estación de micro-ondas sobre el arroyo afloran margas grises de estratificación delgada y laminar que intercalan con pequeños horizontes de lutitas, contienen gran abundancia de fósiles, entre ellos: Durangites sp. (Tithoniano) (Fuera del área de estudio).

Se encuentra discordante sobre el Grupo Tecocoyunca y subyace discordante a una caliza gris con bandas y nódulos de pedernal negro de la Formación Teposcolula, alcanzando un espesor aproximado de 150 m y acunándose hacia el metamórfico.

Las localidades antes mencionadas, en general tienen cierta similitud litológica y faunística con la secuencia descrita por López Ticha en 1980, quien las define como Grupo Sabinal.

Edad y correlación: Basados en las determinaciones paleontológicas de la fauna encontrada en el área de estudio, se asigna a los mismos una edad que va desde el Tithoniano al Hauteriviano inferior abarcando -- probablemente desde el Kimmeridgiano, ya que el paso de la sedimentación del Oxfordiano a los últimos pisos del Jurásico superior es continua.

López Ticha en la localidad tipo ubica a este grupo entre el Kimmeridgiano y el Hauteriviano inferior. Es correlacionable con la F. Mapache reportada cerca de Petlalcingo Puebla, no excluyendo la posibilidad de que esta secuencia forme parte del Grupo Sabinal por su semejanza litológica y faunística. En zonas cercanas al área de estudio no existen rocas correlacionables con los últimos pisos del Jurásico superior y los inicios de Cretácico inferior, mientras que en el Estado de Guerrero (Taxco-Teloloapan) se correlaciona con rocas metasedimentarias.

Ambiente de depósito: En base a las unidades descritas se puede decir que se originaron en un mar somero de aguas tranquilas y baja energía con zonas de ambiente reductor, conjugándose características de mares someros en condiciones infralitorales con aporte de material terrígeno fino y restringido a pequeñas subcuencas separadas unas de otras que dieron por resultado una sedimentación heterogénea.

#### Formación San Isidro

=====

Definición: López Ticha en 1970 reportó sobre el Río San Isidro, al SW de Tlaxiaco una secuencia eminentemente clástica que descansa discordantemente sobre el Grupo Sabinal y concordante a la Caliza Teposcolula, otorgándole una edad Barremiano-Aptiano. El pozo Yucuda No. 1, de PEMEX, situado cerca de Teposcolula, cortó una serie de capas rojas y conglomerados de 300 m de espesor, estas rocas subyacen a evaporitas y sobreyacen a una granodiorita alterada.

Distribución.- Litología y Relaciones estratigráficas:

En el área de estudio se determinaron 3 localidades con las siguientes características:

En el Cañón de Tonalá sobre el Río Mixteco, se observó una secuencia de

areniscas de color pardo rojizo y gris, de estratificación delgada y media, de grano fino que alterna con lutitas gris verdoso, laminares y limolitas con horizontes conglomeráticos, (Foto No. 20, Apéndice D), afectado hacia su parte media por un intrusivo de composición andesítica, este conjunto alcanza un espesor aproximado de 550 m, y se encuentra en contacto concordante con la Formación Teposcolula, mientras que sobreyace discordantemente con el Grupo Sabinal.

En el camino a San Vicente del Palmar se observan areniscas calcáreas, compactas, de grano fino y medio, de estratificación delgada a media - que alternan con lutitas laminares de color gris verdoso, hacia la parte superior existen dolomías de aspecto sacaroidal de color negro. Cerca del poblado San Vicente del Palmar la secuencia se encuentra afectada por un intrusivo de composición andesítica. El contacto inferior no se observa y el superior se encuentra cubierto por una zona de fuerte intemperismo (caliche) y además se encuentran cubiertas por derrames andesíticos y piroclásticos terciarios.- (Foto No. 21, Apéndice D).

En las cercanías del Rancho Solano afloran 15 m de conglomerado color pardo rojizo, constituido de fragmentos de cuarzo blanco lechoso y de rocas metamórficas que alcanzan hasta 5 cm de diámetro, estratificación mediana a gruesa y de estructura compacta. Los contactos, inferior y superior son discordantes y se cree que su distribución es local llegando a existir acuñamientos.- (Foto No. 22, Apéndice D)

Edad y correlación: Por superposición estratigráfica, confinada entre el Grupo Sabinal y la F. Teposcolula se le asigna una edad barremiana-aptiano. Es correlacionable con el miembro conglomerático de la F. Zapotitlán del Grupo Puebla.

Ambiente de depósito: Esta secuencia indica un ambiente litoral que

se intercala con continentales como producto de una regresión.

Formación San Juan Teita: (Albiano inferior)

=====

Definición: López Ticha en 1969, (in informe Pémex, inédito) reporta al W de Tonalá una secuencia evaporítica del Cretácico medio constituída de calizas, anhidritas y dolomías. En la perforación de los pozos - Yucuda 1 y Teposcolula 1 en el centro de la cuenca de Tlaxiaco, se descubrió una secuencia de más de 2,500 m (seguramente muy plegados) de evaporitas que posiblemente se encuentran subyaciendo a la caliza Teposcolula (López Ramos, op. cit.). Son también reportados en Sta. Catarina Noltepec y San Juan Teita.

Distribución: En el camino de San Andrés Sabinillo a Natividad, en el extremo izquierdo de la zona en estudio, se observaron estas rocas muy localmente por encontrarse cubiertas por vulcanismo Terciario y sedimentos Cuaternarios.

Edad y Correlación: López Ticha le asigna una edad albiana inferior y es correlacionable con las anhidritas encontradas en la porción W de la "Cuenca de Veracruz".

Ambiente de depósito: Estas evaporitas se deben seguramente a una --- transgresión no continúa seguida por una corta fase regresiva o estacionaria de la línea costera (Cárdenas y Bautista, 1965), originándose zonas lagunares restringidas, donde prevalecen depósitos evaporíticos.

CRETACICO MEDIO

Formación Teposcolula (Albiano-Cenomaniano)

=====

Definición: Salas G.P. (1949) propuso por vez primera el término de caliza Teposcolula a una secuencia 300 m de espesor de calizas, según la

definición de Salas, se trata de una "caliza color crema o gris oscura, que se vuelve blanca con el intemperismo, densa y con algunos horizontes fosilíferos con abundantes ostras pequeñas, casi destruidas por la erosión en la superficie, con partes macizas y otras bien estratificadas". Afloran en las inmediaciones de San Pedro y San Pablo Teposcolula y se les asigna una edad Jurásica tardía. Erben en 1956-b -- presupone que esta unidad pertenece probablemente al Oxfordiano. Ferrusquía (1970, pag. 105), hace mención a un trabajo de Hisazumi --- (1932), en el que se reporta la presencia de Hippurites sp., género - que está confinado al Cretácico medio superior, por lo que últimamente se le asigna como del Cretácico medio.

Distribución: Esta unidad aflora en el sector occidental del área en estudio bordeando los anticlinales Mixteco, Tonalá y Yucunúti, así como al NW de Huajuapán de León, en las inmediaciones de la Torres de micro-ondas. Se reporta también en la región de Tlaxiaco, Juxtlahuaca y Tamazulapan.

Litología: En el área de estudio afloran como calizas color gris claro, de estratificación mediana a gruesa (0.40-1 m) y en ocasiones masivas, de textura mudstone, contiene bandas y nódulos de pedernal negro, en ocasiones pardos. Hacia la base de la formación existe una brecha de matriz calcárea de aproximadamente 4 m de espesor, mientras que hacia la cima la caliza es de color gris claro que intemperiza a blanquecino y que se intercala con margas de estratificación delgada. En el Cañón de Tonalá esta unidad presenta boudinage y estilolitas paralelas a la estratificación, además de encontrarse muy plegada (Foto No. 23 Apéndice D).

El espesor total no ha sido calculado con exactitud por encontrarse - sumamente plegada y dislocada, sin embargo en las localidades aflorantes en el área, se calcula un espesor aproximado de 400-600 m.

Relaciones estratigráficas: En el Cañón de Tonalá el contacto inferior con la Formación San Isidro es concordante, mientras el superior no se observa. Al poniente del Cañón de Tonalá se encuentra en contacto, por falla, con rocas extrusivas terciarias. En la barranca de San Juan al norte de Tonalá, se encuentra en contacto por falla con el Complejo - Acatlán y de igual forma en las cercanías del poblado de Santa María Tindú, fuera del área de estudio. Al norte de Rancho Solano el contacto inferior es discordante con la Formación San Isidro y el contacto superior es discordante en partes con la F. Huajuapán y en otras no se observa por ser la formación que corona la secuencia.

Edad y correlación: López Ticha, (1969, op. cit.), le atribuye una edad albiana-cenomaniano y posiblemente alcance la base del Turoniano, basado en microfauna de cuyas especies las más importantes son Nummuloculina heimi Bonet y Dycyclina Munier chalmas.

Se correlaciona con la Formación Morelos y Cuautla que afloran en -- los Estados de México, Morelos, Puebla y Guerrero, con la Formación Cipiapa del SW de Tehuacán, la Formación Petlalcingo en los alrededores de Petlalcingo, Puebla, la Formación Orizaba del sur de Puebla.

Ambiente de depósito: Sus características litológicas y faunísticas indican un ambiente marino de plataforma de alta y baja energía, alejado de la línea de costa, con influencia de mar abierto.

#### CENOZOICO-TERCIARIO

Formación Huajuapán  
=====

Durante el Terciario se originaron grandes depósitos de sedimentos - continentales clásticos y al mismo tiempo o con diferencias pequeñas, se desarrollaron eventos como la formación de cuencas lacustres y vulcanismo, por consiguiente las rocas que se originaron debido a estos - fenómenos se encuentran asociados y estrechamente relacionadas, tal es así que varios autores han subdivido a la Formación Huajuapán en miembros aunque de manera informal.

Definición: Salas (op. cit.) denominó con el nombre de "Capas Huajuapán" a una serie de sedimentos de areniscas, cenizas volcánicas, arcillas arenosas, capas de conglomerados y brechas que ocurren interestratificadas en la sección, mencionando que la base está formada por un conglomerado rojo muy bien cementado, pobremente clasificado, de fragmentos de rocas de la columna mesozoica y aún de fragmentos de rocas - ígneas, conteniendo además diquéstratos de traquita.

Erben (op. cit.) por su parte, acepta la formación descrita por Salas y la subdivide informalmente en tres miembros: miembro Catarina formado por un conglomerado basal blanco y rojizo de guijarros de caliza; miembro Tezoatlán constituido de areniscas, limolitas y tobas, y el - miembro volcánico no-nominado.

Ruiz Castellanos (1970, pág. 62-64), en la región de Mariscala-Amatitlán, describe a la "Formación Huajuapán" separada en tres miembros: - miembro conglomerático constituido de un conglomerado rojizo bien consolidado, rocas epiclásticas, piroclásticas y derrames basálticos, posee un espesor de 800 m aproximadamente y es considerado como la parte basal; miembro de rocas volcánicas intermedias y básicas que incluye esencialmente rocas andesítico-basálticas, en cuya parte inferior contiene brechas y tobas arenosas y arcillosas, posee un espesor de



350 m; miembro lacustre que consiste de lutitas, limolitas y areniscas intercaladas así como calizas con pedernal en la parte superior y algunas capas evaporíticas intercaladas entre tobas.

No obstante de estas subdivisiones observadas para la Formación Huajuapan, solo se describirá dicha formación como se observó en el área de estudio, es decir, representada esencialmente de rocas conglomeráticas y en menor proporción arcillosas.

**Distribución:** La Formación Huajuapan se encuentra aflorando principalmente en las partes bajas, como lo constituye el valle de Huajuapan, desde las inmediaciones de San Andrés Dinicuiti hacia el norte hasta los límites de la hoja y extendiéndose aún más al norte del área de estudio, hacia Zapotitlán, Chila de Flores y Ayuquila. Destaca también la zona de San Marcos Arteaga-Tezoatlán y al occidente de la hoja, es decir al poniente del poblado de Tonalá.

**Litología:** La Formación Huajuapan en el área estudiada consiste de una brecha calcárea y un conglomerado basal de aproximadamente 20 m de espesor, bien consolidado y que se encuentra descansando discordantemente con calizas del Cretácico medio (Formación Teposcolula). Hacia su parte media consiste de un conglomerado de color rosa, no bien consolidado y pobremente clasificado constituido por clastos de calizas, areniscas, que varían en tamaño y están cementados por material arenoso y limoso de color rojo, este miembro es bastante abundante y representa la generalidad de la formación. En las inmediaciones de Tezoatlán sobre estos conglomerados se observó una unidad de limolitas rojas con horizontes de yeso de 2 cm de espesor y espaciadas 20 cm, lo que representa la parte superior de la formación definida como lutitas rojas. -

Sin embargo, existen variaciones locales, una de ellas se manifiesta - en las cercanías de Santa Catarina Yutandú, donde se encontró un conglomerado rojizo constituido por clastos de calizas y de rocas volcánicas intermedias, similar a las expuestas en los alrededores de San Marcos Arteaga.

En el Río Salado, al poniente de Tezoatlán, se calcula un espesor aproximado de 200 m.

Relaciones estratigráficas: La Formación Huajuapán sobreyace a rocas - tanto paleozoicas como mesozoicas, representado por el contacto discordante manifiesto entre éstas, mientras que el superior, sólo en ocasiones está cubierta por rocas volcánicas y aluvión.

Edad y correlación: Por las características litológicas y sus relaciones con las formaciones subyacentes y suprayacentes, se le asigna una edad eocena-oligoceno, se correlaciona con la Formación Yanhuitlán que aflora en las inmediaciones del poblado del mismo nombre, con el Grupo Balsas de los estados de Morelos y Guerrero, con la Formación Tehuacán de la región de Petlalcingo y Tehuacán, Puebla y con el Conglomerado Rojo de Guanajuato. Algunos autores consideran que hay un cambio de facies entre la Formación Huajuapán y la Formación Yanhuitlán, otros las correlacionan o consideran que esta última descansa sobre la Formación Huajuapán. Es correlacionable además, con el Conglomerado Tamazulapan descrito por Ferrusquía en la región de Tamazulapan.

Ambiente de depósito: El ambiente de depósito de los conglomerados probablemente fue en abanicos aluviales, producto de una intensa actividad de una intensa actividad erosiva junto con un proceso rápido de levantamiento y que seguramente al final de este proceso, se desarro-

llaron cuencas lacustres donde se depositaron las primeras manifestaciones de vulcanismo.

#### Sistema Cuaternario

##### Depósitos aluviales

=====

Dichos depósitos se encuentran principalmente en depresiones, donde la red hidrográfica reduce su energía, formándose de esta manera una acumulación de guijarros de calizas y de rocas volcánicas, entremezclados en una matriz limo-arcilla y arenas, que se observan a lo largo de los Ríos Xatán, Salado y Mixteco y con mayor amplitud al poniente de Tonalá.

Por la similitud de estos depósitos con los reportados por Ferrusquía en el área de Coixtlahuaca y Nochixtlán así como en el Arroyo de Marcos Pérez, (localidades fuera del área de estudio) se les asigna una edad pleistocénica determinada por los fósiles: Equus sp., Bisón sp. y Elephas sp. encontrados por dicho autor.

El origen de estos depósitos se debe a la fuerte actividad erosiva desarrollada en una etapa post-terciaria y que se acumularon en forma de terrazas en los valles fluviales, mientras al pie de las montañas se tienen depósitos coluviales.

Además de los depósitos señalados, existe en el poblado de Yucufuti y en las laderas de los cerros situados al poniente, una zona donde se depositaron capas de caliche, como producto de la evaporación de aguas subterráneas enriquecidas con cal, que ascienden por efectos de acción capilar en rocas calcáreas.

#### Rocas Igneas

## A) Rocas ígneas intrusivas:

=====

En la región se presentan diferentes evidencias de actividades magnéticas intrusivas, emplazadas a distintas épocas: una durante el Precámbrico tardío representada por rocas graníticas que integran parte de lo que es el Complejo Basal Cristalino: otra durante el Paleozoico medio representada por intrusiones básicas, tonalíticas, dioríticas, graníticas, aplíticas y pegmatíticas, correspondientes a las unidades magmáticas que constituyen el Complejo Acatlán. Las rocas intrusivas producto de estas dos actividades fueron descritas en el desarrollo de los complejos mencionados ya respectivamente.

Una tercera actividad se lleva a cabo durante el Terciario (Oligoceno-Mioceno) de carácter hipabisal y representada por lacolitos, diques, sills y domos, de composición basalto-andesítica, tonalítica y en menor proporción riolítica; rocas que se describen a continuación:

Sobre el Arroyo Rosario, se observan dos diques emplazados en sedimentos de la Formación Teberna del Jurásico medio; el primero de ellos -- tiene un espesor de 80 cm y presenta una orientación NE 40° SW, es de aspecto arenoso por encontrarse carbonatizado y caolinitizado, por cual hace difícil analizar su composición, sin embargo, en lámina delgada muestra una textura porfídica de reliquia correspondiendo a una andesita muy alterada (EMM 115-1, Apéndice B). (Foto No. 12 Apéndice D). El otro dique posee una orientación NW 55° SE y un espesor de 80 m, clasificado como pórfido basáltico (EMM 114-5, Apéndice B), (Foto No. 13 Apéndice D).

En el camino que va a Tezoatlán a Yucuñuti afloran rocas que presentan variaciones texturales desde microdioritas (EMM-48-k, Apéndice B), y

dacitas a un pórfido tonalítico (EMM 71A, Apéndice B), que corresponden probablemente a una estructura concordante de tipo lacólito y cuyas unidades encajonantes son las formaciones Otatera y Yucuñuti. Muy cerca de dicha localidad, en los alrededores de los poblados de San Admés Yutarío, Yucuquimi y Yucuñuti se encuentran pequeños afloramientos donde se observan estructuras concordantes tipo sills entre rocas de la F. Caliza con Cidarids, cuya composición varía de andesita a dacitas (EMM-134, Apéndice B). En otra localidad y a un nivel estratigráfico superior, se encuentra otra manifestación de tipo intrusivo que se presenta en forma de sills; misma que fue observada en el Cañón de Tonalá y alrededores de San Vicente del Palmar, cuya composición es andesítica y basáltica (EMM-233-5. Apéndice B), respectivamente.

A 5 km al noroccidente de Tezoatlán se encuentra un cuerpo intrusivo de composición basáltica (EMM-46, Apéndice B), cuya expresión geomorfológica es de tipo cóncavo, con un diámetro de 3 km y se encuentra cubierto en parte por material volcánico terciario.

Por otro lado, cabe señalar que en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú, así como en el Anticlinal El Consuelo se observa un levantamiento que podría corresponder a una acción intrusiva terciaria ya que, aunque no afloran ampliamente rocas ígneas. En algunos de los sondeos reportados por Cortés Obregón, 1957 (op. cit.) localizados en el núcleo de ambas estructuras se presentan aspectos importantes que podrían evidenciarlo, como es el caso de: Los sondeos 1, 5, 10, 12 y 13, (Apéndice A), donde se reporta bajo la secuencia sedimentaria del Jurásico Inferior y Medio, rocas basálticas metasomatizadas, lutitas metasomatizadas, brechas cataclásticas y zonas arcillosas producto de metasomatismo; lo que puede interpretarse como una zona de alteración por el contacto de rocas in-

trusivas; tanto con las rocas mesozoicas como con rocas volcánicas anteriores al Jurásico medio. Dicha acción intrusiva produjo un levantamiento en el núcleo de las estructuras mencionadas, originando desplazamientos y zonas de debilidad por donde se emplazaron diques y cuellos volcánicos.

Un último evento intrusivo que correspondería al Terciario tardío se manifiesta al sur del poblado de Tezoatlán, en forma de pequeños domos distribuidos a lo largo de una línea con orientación NE y de composición riolítica, poseen también grandes vetas de cuarzo.

#### B) Rocas ígneas extrusivas

=====

La actividad ígnea extrusiva se manifiesta durante dos períodos diferentes y distantes en el tiempo geológico, al menos en la región estudiada:

El primero de ellos se atribuye a una actividad volcánica, posterior a la acción de la Orogenia Permo-Triásica; actividad volcánica que -- no llega a exceder los niveles del Jurásico inferior, dando origen a tobas y derrames andesítico-basálticos que constituyeron la base sobre la cual se depositaron las secuencias sedimentarias Jurásicas de la región de Diquiyú y el Consuelo.

La Formación Rosario (Toarciano-Aaleniano) contiene en sus diferentes unidades conglomerados constituidos por clastos de rocas volcánicas de composición andesítica muy similares a las rocas ígneas (EMM-112-3, 118A-2, 113-1, 113-3 Apéndice B), como se observa en el Arroyo Rosario a 1 km al NE del poblado del mismo nombre, lugar donde los conglomerados están en contacto transicional con un conglomerado cuarzoso de el Conglomerado Cualac y en aparente concordancia hacia la parte inferior

con rocas volcánicas muy alteradas de color verde y composición andesítica, con probable alteración hidrotermal debida a una acción intrusiva Terciaria (?) (EMM-118D-4, 118E-1, Apéndice B) (Foto No. 25 Apéndice D), haciendo posible que dicha formación posea un conglomerado basal -- constituido por fragmentos de rocas volcánicas.

Por otro lado, se encontraron rocas tobáceas en aparente interestratificación con estratos de la Formación Rosario que incluso se confunden por la seudoestratificación de las tobas y su crucero similar al de las lutitas; dichas rocas se clasificaron como tobas con ligero metamorfismo (EMM-112A-1, Apéndice B) (Foto No. 27, Apéndice D). De igual manera en el camino de San Juan Diquiyú a San Juan Viejo, al 1.5 km al sur del primer poblado, se observó un afloramiento de rocas muy alteradas, de color verde y morado, seudoestratificadas como tobas ignimbríticas con ligero metamorfismo y alteración hidrotermal (EMM-244A-2, 244A-4, Apéndice B) (Foto No. 26, Apéndice D).

Lo anterior se complementa con los análisis de los sondeos reportados por Cortés Obregón (op. cit.) particularmente en el No. 8, 13 y 12 localizados en el flanco oriental y núcleo del Anticlinorio Diquiyú los primeros y en el Anticlinal El Consuelo el último. Tales sondeos cortaron, bajo la secuencia sedimentaria de la Formación Rosario, rocas ígneas extrusivas de composición basáltica y tobas, algunas de las cuales se encuentran alteradas y afectadas por hidrotermalismo y metasomatismo producido probablemente por la acción intrusiva terciaria (Apéndice A, sondeos: 8, 12 y 13).

La segunda actividad volcánica en la zona se desarrolló en el Terciario superior (Mioceno-Pliceno) y está representada por dos fases de activi

dad volcánica, una primera de tipo explosivo de composición ácida e intermedia, constituida por ignimbritas y tobas asociadas; y otra posterior a la anterior, de composición básica e intermedia que depositó derrames lávicos. Su distribución es bastante amplia hacia la porción -- oriental de la hoja, llegando a cubrir un 40% del área total.

La primera fase en cuestión comprende un conjunto de rocas piroclásticas constituido por tobas arenosas de color rosa, pardo, verde y gris, con diferentes grados de consolidación, pseudoestratificados, con una expresión geomorfológica característica en forma de mesas y cantiles, (Foto No. 28, Apéndice D), así como rellenando pequeñas depresiones.

Estas rocas destacan particularmente en las zonas aledañas a los poblados de S. Huajolotitlán, S. Cacaloxtepec, S. Martín del Río, Sta. Catarina Yutandú, Sta. Cruz Numa y son de composición andesítica y riolítica coronadas generalmente por tobas soldadas, como se observa al W de Tezoatlán, (Foto No. 29, Apéndice D), así como por derrames lávicos. Estructuralmente guardan una posición relativamente horizontal e inclinada a causa de dislocaciones recientes leves o por pequeños basculamientos posteriores a su depósito. Son equivalentes a la fracción piroclástica de las "Capas Huajuapán" descritas por Salas, al "Miembro Tezoatlán" señalado por Erben, a los complejos piroclásticos Llano de Lobos y Cerro Verde descritos por Ferrusquía (1970) para el área de Tamaulapán-Yanhuitlán y correlacionable con la fracción piroclástica del Grupo Balsas.

Las rocas antes descritas, corresponden a depósitos volcánicos producidos por erupciones tipo nube ardiente y tobas asociadas, que se acumularon en un medio acuático, ya que presentan aspecto arenoso selecccio-



nado, seudoestratificación e incluso estratificación cruzada. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad Mioceno. (Foto No. 30, Apéndice D).

La segunda fase de actividad magnética extrusiva corresponde a una serie de derrames de composición andesítico-basáltico que forman las cadenas montañosas más altas de la zona, especialmente en la parte suroriental de la hoja. Presentan relieves abruptos y una expresión estructural de bloques masivos horizontales ramificados y muy fracturados. La litología comprende esencialmente a andesitas, andesitas basálticas y en menor proporción basaltos y dacitas (EMM-15, 27, 243A, 242, 219, 235, Apéndice C), (Foto No. 31, Apéndice D).

Generalmente estas rocas coronan la secuencia estratigráfica de la zona y pertenecen por posición estratigráfica al Plioceno, Terciario superior.

Son equivalentes al "Miembro intermedio básico" que describe Ruíz --- (1965) en el área de Mariscala y Amatitlán, a las Andesitas Yucudac y San Marcos que señala Ferrusquía V. (1970) en el área Tamazulapan-Yanhuitlán y se correlacionan con el Grupo Buenavista y la Andesita Zempoala del centro de México (Fries, 1960). Como se ha dicho, estas rocas corresponden a una segunda fase volcánica debido quizá a una diferenciación magnética y varios pulsos de erupción asociados a una inestabilidad en el Mioceno-Plioceno.

#### IV. TECTONICA

##### TECTONICA REGIONAL

Distintos movimientos diastróficos que han actuado desde épocas remotas hasta la actual, en la región NW del Estado de Oaxaca, son definibles gracias a las características mostradas por los diferentes tipos de rocas aflorantes, sus relaciones mutuas y sus orígenes muy variados, de cuyo análisis se puede decir que en la región actúan primeramente efectos de diastrofismo intenso que pliegan y metamorfizan sedimentos de un geosinclinal precámbrico, denominado Oaxaqueño, que pasó a formar la Faja Tectónica de Oaxaca, a causa de la llamada Orogenia Oaxaqueña del Precámbrico tardío (Greenvillana) y la Orogenia Herciniana que dió por resultado el fracturamiento en bloques de dirección NW 15° SE y su correspondiente NE 75° SW, observado en el Complejo Basal. La faja tectónica mencionada actúa como una faja positiva a lo largo de la costa del Pacífico, estando sujeta a un sinnúmero de eventos geológicos tales como plegamientos, emersiones, imersiones e intrusiones. Ordóñez (1906) considera esta enorme masa de rocas precámbricas como ". . . una banda cristalina fracturada y dislocada, cuyos bloques movíanse independientemente influyendo de una manera directa sobre la tectónica de rocas más recientes".

Las orogenias post-Greenvillanas y pre-Apalachianas (Taconica y Acadiana) también dejan sentir sus efectos que hacen aún más compleja la litología del basamento cristalino. Posteriormente, en el Paleozoico superior actúa la Orogenia Apalachiana que es responsable de la deformación del Complejo Acatlán; además provocan una emersión parcial del territorio Mixteco. Al respecto Cárdenas (1966), menciona ". . . que la región Mixteca Oaxaqueña durante el Triásico parece haberse mantenido como un

área continental, aparentemente sin sufrir invasiones marinas; de tal manera que la erosión llega a ser el proceso geológico dominante durante este período y parte del Jurásico inferior".

Probablemente durante el Triásico se forma un arco de islas al oriente de la Faja Tectónica de Oaxaca, que deposita rocas volcánicas extrusivas de composición basalto-andesítica; sobre las cuales se acumularon los sedimentos del Jurásico inferior y medio, que contienen fragmentos de las rocas volcánicas. Dicho arco insular puede correlacionarse con el mencionado en el modelo tectónico propuesto para el Mesozoico (Albiano) en el área de Guerrero, por M. F. Campa (1978); únicamente que para el área en estudio el desarrollo del arco se llevaría a cabo durante el Triásico superior-Jurásico inferior, de acuerdo con la formación de arcos magnéticos a lo largo de la trinchera mesoamericana y posterior al inicio de la derivación al norte y norponiente de los continentes América del Norte y América del Sur respectivamente, con relación al continente Africano.

Testigos de este arco son los batolitos presentes en la Sierra Madre Occidental, las rocas volcánicas interestratificadas con depósitos continentales y marinos de la región de Guerrero, y podrían ser también las tobas e ignimbritas que cubren con discordancia a la Formación Los Arcos y que Corona-Esquivel (1981-83, pág. 80) denomina Ignimbrita Las Lluvias, la presencia de fragmentos de rocas volcánicas en la secuencia mixta del Jurásico, y probablemente la existencia del Complejo Xolapa. El modelo de tectónica de placas es perfectamente aplicable para la explicación de estos fenómenos y los que posteriormente acaecieron en la Mixteca Oaxaqueña.

Durante el Jurásico se dejan sentir las primeras pulsaciones de los dis-

turbios Nevadianos, que inciden en un período inestable de los mares jurásicos, mismos que se estabilizan en el Batoniano superior; mientras que en el Hauteriviano provocan el levantamiento de las cuencas jurásicas, se interrumpe la sedimentación marina y se forma definitivamente una gran plataforma caracterizada por la formación de ambientes evaporíticos y el crecimiento de zonas arrecifales borderas.

La presencia de carbonatos sobreyaciendo al Complejo Basal cristalino en la región de Puerto Angel, hace suponer que existió una gran invasión marina durante el Cretácico medio que llegó a unir los mares Atlántico y Pacífico. Cárdenas (1966, p. 93) dice al respecto ". . . los restos erosionados de calizas cretácicas encontrados yaciendo discordantemente sobre el Complejo Basal, indican que aún estas grandes masas de rocas cristalinas descendieron de nivel hasta permitir la gran transgresión del Cretácico superior".

A fines del Cretácico superior y principios del Terciario, se manifiestan los esfuerzos de la Orogenia Laramide que producen plegamiento intenso, dislocaciones compresivas y distensivas en sedimentos mesozoicos; principalmente de la formación Teposcolula debido al despegue horizontal sobre el "colchón" evaporítico subyacente (Formación San Juan Teita), mientras que las rocas pegadas al basamento sufrieron menor deformación. Los esfuerzos compresivos y distensivos responsables de las principales características estructurales y tectónicas actualmente presentes en la Mixteca Oaxaqueña provienen de la interacción entre la Placa de Cocos y la Placa Americana, debajo de la cual subside la primera, generándose así un sistema de esfuerzos con dirección WSW-ENE, dado que las orientaciones principales del plegamiento son NNW-SSE.

La fase distensiva de la Orogenia Laramide produjo un modelo tectónico

de pilares, fosas y bloques inclinados, limitados por fallas normales que adquieren una orientación NNW-SSE. Modelo sobre el cual se depositó material proveniente de la gran actividad volcánica extrusiva del Mioceno-Plioceno; misma que encontró camino a la superficie por las fallas que limitaban bloques. Las rocas así formadas provienen probablemente de un magma toleítico originado a profundidad por los movimientos convergentes de interacción entre la placa americana y la de Cocos y la fusión de esta última.

Actualmente el área en estudio es considerada como una zona de alta sismicidad, en la que están modificándose constantemente los procesos geológicos actuales; ya que se tienen reportados sismos de magnitud considerable entre los cuales destaca el ocurrido el 19 de julio de 1881 ( $m_b$  7.0) y el ocurrido casi 100 años después, el 24 de octubre de 1980 ( $m_b = 7.0$ ). Definitivamente, dichos sismos han dejado evidencias superficiales, tales como la disección de depósitos continentales y las direcciones que toman los arroyos cuando corren por estos materiales, a través de zonas de debilidad neotectónica.

## ESTRUCTURAS

### Estructura Regional

La interpretación de imágenes de satélite y los datos obtenidos en los levantamientos de campo, así como los tomados de los distintos estudios realizados en la región, permiten definir las características estructurales que a continuación se exponen:

Las rocas metamórficas precámbricas que constituyen el basamento presentan un rumbo general de la foliación NE  $0^\circ - 30^\circ$  SW y un sistema principal de fracturamiento NNW-SSE, mismo que limita la actual distribución entre estas rocas y las que le precedieron en el tiempo geológico.

co; tal y como se observa en el Cañón de Tomellin (ver Plano No. 2). El Complejo Acatlán posee un dominio tectónico caracterizado por la orientación NNW-SSE de ciertas masas aisladas de su conjunto y bordeadas por sedimentos jurásicos y cretácicos, así como por rocas volcánicas terciarias.

En general, las rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas forman cadenas montañosas orientadas N-S; cadenas que permiten delimitar una depresión irregular, restringida en su sector más austral, en la que se acumularon sedimentos continentales y marinos bajo condiciones muy variadas (Cuenca de Tlaxiaco).

Las rocas mesozoicas presentan mayor deformación plástica que las rocas del basamento pre-mesozoico, debido fundamentalmente a la diferencia en constitución y competencia existente entre éstas, así como a la presencia de facies evaporíticas (Kisjt) que propiciaron planos de despegue entre la carpeta detrítica del Jurásico y la carbonatada del Cretácico medio. También se observa que las estructuras plegadas son más apretadas cuando se presentan en las rocas carbonatadas del Cretácico que cuando lo hacen en sedimentos jurásicos.

Entre las principales estructuras plegadas se encuentran el Anticlinorio de Diquiyú, estructura que posee una longitud aproximada de 30 km por 20 km de ancho y en su núcleo afloran sedimentos del Jurásico inferior, rocas volcánicas prejurásicas y terciarias. El flanco occidental del Anticlinorio muestra una serie de pliegues cerrados, simétricos y fallados, en cuyos ejes se observan rocas carbonatadas del Cretácico medio, mientras que el flanco oriental en su mayoría está cubierto por depósitos volcánicos terciarios. La orientación general del eje es NW-SE, el cual se arquea en el extremo boreal por encontrarse plegado

contra el Complejo Acatlán; ya que los pliegues secundarios se observan obliterados y alabeados hacia el NW.

En el extremo inferior izquierdo del área estudiada, se presenta otra estructura denominada Anticlinal Mixtéco que aparenta ser una estructura de grandes dimensiones, encontrándose obstruida durante su prolongación al sur, llegando a alcanzar unos 30 km o más de largo por 10 km de ancho, su orientación general es NNW-SSE, alineándose entre dos cordilleras de rocas metamórficas que poseen la misma orientación. Otra estructura importante es la observada en la región de Teposcolula, la cual podría definirse también como un Anticlinorio orientado al NW 10° SE y dimensiones aproximadas de 30 km de largo por 8 km de ancho.

Otra característica regional es el modelo de Pilares y fosas desarrollado de poniente a oriente, es decir, poseen una orientación regional N-S; cuyo límite al oriente está marcado por la gran falla de dirección NNW-SSE que forma el famoso Cañón de Tomellín y al poniente por los elementos metamórficos que se alinean con la trinchera Mesoamericana. Múltiples estructuras podrían ser definidas en la región NW del Estado de Oaxaca, mismas que permitirían analizar con mayor claridad la evolución tectónica de este sector de la República Mexicana; para lo cual es necesario se incrementen esfuerzos en esta parte del conocimiento científico.

#### Estructura Local

En cuanto a este aspecto, se hará referencia a las principales estructuras presentes dentro del área de estudio, como son pliegues, fallas y fracturas; algunas de las cuales fueron determinadas por interpretación fotogeológica y otras por comprobación directa de campo. A continuación se describen de poniente a oriente dichas estructuras.

### a) Pliegues

Anticlinal San Vicente. Se extiende desde el poblado de Garzón, pasando por San Vicente del Palmar, de donde toma su nombre, hasta Tonalá a través de 14 km de largo por 2 km de ancho. Tiene la característica de ser buzante al norte, simétrico y cuyo eje está orientado al NW 7°.

En el núcleo afloran rocas correspondientes a la Formación San Isidro del Cretácico Inferior. Entre el Anticlinal San Vicente y el Anticlinal Mixteco descrito en estructuras regionales (pág. ), se encuentra un sinclinal de 4.5 km de largo por 1.5 km de ancho, con plano axial orientado N-S y que abre en rocas de la Formación Teposcolula.

Sinclinal Tonalá. Alcanza las siguientes dimensiones: 12 km de largo por 2 km de ancho, es simétrico, su eje está orientado al NW 5° desviándose en su parte norte al NW 25°, por efectos de dislocamiento. Aflo-  
ran en su núcleo rocas de la Formación Teposcolula.

En la región de San J. Viejo-El Consuelo se presentan una serie de pliegues asimétricos muy dislocados, de dimensiones no mayores de 4 km de largo por 1 km de ancho cada uno, sus ejes se orientan generalmente al NNW y todos presentan en su núcleo rocas jurásicas.

Los pliegues antes mencionados corresponden al flanco occidental del Anticlinorio Diquiyú, el cual fue descrito con anterioridad (pág.

Sinclinal Tezoatlán.- Esta estructura pertenece al flanco oriental del Anticlinorio Diquiyú, posee una longitud de 14 km por 2 km de amplitud y una orientación NW 45°; es de tipo simétrico y abre en rocas de la Formación Teposcolula.

Entre la estructura anterior y el poblado de San Miguel Papalutla, en los límites del Complejo Acatlán, se encuentran pliegues anticlinales y sinclinales de entre 3 y 5 km de longitud, menores de 1 km de ancho,



orientados todos entre 30-40° al NW, son asimétricos y cerrados en cuyos núcleos afloran rocas del Grupo Sabinial. Esta zona se encuentra sumamente plegada debido a la plasticidad de las rocas y a la cercanía con el elemento metamórfico que actuó como contrafuerte en el momento de la deformación.

Entre Rancho Jesús y Rancho Solano, al W de Huajuapán de León, se encuentra un pliegue sinclinal, normal en el extremo sur y recostado hacia el norte. Posee una longitud de 6 km y 2 km de amplitud, con una orientación NW 27°, encontrándose dislocado por una falla en la mitad de su desarrollo y abre en rocas del Grupo Sabinial.

#### b) Fallas y Fracturas

Se describen de poniente a oriente, primeramente aquellas que tienen una orientación preferente dentro del rango NW 45°-N - NE 45°, designadas con letras mayúsculas y después se tratarán las principales de una serie de fallas transversales a las estructuras, comprendidas dentro del rango NE 45° - E - SE 45°, que aparecen en el plano geológico indicados con números arábigos (Plano No. 1).

F-A.- Falla de carácter regional de tipo normal, orientada 10° al NE, con una longitud de 100 km y que se prolonga aún más hacia el sur, fuera del área de estudio. Posee un salto aproximado de 150 m y forma hacia el poniente una depresión que se encuentra cubierta por rocas volcánicas y depósitos continentales terciarios.

F-B.- Falla de tipo normal de gran magnitud, que se extiende a lo largo de 26 km con una orientación NE 40°, de un salto de 150 m aproximado y forma una depresión hacia el poniente donde encuentra su salida el Río Mixteco. Al norte cambia el rumbo a NW 14°.

F-C.- Falla de tipo normal de 3.6 km de extensión y orientación N-S y

con un salto de 180 m. Pone en contacto a la Formación San Isidro del Cretácico inferior con la Formación Teposcolula del Cretácico medio.

F-D.- Falla de tipo inverso, sobre la cual rocas del Jurásico superior (Formación Yucuñuti) se sobreponen a rocas del Jurásico Medio (Formación Taberna), cuya magnitud de desplazamiento es aproximadamente 280 m. La traza del plano de falla alcanza los 5 km de largo y posee una orientación de NW 7°, cambiando en su extremo norte a NE 19°.

F-E.- Falla de tipo inverso, cuya traza está orientada al NW 9° y desplazada por una falla lateral al sur a NW 34° y tiene una longitud de 6.5 km y una magnitud de sobrecorrimiento de 200 m, poniendo en contacto rocas de la Formación Zorrillo sobre rocas del Grupo Consuelo. La zona de contacto está muy plegada y dislocada (e incluso milonitizada o argilizada?).

F-F.- Falla normal cuya longitud es de 4.2 km y orientada 17° al NW, con un salto de aproximadamente 75 m y aunque en la sección D-D' (Plano No. 1) se observa que la falla está dentro de rocas terciarias intrusivas (debido a un bloque caído de las rocas ígneas). Esta falla define un contacto tectónico entre rocas ígneas intrusivas del Terciario y rocas del Jurásico inferior.

F-G.- Falla de carácter regional de tipo normal con una longitud de 38 km, extendiéndose aún más hacia el sur, fuera de la hoja, pudiendo alcanzar 80 km. Está orientada 6° al NW en su parte sur y cambiando ligeramente a NW 19° hacia el norte. En la sección D-D' se observa que posee aproximadamente un salto de 150 m. Un hecho muy característico en esta estructura es que limita los macizos aflorantes de rocas metamórficas, formando el modelo tectónico de Pilares y Fosas, señalado en el capítulo de Tectónica.

## FALLAS TRANSVERSALES

F-1.- Falla de tipo normal con una longitud de 7.2 km y orientada  $37^\circ$  al NW en su parte norte y  $31^\circ$  al NW en su parte sur, con un salto de 150 m y afecta a rocas del Cretácico Inferior y medio.

F-2 y F-3.- Fallas de tipo normal de longitud aproximada de 6 a 7 km y orientación NW  $31^\circ$ - NW  $66^\circ$ , caracterizadas por limitar a rocas metamórficas del Complejo Acatlán y que forman un horst típico.

F-4.- Falla normal de 1.5 km de longitud y con una orientación de NE  $85^\circ$  y un salto aproximado de 70 m.

F-5.- Falla normal de 3.2 km de largo, orientada  $47^\circ$  al NW y un salto de 100 m aproximadamente. Junto con lo anteriormente descrito, forma un graben pequeño dentro de formaciones del Grupo Tecocoyunca, del Jurásico medio-superior.

F-6.- Falla de corrimiento lateral "sinixstral" de 4.9 km de longitud, orientada  $63^\circ$  al NE cortando y afectando a la falla F-D y a la estructura presente ahí que es un anticlinal. Las rocas afectadas pertenecen al Grupo Tecocoyunca.

F-7 y F-8.- Al oriente del poblado San Andrés Yutatío se encuentran estas fallas de tipo normal, las cuales se cruzan y afectan a rocas de las formaciones Taberna y Zorrillo, e interrumpen la disposición normal del núcleo del Anticlinorio Diquiyú. Poseen una orientación, la primera NE  $55^\circ$  variando a NE  $37^\circ$  y la segunda NW  $67^\circ$  con 2.6 km de longitud aproximada las dos.

F-9.- Localizada al oriente de Santa María Yucufuti de tipo normal, con una longitud de 4 km y orientada al NW  $70^\circ$  primero, y luego cambia un poco a NW  $58^\circ$ . Posee un salto de 60 m. Afecta a rocas del Grupo Tecocoyunca del Jurásico superior y a rocas intrusivas terciarias.

F-10.- Falla de corrimiento lateral de 3.7 km de longitud y orientada al NW 82° aproximadamente. Afecta a rocas de la Formación Teposcolula del Cretácico medio, desplazando el eje del Sinclinal Tonalá, 400 m.

F-11.- Falla de tipo normal con una longitud de 5.8 km y orientada 70° al NW, posee un salto de 150 m afectando a rocas jurásicas y cretácicas.

F-12.- Falla de tipo normal, de características regionales, ya que limita a rocas metamórficas del Complejo Acatlán, con una longitud de 17 km y orientación variable de NW 69° a NE 66° y forma un horst con las rocas del Jurásico superior.

FALLA RIO SALADO.- Falla de corrimiento lateral sinistral de 17 km de longitud y orientación NW 60°.

FALLA SAN MARCOS.- Falla de corrimiento lateral dextral de 15 km de longitud y orientación NW 60°.

Por otra parte, se elaboró sobre un plano escala 1:50,000, una carta de frecuencia y densidad de fracturas en un área de 280 km<sup>2</sup>, de tal suerte que al hacer una cuadrícula de 9 km<sup>2</sup> (cada unidad) se presenta una variación en la cuantificación de menos de 9 hasta 33 fracturas, con densidades de 1 y 4 fracturas por km<sup>2</sup>, respectivamente (Plano No. 5).

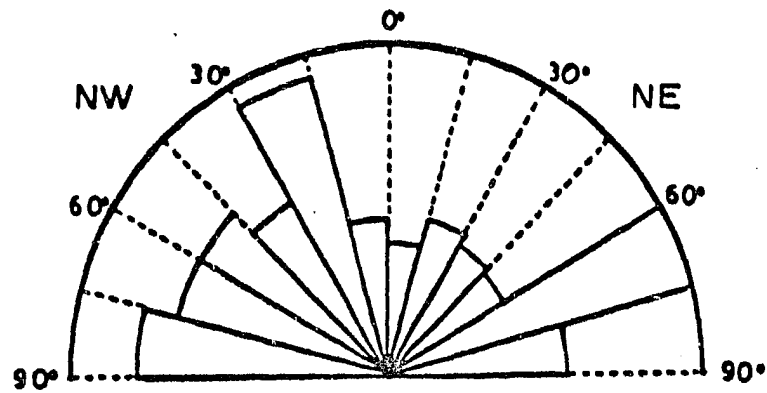
Al analizar la carta de frecuencia y fracturas, se destaca una anomalía muy importante al oeste del poblado Tezoatlán, donde existen valores desde 24 hasta 37 fracturas en 9 km<sup>2</sup>. Otra anomalía de segunda importancia se encuentra al sur, entre los poblados de Rosario Nuevo y San Diquiyú con valores de 27 fracturas en 9 km<sup>2</sup>. Esto nos indica que esta área está muy fracturada y dislocada.

La anterior cuantificación manifiesta dos sistemas de orientación preferente:

- 1) En dirección NW  $20^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  SE y NE  $40^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  SW
- 2) En dirección NW  $55^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  SE y NE  $15^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  SW
- 3) En dirección NW  $0$  -  $10^{\circ}$  SE y NE  $80^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  SW

Se complementa con unos diagramas de frecuencia de orientación de fracturas hecho por los Ing. Cárdenas y Solís (1966, pág. 97) en un área cercana dentro de la misma Mixteca Oaxaqueña y que sigue un comportamiento regional característico (Fig. No. 7).

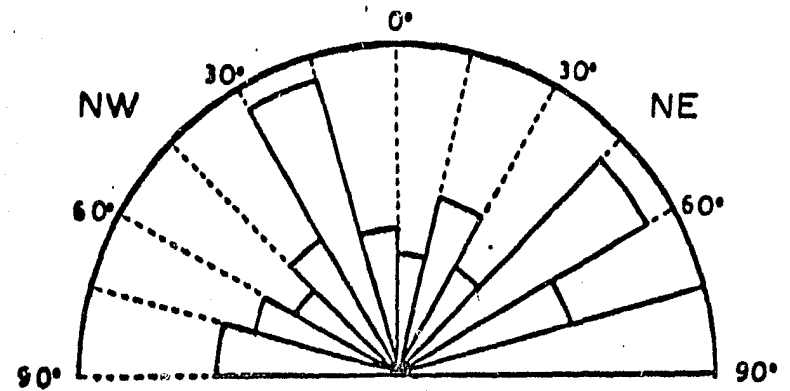
A un nivel muy local se elaboraron también rosetas de fracturas de 3 anomalías y específicas, tomando lecturas en un número de 100 en cada una de las anomalías. Después serán analizadas éstas y descritas en el capítulo de Exploración de Minerales Radiactivos (Plano No. 5, Fig. B, C y D).



**ROCAS DEL COMPLEJO BASAL  
METAMORFICO**

FRACTURAS CONSIDERADAS: 385, SUPERFICIE 1932 Km<sup>2</sup>

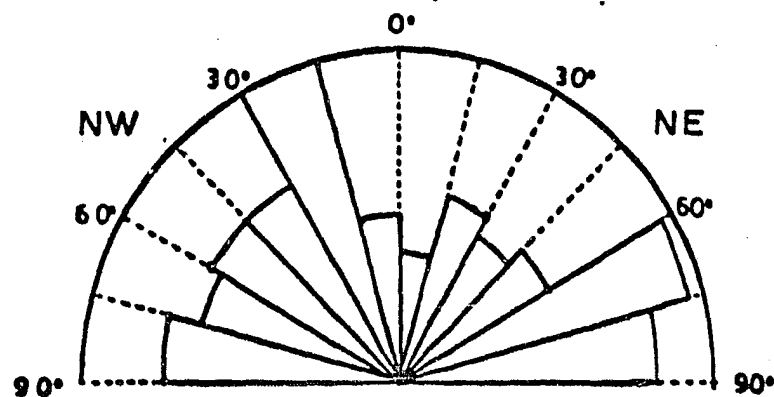
DENSIDAD: 0.2 FRACT./Km<sup>2</sup>



**ROCAS MESOZOICAS**

FRACTURAS CONSIDERADAS: 78, SUPERFICIE: 730 Km<sup>2</sup>

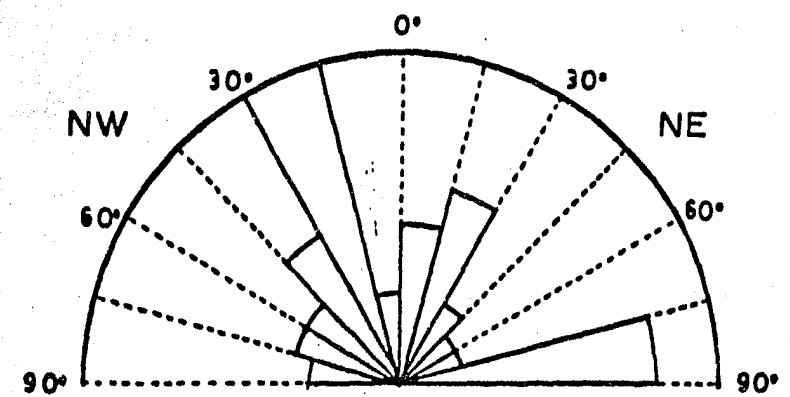
DENSIDAD: 0.10 FRACT./Km<sup>2</sup>



**DIAGRAMA GENERAL**

FRACTURAS CONSIDERADAS: 626, SUPERFICIE: 3150 Km<sup>2</sup>

DENSIDAD: 0.2 FRACT. / Km<sup>2</sup>



**ROCAS DE LA FORMACION HUAJUAPAN  
(Terc. — Cuat.)**

FRACTURAS CONSIDERADAS: 80, SUPERFICIE: 243 Km<sup>2</sup>

DENSIDAD: 0.33 FRACT./Km<sup>2</sup>

**FIG. N° 7 DIAGRAMAS DE FRECUENCIA DE ORIENTACION DE FRACTURAS EN LA MIXTECA  
OAXAQUEÑA (por los lngs. J. CARDENAS y J. SOLIS) (1966)**

#### IV. 4 Geología Histórica.

Al describir la Geología Histórica de la región, se toma en cuenta fundamentalmente el efecto de los acontecimientos de las diferentes Orogenias que junto con la Topografía Precámbrica y Paleozoica existentes, han influido y dominado la Paleogeografía en esta parte de México, desde el Paleozoico hasta el Terciario.

Las rocas más antiguas presentes en el área, corresponden al Complejo Basal o Basamento Regional, cuya estructura es muy compleja y dada su abundancia así como la intensidad del metamorfismo por el que fueron afectadas; se les considera alojadas en una faja estructural de intensa actividad orogénica que bien pudo corresponder a un geosinclinal precámbrico, en el que debieron generarse complicados procesos petrogenéticos (anatexis, además del gradiente geotérmico), que originaron la formación de esta gran masa de rocas cristalinas metamórficas asignadas al Precámbrico. Fries (1962 y 1965) basándose en determinaciones radiométricas de minerales de algunas pegmatitas presentes en rocas del basamento en el Estado de Oaxaca, concluye que la formación de dichas pegmatitas tuvo lugar en una época entre 1000 y 1200 millones de años antes del presente y que el metamorfismo de las rocas cortadas por ellas es definitivamente de edad precámbrica; por tanto, Fries propone determinar o denominar a esta etapa de metamorfismo regional junto con una actividad ígnea asociada, como "Orogenia Oaxaqueña" (Precámbrico superior) que equivale en edad a la Orogenia Greenvillana del oriente de Canadá y a la Orogenia-Kootenay del noroeste de norteamérica; sin descartar que posteriormente hayan sido también afectadas por otras facies de metamorfismo correspondientes a Orogenias Preapalachianas.

La formación de cuencas marinas durante el Paleozoico inferior, permitió el depósito de rocas sedimentarias marinas y de detritos provenientes de la erosión del basamento, dando origen a la secuencia eugeosinclinal paleozoica que luego fue deformada y metamorfoseada en tiempos Pre-misisípicos por los equivalentes tanto de la Orogenia Tacónica del Ordovícico, como de la Acadiana del Devónico, además de los intrusivos asociados a estos eventos (Granitoides Esperanza, Tronco de Totoltepec, Diques San Miguel), todo lo cual constituye el Complejo Acatlán. Cárdenas (op. cit. 1965) menciona una localidad de sedimentos paleozoicos, hacia el sur en el Istmo de Tehuantepec, los que descansan sobre el Complejo Basal y están constituidos por rocas de facies clásticas y marinas metamorfoseadas por la Revolución Apalachiana de fines del Paleozoico (metasedimentarias de Weber y Ojeda, 1957). Otra evidencia de la sedimentación paleozoica, se encuentra en la zona de Nochixtlán -- donde afloran rocas calcáreo-arcillosas con trilobitas de la Formación Tiñú. Posteriormente y para el Paleozoico medio, la región permanece emergida durante algún tiempo hasta que en el Paleozoico superior volvieron a establecerse las condiciones sedimentarias apropiadas para el advenimiento y las rocas que después del metamorfismo forman la parte superior del Complejo Acatlán y de rocas calcáreo-arcillosas, arenarcillosas y clásticas correspondientes a las Formaciones Santiago, Ixtaltepec y Yododeñe respectivamente, y que afloran en el área de Nochixtlán.

Ante lo expuesto, es importante señalar que las rocas sedimentarias paleozoicas no metamorfoseadas ó ligeramente metamorfoseadas, se preservaron y resistieron las diferentes deformaciones y esfuerzos, ya que su depósito se desarrolló a nivel local en fosas tectónicas originadas seguramente



te por movimientos distensivos en el Precámbrico tardío y Paleozoico temprano.

A fines del Pérmico ocurre una interrupción en la secuencia sedimentaria y un levantamiento general, por consiguiente la región queda expuesta a una continua acción de los procesos de dinámica externa, que prevalecen durante varios períodos diastróficos en el intervalo de tiempo Triásico. (A) Sin embargo, en Olinalá - Tecocoyunca, Estado de Guerrero Corona-Esquivel (1981-83, pág. 17-20) propone la Formación Los Arcos para designar a una secuencia sedimentaria marina y litoral cuya edad es pérmica; lo cual podría corresponder a un depósito, en condiciones tectónicas de rápida subsidencia, Corona-Esquivel (op. cit. pág. 23).

Según Salas (op. cit. 1949) durante el Triásico, se lleva a cabo una actividad orogénica que en el Estado de Oaxaca originó una emersión parcial del continente en forma de isla o península, la cual permaneció así en parte durante la invasión marina del Cárnico (Triásico superior) que afectó a la porción central del país.

En este tiempo y probablemente asociada a la Orogenia Palizada, se desarrolla una actividad ígnea en la zona marginal sur de México, que pudo manifestarse en forma de arco insular (rocas volcánicas pre-toarcianas).

Los movimientos orogénicos de fines del Triásico que se manifestaron en gran parte del país, originaron algunos levantamientos y depresiones o cuencas someras, donde se acumularon gran cantidad de sedimentos continentales y detríticos que contienen plantas y carbón que corresponden al Jurásico inferior y medio (Liásico-Dogger) en los Estados de Oaxaca

y Guerrero (Grupo Consuelo, tabla estratigráfica, Tabla No. 1), de tal manera que la erosión llega a ser el proceso geológico dominante durante el Triásico y aún en el Jurásico inferior, manteniéndose la región emergida.

Durante el Jurásico medio el mar penetra en las depresiones existentes, donde después de ligeras oscilaciones se depositaron en un ambiente mixto: sedimentos marinos y continentales (rocas de zonas marginales, Gpo. Tecocoyunda, tabla estratigráfica, Tabla No. 1), los cuales corresponden a un período inestable de los mares Jurásico que no cubren grandes extensiones sino hasta el Bathoniano tardío y principios del Jurásico superior; época, esta última, en que cambian en su distribución y se sucede una transgresión en el Oxfordiano. Esta invasión del mar sobre el continente se realiza según una faja longitudinal de dirección NW-SE, de la cual la cuenca de Oaxaca constituye un apófisis en su parte más austral, (Cárdenas, 1966).

Tomando en cuenta lo anterior y el hecho de que en unas localidades -- (Tonalá, Papalutla) se encuentran presentes rocas de los últimos pisos del Jurásico y primeros del Cretácico, mientras en otras localidades -- están ausentes; hace suponer que durante esta época se presentaron -- nuevamente condiciones inestables en la sedimentación, a causa de los disturbios Navadianos que originaron una transgresión no continua, junto con una corta fase regresiva o estacionaria de la línea costera, -- además de una topografía irregular. Estos hechos permitieron el desarrollo de pequeñas subcuencas con una consecuente sedimentación heterogénea en cuanto a las variaciones litológicas y diferencia de espesores en las unidades representativas de ambiente somero (aguas tranquilas, baja energía) y mixto con aporte de restos vegetales (Grupo Sabi-

nal), para que posteriormente se definieran bien las condiciones continentales representadas por el depósito de conglomerados y areniscas de la Formación San Isidro. Como resultado de la intensa erosión a la que estuvieron expuestas las zonas levantadas por las pulsaciones de la Orogenia Nevadiana en el Cretácico inferior, se presenta la discordancia entre el Grupo Sabinal y la Formación San Isidro y la discordancia angular señalada por Birkinbine (1911, in Cárdenas 1966, pág. 103), en la zona de Tezoatlán, donde rocas del Cretácico medio descansan discordantes sobre rocas jurásicas.

Al final del Cretácico inferior se estabiliza la región y permite la conformación de una plataforma marina para el Cretácico medio y superior; ésta se inicia con el desarrollo de facies lagunares (depósito de yeso y evaporitas, Formación San Juan Teita). Posteriormente se manifiesta de forma más clara con la formación de zonas de alta y baja energía y consecuentemente del depósito de calizas arrecifales y de plataforma que corresponden en el área a la Formación Teposcocula (Cañón de Tonalá).

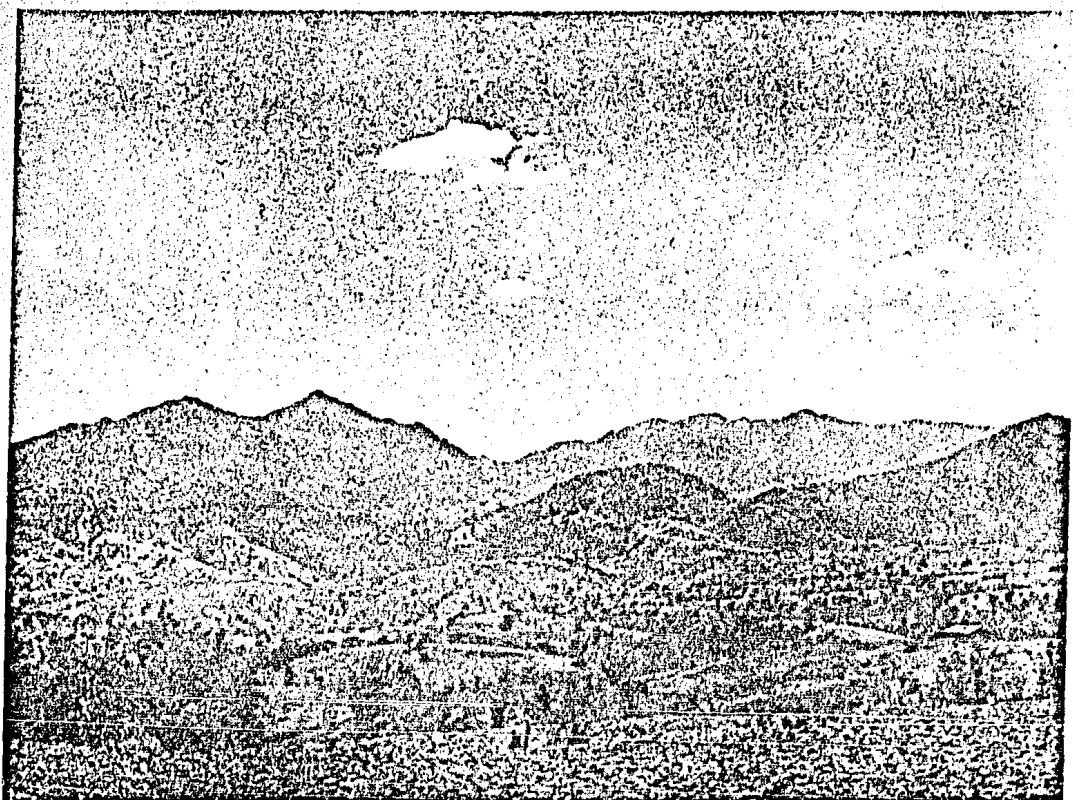
Posteriormente en el Cretácico superior los mares se extendieron, rebasando los límites de los anteriores y cubren la cuenca sedimentaria de Oaxaca. Aunque en el área de estudio no afloran rocas de esta edad, debido a la erosión, en localidades cercanas como Petlalcingo y Tlaxiaco si afloran y son indicativas de un avance de los mares, que incluso y como lo menciona López Ramos, (op. cit. 1983) cubrieron a las grandes masas cristalinas del Complejo Basal, ya que se han localizado restos erosionados de calizas cretácicas yaciendo discordantemente sobre el Complejo Basal.

A fines del Cretácico y principios del Terciario, se inició nuevamente la elevación del continente a consecuencia de los efectos de la Revolución Laramide; este fenómeno dio como resultado la separación de los Océanos Pacífico y Atlántico, cuya conexión en épocas anteriores parece quedar demostrada por la presencia de calizas sobre la costa de Oaxaca, (Schumacher, 1931, in López Ramos, 1983 pág. 103).

A continuación y como resultado de los disturbios de la Orogenia Laramide, las rocas pre-cenozoicas se levantan, pliegues y fallan de tal manera que el relieve así producido, fue atacado fuertemente por los agentes erosivos; con lo cual se inició una activa depositación de sedimentos clásticos (Mbo. inferior de la Formación Huajuapán) y de rocas piroclásticas en valles intermontanos y fosas tectónicas como resultado de la distensión post-orogénica, que facilitó el asolve de los sedimentos mencionados al concluir el tectonismo, (Paleoceno, Eoceno). Luego, a fines del Oligoceno y principios del Mioceno, sobreviene una intensa actividad volcánica que afecta a la región y deja como evidencias los depósitos de tobas, potentes cuerpos de rocas piroclásticas, derrames andesíticos y cuerpos intrusivos; mientras tanto se forman localmente depósitos de calizas lacustres pedernalosas de la Formación Chilapa (fines del Mioceno).

La actividad volcánica que culmina en el Terciario superior rejuvenece fisiográficamente la región que así queda expuesta de nueva cuenta a la acción erosiva durante el Cuaternario y sus consecuentes depósitos hasta producir el relieve actual.

V.- GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL



## V.- GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL

### V.1.- Características Generales del Relieve:

El relieve de la zona en estudio, presenta una asociación compleja de formas, que incluyen cadenas montañosas y descripciones de diverso origen. A la vez, en ambas son comunes los valles fluviales erosivos y acumulativos, las elevaciones plegadas, formas volcánicas, así como disyuntivas con clara expresión en la superficie. Con base en la morfología general de la zona, así como de la geología, fue posible clasificar el relieve para su estudio en las formas que se describen a continuación:

Cadenas Montañosas. Estas formas del relieve se encontraron principalmente en la parte sur del área estudiada y generalmente son alargadas con una orientación N-S y NW-SE, regidas por las estructuras geológicas como anticlinales y sinclinales en el caso de rocas sedimentarias, estructuras de bloques horizontales masivos en las rocas ígneas y elevaciones amplias, prominentes e irregulares en las rocas metamórficas; todo esto bajo un patrón estructural de fallas y fracturas en dirección NNW-SSE.

Las elevaciones absolutas de estas cadenas montañosas son entre los -- 2500 y 3500 m.s.n.m., con elevaciones relativas de 500 y 700 y en algunos casos sobrepasando los 800 m, aproximadamente; como por ejemplo al sur de Santa Catarina Yutandú y en el SE del plano, (plano No. 3), -- cerca de los poblados de Monteverde y Nicananduta. Las pendientes de las cadenas montañosas son variables, normalmente son del orden de -- 20°, pero en su mayoría abruptas de más de 40°. Esto se aprecia en una topografía irregular y escarpada.

Depresiones. Se reconoce una forma de este tipo, misma que destaca en la zona y que se aprecia claramente en un plano altimétrico con intervalos de curvas de nivel de 250 m. Está ubicada en el centro de la hoja y se denominó Depresión de Tezoatlán; se extiende desde Huajuapán de León, comprendiendo los poblados de Cacaloxtepec y Yodohino, hacia el occidente el poblado de Santo Domingo Tonalá, donde comunica la depresión con el Cañón de Tonalá (es decir, en este cañón es donde encuentra su salida el drenaje a través de la corriente principal, el Río Mixteco). Las alturas absolutas de esta gran depresión son entre 1200 y 1250 m.s.n.m. en Tonalá y de 1500 m.s.n.m. en Tezoatlán, (estas alturas constituyen las más bajas del área). En cuanto a las dimensiones aproximadamente tiene 25 Km, de longitud por 20 Km, de amplitud.

También esta forma del relieve está regida por un fallamiento regional, escalonado, con dirección NW-SE que se aprecia muy bien en la imagen de satélite; a nivel local, igualmente se aprecia este patrón estructural con fallas normales y de rumbo (estas últimas con orientación NW-SE 60° dispuestas paralelamente, algunas de ellas).

Es importante señalar que dentro de la Depresión de Tezoatlán existen pequeñas formas del relieve que consisten en mesas, producto de acumulaciones volcánicas, que por erosión diferencial tienen esta expresión geomórfica; se caracterizan por estar coronadas por rocas más resistentes (ignimbritas y tobas líticas) lo cual por la acción de la erosión origina una expresión del relieve en forma de escalones. (Foto No. 28 y 29, Apéndice D). En sí destacan como pequeños lomeríos y sus pendientes son suaves con partes escarpadas en los cortes donde ha actuado la erosión y se han producido dislocaciones.

Formas de erosión y acumulación. Las formas originadas por los procesos erosivos y acumulativos son parte integrante de las cadenas montañosas y de las depresiones. Entre las erosivas se reconocen principalmente los valles fluviales en forma de "V", presentes en las cadenas montañosas; en forma de "U" en las depresiones, y por otro lado, en las zonas de pendiente fuerte, donde la erosión ha sido complementada por procesos gravitacionales.

Las zonas de acumulación se encuentran en la Depresión de Tezoatlán, donde la red hidrográfica reduce su energía y se forman terrazas aluviales, mientras al pie de las cadenas montañosas se tienen procesos acumulativos como lo son los depósitos coluviales.

Otras formas del relieve. Existen otras formas del relieve que se manifiestan excepcionalmente, como los escarpes de la secuencia calcárea del Cretácico y de la secuencia volcánica Terciaria. Estos escarpes se formaron por efecto de grandes dislocaciones en dirección N-S, tanto fallas y fracturas como plegamientos cerrados; ejemplo de éstos es, en el Cañón de Tonalá (Foto No. 23, Apéndice D) y los escarpes de Tindú y San Juan Viejo, para las rocas sedimentarias; y los que forman por erosión diferencial en la zona de Montevérde y Nicananduta, para las rocas ígneas.

#### V. 2. Formas Plicativas:

Estas formas comprenden a las estructuras plegadas; anticlinales y sinclinales, característica de las rocas sedimentarias que en el área en estudio corresponden a rocas mesozoicas (jurásico-cretácicas). Las formas plicativas se presentan en el relieve como cadenas alineadas en -- una dirección N-S, desviadas ligeramente al NW; sus ejes longitudinales tienen extensiones de 7 a 30 Km. (estas medidas se refieren sólo



al área trabajada, ya que hacia el sur se prolongan las estructuras) el eje transversal tiene una amplitud de 1,5 a 3,5 Km. Se observa que los pliegues están un poco más cerrados hacia el sur de la hoja, los restantes son más abiertos. Además, estas estructuras geológicas tienen no sólo una expresión en el relieve de cadenas montañosas sino, en forma de depresión en la porción norte-central del área. Asimismo, se observa que la mayoría de los anticlinales son inversos (topografía invertida) debido al grado de fracturas mayor en las crestas de estos pliegues y la consiguiente acción de la erosión; los sinclinales en cambio, por lo general son directos y sólo donde están apretados presentan topografía invertida (inversos).

### V. 3. Formas Disyuntivas:

La expresión en la superficie de las grandes rupturas de las rocas, se manifiesta a través de una serie de lineamientos que corresponden a fallas y fracturas. Destaca un sistema principal con dirección N-S desviado un tanto al NW, y es característico en esta zona meridional de México; el otro sistema es en dirección NE, con desviación al E y es aproximadamente perpendicular al anterior. Muchos de estos lineamientos poseen características que los hacen distinguibles en el campo, en el plano topográfico y en las fotografías aéreas e imagen de satélite. Algunos de ellos están bien marcados por importantes ríos y arroyos de la región, (Ríos: Mixteco, Nápoles, Salado, San Martín) otros están representados por la brusquedad del contraste topográfico, delimitando depresiones y cadenas montañosas, (como al SW del poblado de Sto. Domingo Tonalá, donde la topografía cambia en forma brusca -- por la presencia de una gran falla). Las fallas y fracturas son muy notorias a nivel regional y a nivel local, lo que permitió distinguir

las en la imagen satélite escala 1:500,000 y en las fotografías aéreas escala, 1:50,000. Con base en todo ésto se elaboró una carta de bloques, tomando en cuenta fracturas principales, fracturas secundarias y elevaciones de los bloques que quedan delimitados con base en alturas absolutas, (Plano No. 3).

La escala 1:50,000 del plano permitió establecer una serie de bloques, o sea porciones de la corteza superior delimitadas por fracturas y fallas. Esta carta es ampliación de una original 1:100,000, por lo que no es una topografía de mucho detalle, ya que los intervalos entre curvas de nivel se encuentran cada 50 m; para el relieve montañoso es un buen intervalo pero no lo es tanto para las regiones intermedias y las depresiones.

Las fracturas principales que limitan bloques consisten, como ya se ha mencionado, de un sistema NNW-SSE y su correspondiente a 90° en dirección hacia el ENE, de tal suerte que los bloques que se han distinguido son los siguientes, en orden ascendente de acuerdo a las elevaciones absolutas:

1. El bloque más bajo en cuanto a elevación absoluta es el situado en la porción centro-occidental y sur-occidental de la hoja, en el área de Sto. Domingo Tonalá y al oeste de S. T. Zaragoza. Tiene 1,500 m, de altura absoluta.

2. El siguiente bloque es de 1,750 m, se encuentra en Huajuapán de León y Tezoatlán en el centro de la hoja, en San Pedro y Santiago Cacaloxtotec, San Marcos.

3. El tercer bloque que se distingue alcanza los 2450 m y tiene una amplia representación al NW y SW de la hoja; en el área de Santiago Huajolotitlán, Yodohino, Concepción de Porfirio Díaz.

-. Después se tiene el bloque que posee una altura absoluta de 2,650 m en la porción central-sur de la hoja; en San Juan Diquiyú y Sta. Catarina Yutandú.

-. Por último está el bloque más alto con una altura absoluta de 3250 m, se encuentra en la porción sur-oriental.

Algunas observaciones que se pueden hacer al analizar esta carta de -- bloque son:

Se distingue que la ciudad de Huajuapán de León está situada en un graben orientado al NW y delimitado al W y al E por bloques más elevados constituidos por rocas metamórficas e ígneas volcánicas respectivamente. Otra observación es que existe un gran contraste de bloques en la falla que pasa por Yucufuti donde se presenta un desnivel, tomando en cuenta las alturas absolutas de los bloques, este desnivel sería de -- aproximadamente 1,000 m.

También se observa que muchas dislocaciones forman valles fluviales -- muy cerrados originando cañones profundos, por otro lado se observan igualmente valles abiertos en donde incluso existen zonas de acumulación (Río Salado); lo anterior está en función de la litología y por tanto de la resistencia a la erosión de los diferentes tipos de rocas.

#### V, 4. Formas Intrusivas:

Aún cuando son escasas no dejan de ser muy importantes; La más significativa, no sólo por su tamaño sino también por el hecho de hallarse en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú y todo lo que esto representa es estructuralmente. Este intrusivo se encuentra entre los poblados de Rosario Nuevo, San Juan Diquiyú y Sta. Catarina Yutandú, comprendiendo la -- porción sur-central de la hoja. Tiene una expresión en el relieve de -- una zona no muy elevada, ligeramente levantada y formando lomeríos de

200 m, correspondiendo a una estructura de tipo lacolito de composición andesítica, que aflora en un área de  $12 \text{ km}^2$  en dirección NW-SE. Cerca de esta forma se tiene una pequeña estructural hacia el SE con una expresión del tipo de un domo y alcanza una altura absoluta de --- 2500 m.s.n.m.

Al SE de San Marcos Arteaga, en la parte central de la hoja se observa otra forma intrusiva que corresponde a un domo andesítico que se presenta como una forma elevada del relieve con unos 3 Km de diámetro. Alcanza una altura absoluta de 2150 m, empezando a reconocerse desde los 1500 m.

Por último, entre las poblaciones de Tezoatlán y Yucuñuti, sobre el -- Río Pipi, existe otra forma intrusiva y que se expresa como un colgante con rocas jurásicas y guarda una relación con la estructura lacolítica del área, siendo su característica en cuanto al relieve, que se encuentra en una depresión.

En general, estas formas intrusivas son resistentes a la erosión y están afectadas por un drenaje joven.

#### V. 5. Formas Volcánicas:

Estas formas ocupan gran parte del área total de trabajo, comprendiendo la región oriental y abarcando casi la mitad de la hoja, con una superficie aproximada de  $550 \text{ km}^2$ . Se expresan en la superficie como -- formas tabulares y ramificada; también como bloques horizontales masivos y elevaciones que destacan por erosión diferencial. La primera de estas expresiones se tiene especialmente hacia la parte SE del área donde el relieve es mucho más abrupto, debido a que la región está afectada por una actividad volcánica joven, y es vulnerable a la erosión que opera intensamente formando cañones profundos de pendiente muy pronun-

ciada; de allí la serie de bloques tabulares y ramificados de composición andesítica. Luego, los bloques horizontales consisten en mesas — muy características sobre todo al NW y NE del poblado de Tezoatlán y — están constituidas por tobas líticas. Las elevaciones por erosión diferencial se encuentran en las tobas y aquí muchas veces se observa un perfil en forma de "escalón", con el escarpe constituido por las tobas más resistentes y que forman el escalón (parte saliente) y los quiebres o partes más erosionadas, constituidas por las tobas menos resistentes, porque el material que corona es más resistente al subyacente. En cuanto a las elevaciones de esta distintas expresiones, resulta que las alturas mayores corresponden a los bloques horizontales masivos — donde se manifiesta la cota más alta de la hoja, las elevaciones afectadas por erosión diferencial son menos altas y finalmente las mesas — son en sí lomeríos pequeños, (3500, 2250, 1750 m.s.n.m. son las cotas respectivas de la secuencia de las formas volcánicas).

#### V.6. Estructuras Bloques y Unidades Geomorfológico-Estructurales:

Con base en un plano altimético que se elaboró delimitando zonas cada 250 m, además, tomando en cuenta la geología y sus estructuras, se realizó esta carta de Unidades Geomorfológico-Estructurales que a continuación se describen (plano No. 4).

A) De acuerdo a lo que se pudo interpretar de la topografía, así como de la geología, se observa una primera unidad formada por cadena montañosas constituidas de rocas metamórficas. Una está en el extremo noroccidental y la otra en el suroccidental de la carta; teniéndose entre estas dos, otras series de estructuras que las separan. Las alturas absolutas de estas cadenas montañosas, son entre 2100 y 2300 m.s.n.m., observándose que donde mejor se expresa presenta un fuerte grado

de erosión, porque varios valles fluviales han erosionado sustancialmente esta cadena, incluso con profundidades de más de 300 m. Estos valles erosivos se encuentran al sur de Concepción de Porfirio Díaz, --- mientras que en el Cerro de la Carbonera se tiene una mejor conservación del relieve y la cadena posee una orientación en su eje principal, N-S. Hacia el oriente se reconoce un grado mayor de erosión en un frente montañoso escarpado orientado hacia el oeste, y corresponde a una dislocación por lo que es una zona de debilidad que ha favorecido la erosión.

B) La siguiente unidad consiste en depresiones constituídas de cadenas montañosas plegadas de rocas jurásicas. Se encuentran, una en la parte norte-central de la hoja al oeste de Huajuapán de León y la otra al NW de Tezoatlán. Constituyen en sí, bloques hundidos con orientación NW y presentan fuerte grado de erosión, cortadas por los Ríos Tlacuache y Mixteco respectivamente. Corresponden a estructuras de tipo sinclinal, de tal suerte que se tiene una expresión directa de las estructuras en el relieve, que a pesar de la antigüedad geológica de las rocas, estas estructuras muestran una relativa juventud ya que es un rasgo característico de los relieves jóvenes, o las regiones activas en la etapa neotectónica.

C) La tercera unidad está formada por una serie de cadenas montañosas plegadas constituídas de rocas sedimentarias del Jurásico y del Cretácico. Se localiza en la parte SW de la carta y la forman estructuras anticlinales y sinclinales de rocas Mesozoicas, con una orientación clara NNW-SSE y al "chocar" con las cadenas montañosas constituídas de rocas metamórficas, cambia bruscamente su dirección hacia el W, por tanto, su orientación es E-W y está cortada transversalmente por un barran

co, de unos 200 m de profundidad a manera de valle antecedente, (Barranco de San Juan). Las alturas absolutas de estas cadenas son de alrededor de 2100 a 2500 m.s.n.m., constituidas principalmente por calizas (con sus escarpes característicos) y muestran un parte-aguas bien definido con pocas variaciones, casi rectilíneo; la erosión no ha producido capturas importantes en esta línea divisoria y la carta topográfica no permite apreciar si hay una simetría o no, se observa que el flanco oeste es más inclinado que el este, por la presencia de una gran falla (región de Sto. Domingo Tonalá).

La longitud de esta cadena montañosa es de 25 a 30 Km por 12 a 16 Km de ancho o amplitud, por lo tanto, dadas estas dimensiones, ocupa un área importante en la carta.

D) La siguiente unidad geomorfológico-estructural es la constituida por depressiones cubiertas de tobas terciarias y aluvión. Los materiales volcano-acumulativos generalmente ocultan las formas originales del relieve, como sucede en estas depressiones que están controladas por fallas y fracturas, y considerando sus cotas, así como la red hidrográfica, se tiene el proceso acumulativo de estos materiales. Por otro lado, las rocas que constituyen estos materiales son menos resistentes a los procesos erosivos y al encontrarlos en zonas más altas se produce una removilización y por tanto el descubrimiento de estructuras del relieve más antiguas.

Las depressiones se encuentran en los poblados de Huajuapán de León, Santiago Cacaloxtepic, Sto. Domingo Tonalá y Tezoatlán, estas zonas constituyen las partes más bajas del área, con cotas de 1200 y 1500 m. s.n.m. y donde se calculó de 100 a 200 m, de espesor como valores máximos de este material. Una observación respecto al drenaje que afecta a

esta unidad es que, por ejemplo, el Río Mixteco corta depósitos de materia<sup>l</sup> volcánico-acumulativos, presentando una mejor conservación al sur de Santiago Cacaloxtepic; otro río que también los corta es el Río Salado, por lo que, indica que no ha sido un obstáculo para el desarrollo de la red fluvial, controlada esencialmente por fallas y fracturas de la corteza superior.

E) Otra unidad establecida en la zona, es la constituida de elevaciones montañosas producto de acumulaciones volcánicas terciarias. Esta unidad producto de vulcanismo cubre una amplia porción de la hoja, lo cual indica que la neotectónica de la región se ha caracterizado por movimientos de levantamiento, es decir, una actividad general que acompaña el vulcanismo; esto no es deficiente de inferior sabiendo que marginalmente a esta parte del Edo. de Oaxaca, se encuentra la trinchera Mesoamericana, que alcanza sus mayores profundidades precisamente frente a las costas de este estado. La actividad volcánica representa un proceso acumulativo por la emanación de materiales piroclásticos, de lavas, además de la presencia de depósitos de nubes ardientes (ignimbritas); pero, al mismo tiempo, siendo una zona tectónicamente muy activa, es difícil suponer que es un relieve solamente acumulativo y que las formas permanecen tal y como se originaron durante el proceso del vulcanismo. La actividad tectónica posterior, ha contribuido a la transformación de este relieve original, por la presencia de fallas que provocan el desplazamiento de bloques y que además contribuyen a que la erosión se produzca con mayor intensidad, y seguramente con movimientos de levantamiento diferencial que hace que una región cambie su posición altitudinal con respecto a otra.

Las costas principalmente en esta unidad son entre 2000 y 3500 m.s.n.m.,

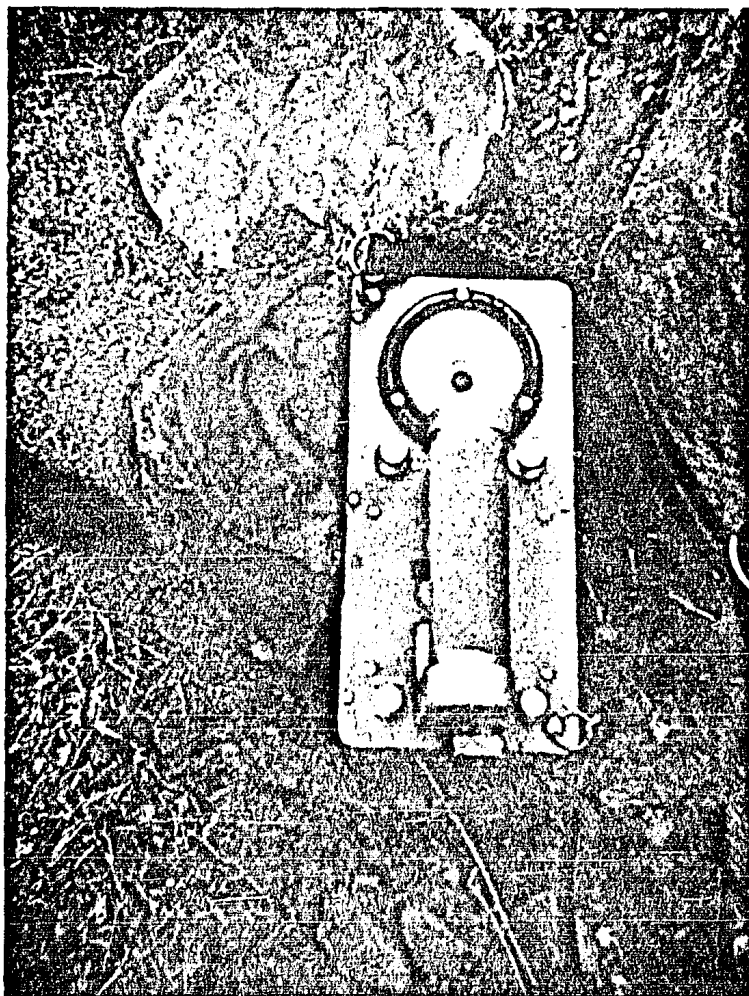


se observa que en partes ha actuado fuertemente la erosión, formando grandes valles fluviales especialmente en las dislocaciones, cuya dirección preferencial, como se ha dicho, es la NW-SE, característica de toda la región. Como ejemplo donde ha actuado más la erosión están las zonas de Dinicuiti, Nundó, Yodohino, Juquila, Cuititó. Se presentan más de un sistema de fracturas y además se observa que al igual que las fracturas principales, la orientación de los parteaguas es NW-SE y en segundo término NW-SE, con alturas relativas entre 500 y 1500 m, tomando como nivel base los ríos.

F) La última unidad que se distinguió en el área, es la constituida por elevaciones montañosas terciarias de rocas intrusivas. Con respecto al área que ocupa esta unidad, es la más pequeña.

Destaca en la parte central de la hoja una forma intrusiva de tipo cóncavo que se distingue claramente en las fotografías aéreas, así como en la imagen de satélite; tiene aproximadamente unos 4 Km, de diámetro y está cubierta en parte de materiales volcánico-acumulativos y tiene una altura absoluta de 2150 m.s.n.m., además es característico su drenaje radial alrededor de ella. Por otra parte, en la zona sur-central de la hoja, cerca de la población de San Juan Diquiyú se encuentra otra elevación con una altura absoluta de 2250 m.s.n.m., que cubre un área de 12 Km<sup>2</sup>.

VI.- EXPLORACION DE MINERALES  
RADIATIVOS



## VI. EXPLORACION DE MINERALES RADIATIVOS

### VI.1. Aspectos generales.

La exploración de minerales radiactivos o de cualquier otro tipo, requiere ante todo una selección y clasificación de áreas susceptibles de contener concentraciones minerales de interés económico dentro de rocas aflorantes o en el subsuelo, por lo que el conocimiento geológico de la región es indispensable. Dicha selección se realiza tomando como base todos los antecedentes geológicos disponibles, mismos que orientarán acerca de la composición de las formaciones más favorables, tanto como posibles fuentes de uranio o como receptoras del mismo. También es importante el conocimiento de estructuras, contactos o superficies de erosión capaces de controlar la circulación de soluciones, así como las características superficiales y/o topográficas, suelos, vegetación, etc. Conjunto de conocimientos que influirán en el momento de decidir el método de exploración a utilizar.

Además debe asociarse el análisis y evaluación de todos los antecedentes uraníferos disponibles para la región, teniendo presente los distintos conceptos, que, sobre la movilidad del uranio y la formación de sus yacimientos, se conocen actualmente.

Un criterio fundamental enmarcado dentro de las condiciones geológicas a investigar, es el de estudiar las formaciones o sectores de las mismas que pueden aportar uranio (rocas fuente o fértiles) y aquellas cuya composición, caracteres estructurales, litoestratigrafía, porosidad, permeabilidad, grado de alteración, paragénesis de otros minerales, presencia de materia orgánica de ambiente oxi-reducción, etc.; puedan en alguna forma indicar, controlar o vincularse con el transporte de soluciones fértiles y la fijación o depositación del mineral (rocas recepti-

vas o huéspedes).

Los antecedentes uraníferos presentes en el Estado de Oaxaca, así como la presencia de rocas fuente y de probables receptoras, son la razón por la cual URAMEX estructuró un amplio programa de exploración en la parte sur de la República Mexicana.

El método básico y principal en la exploración de minerales radiactivos es la RADIOMETRIA, el cual se funda en la propiedad de ciertos minerales de emitir radiaciones que son imperceptibles para los sentidos humanos, pero susceptibles de ser descubiertos por aparatos especiales que las captan transformándolas en impulsos lumínicos; éstos son amplificados luego y mediante instrumentos especiales, medidos y/o registrados.

Las radiaciones de que se habla son de tres tipos y se les denomina con las letras griegas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , las que se describen a continuación.

Radiaciones " $\alpha$ ": Son partículas corpusculares cargadas de electricidad positiva, constituídas por núcleos de átomos de Helio en desplazamiento rápido; son muy poco penetrantes y sólo pueden atravesar apenas decenas de micrones (micras) de materiales con poca densidad, bajo condiciones normales de presión y temperatura (ej. Aluminio, Materia Orgánica, etc.). El poder de penetración en el aire es de aproximadamente 6 cm y en sólidos comunes como Aluminio, papel o tejidos animales es solamente de 30 a 40 micrones, con una velocidad variable entre 14,000 y 25,000 km/seg. El uranio "238" emite principalmente rayos " $\alpha$ " con una velocidad de 14,000 km/seg.

Radiaciones " $\beta$ ": Al igual que las anteriores son rayos materiales debido a electrones rápidos positivos o negativos, poseen carga eléc-

trica negativa y viajan a una velocidad cercana a la luz. Estos rayos son más penetrantes que los rayos "  $\alpha$  " pero en oposición, su poder de ionización de gases es considerablemente menor, debido a su menor masa.

Radiaciones "  $\gamma$  ": Son de naturaleza electromagnética como los rayos "X", pero de longitud de onda aún más corta que éstos, de un poder de penetración mayor que las otras radiaciones y pueden ser detectadas por cualquier instrumento de medición adecuado. La frecuencia de estos rayos oscila entre  $10^{18}$  y  $10^{23}$  ciclos por segundo y la longitud de onda está entre  $10^{-1}$  y  $10^{-5}$  milimicras. Su poder de penetración alcanza hasta 150 m en el aire, 30 cm en el subsuelo, 75 cm en el agua y se necesitan de 5-7.5 cm de Plomo o algunos decímetros de sedimentos o cubierta para detener la mayor parte de ellas.

#### a) Instrumentos radiométricos:

Las técnicas radiométricas tradicionalmente se denominan de acuerdo con el medio portante del detector, siendo así de 3 tipos: exploración terrestre, exploración autotransportada y exploración aérea.

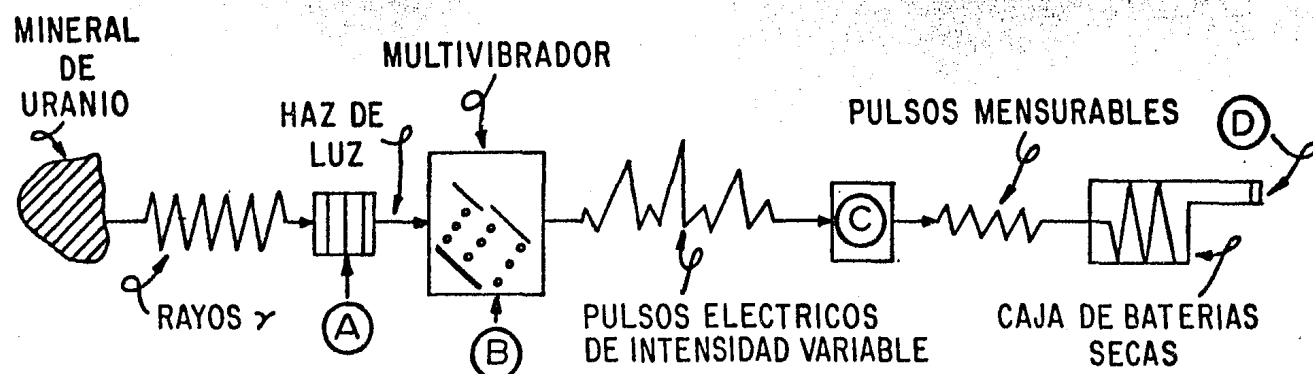
En el presente trabajo se utilizó la radiometría terrestre, utilizando cintilómetros y espectómetros que detectan las radiaciones "  $\gamma$  ", a través de elementos sensibles como tubos Geige-Muller o cintilómetros con cristales de yoduro de sodio, fluoruro de cinc, "cristales plásticos", etc.

El detector más usado es el Cintilómetro y consta de un tubo de vidrio o de metal, un circuito electrónico y las correspondientes baterías. Cuando una sustancia radiactiva se encuentra cerca del tubo del cintilómetro, los rayos emitidos por dicho elemento producen pulsaciones de la corriente eléctrica en el tubo, las cuales se perciben como

lecturas en un cuadrante. Al número de pulsaciones por unidad de tiempo (seg) se le llama "cuentas por segundo" (c.p.s.).

El elemento de cintilización está constituido por un cristal de Yoduro de Sodio con partículas de Talio metálico distribuidas en su interior, las cuales convierten la radiación en luz visible. La sensibilidad del aparato estriba en el tamaño del cristal, es decir, a mayor diámetro mayor sensibilidad del cristal y por tanto del aparato.

### ESQUEMA DEL CINTILOMETRO



### -ESQUEMA DE UN CINTILOMETRO

Figura No. 8

- A) Cristal de Yoduro de Sodio (NaI) que transforma los rayos gamma, de la fuente radiactiva, en haces luminosos denominados destellos.
- B) Tubo fotomultiplicador, es decir, reproductor de electrones o pequeños pulsos eléctricos.- Se necesitan unos 10,000,000 de electrones para un pulso mesurable y la corriente que fluye es aún pequeña.
- C) Amplificador que consiste de un multivibrador que produce pulsos eléctricos de igual fase; como los pulsos eléctricos aún son muy pequeños se usa el amplificador de pulsos, que los transforma en pulsos de intensidad uniforme.

D) Unidad de medición con escalas que van de 0, .01, .025, .05, .10, .5, 2.5 en mR/h (mili-Roengten/hora), dicha unidad equivale a  $7.5 \times 10^6$  golpes o contajes-hora, o sea 125,000 por minuto.

Los aparatos utilizados en el presente trabajo son los cintilómetros:

- Gamma Ray Scintilometer, modelo GR-101A, Geometrics; Exploranium Geometrics INC., Sunnyvale, California.
- Mount Sopris Instruments Co., modelo Sc-132, Delta, Co. USA.
- Scintrex GIS-5, Gamma Ray Spectrometer, Canada (espectrómetro).

El cintilómetro Gr-101A proporciona lecturas de 10,000 cps y el Mount Sopris hasta 20,000 cps, existiendo una relación aproximada entre ambos aparatos de 3 a 1 (Mount Sopris a Gr-101A), por lo que para cualquier comparación de los valores radiométricos expuestos en los planos puede ser utilizada esta relación. Ambos aparatos poseen diferentes escalas y suministran indicaciones tanto visuales como audibles de una radiación gamma anómala.

La primera información que se obtiene de los aparatos es la radiactividad ambiente, atribuible a fuentes como los rayos cósmicos, la radiactividad natural de la tierra y la del aire en un lugar determinado. La radiactividad ambiental llamada también "Cuenta inicial" puede variar de un lugar a otro y para determinarla se hacen varias lecturas a diferentes horas del día, en lugares retirados de zonas radiactivas.

El conocer la radiactividad ambiental permite obtener valores reales de las diferentes unidades de roca, obteniéndose de esta manera un rango de valores que representan la concentración normal dada por un elemento radiactivo en un material o para cada unidad litoestratigráfica; a este valor se le llama "Valor de Fondo" (Back-Ground).

El espectrómetro de rayos gamma Scyntrex Gis-5 se distingue de los

cintilómetros, en cuanto a las señales eléctricas del cristal y tubo fotomultiplicador, así cada rayo gamma está como una función de energía dentro de 4 o más ventanas específicas o canales, por tanto el espectrómetro es capaz de separar en bandas de energía aquellas señales características de cada elemento, para este caso el Uranio, Torio y Potasio. Los espectrómetros mencionados proporcionan lecturas de cuenta total K-U-Th, de U-Th en tiempos de 1, 3, 10, 30 y 100 segundos; así como una medida directa de los elementos de significancia en una cantidad amplia de muestras, por lo que ofrece datos inmediatamente útiles, con los que se puede hacer un ensayo para aproximar la proporción de un elemento con respecto a otro. El valor de fondo se determina de una manera estadística o gráfica, construyendo una curva que une los puntos de valor radiométrico mínimo.

b). Distribución radiométrica:

El estudio geológico-radiométrico de la región, permitió definir regionalmente la respuesta radiométrica de los distintos tipos de rocas aflorantes, agrupándolas por unidades litoestratigráficas y conjuntos genéticos; datos que se exponen en el siguiente cuadro:



TIPO DE ROCA	LITOLOGIA	FORMACION	LOCALIDAD	VALOR RADIO-METRICO NORMAL C.P.S.
Metamórficas	esquistos, filitas, augen-esquistos	Pca	Papalutla, Saucitlán de Morelos, Silacayoapilla.	40-70
Igneas Pre-Toarciana	andesitas alteradas y tobas alteradas		San Juan Diquiyú, camino a S.J. Viejo y a Tindú.	50
	areniscas conglomeráticas y conglomerados origen: continental	Jmr Jmcc	Arroyo Rosario, camino Huajuapán-Tonalá, camino Tezoatlán-Tindú.	20-60
	areniscas, areniscas conglomeráticas, lutitas carbonosas con abundante flora fósil. origen: continental	Jmz Jms	Arroyo Rosario, camino Huajuapán-Tonalá, camino Tezoatlán-Tindú.	40-80
	areniscas, lutitas, fauna fósil. origen: marino	Jmt	Arroyo Rosario, Arroyo San Andrés, Arroyo Pipi o Yucuíuti, Arroyo Sayuyá.	30-40
Rocas Sedimentarias Jurásicas	areniscas finas y de grano medio con coquinas y cuarcitas. origen: marino	Jmo	Arroyos San Andrés, Pipi, Sayuyá, del Tlacuache y camino Huajuapán-San Marcos Arteaga.	20-50
	areniscas finas y de grano medio, rojas, estrt. cruzada, horizonte anómalo	Jmo	Arroyos: Yucuíuti, San Andrés, Sayuyá y Tlacuache.	100-1000 (anómalo)
	calizas arcillosas con abundante fauna fósil origen: marino	Jsc	Arroyo San Andrés, Cañón de Tonalá.	10-30
Sedimentarias Cretácicas	margas, limolitas calcáreas, lutitas arcillosas bituminosas. origen: marino	Jsgs	Camino a Papalutla, camino a San Vicente del Palmar	20
	areniscas conglomeráticas, color rojo origen: litoral-continental	Kisi	Camino a San Vicente del Palmar	20
	calizas con pedernal	Kmt	Cañón de Tonalá	20

TIPO DE ROCA	LITOLOGIA	FORMA- CION	LOCALIDAD	VALOR RADIO- METRICO NOR- MAL C.P.S.
Sedimenta- rias Terciarias	conglomerados	Tch	San Marcos Arteaga, Huajuapán de León, S. Cacaloxtepéc.	20
	andesitas extrusivas e intrusivas, basal- tos	Tva Tvb	Tezoatlán, S. M. Ar- teaga, Arroyo Rosa- rio y caminos a Cui- titó, S. J. Viejo, Dinicuiti, Montever- de y Yutandú.	20-60
Igneas Terciarias	tobas líticas, rio- líticas, andesíticas, ignimbritas	Tvt	Tezoatlán, Sta. Cruz Numa, Cuititó, cami- nos a El Naranjo, Yu- cuñuti, Cacaloxtepéc.	15-50
	Tobas alteradas	Tv	camino a Cuititó: Cerro de Yucununé	200

Observaciones: La radiactividad ambiente o cuenta inicial promedia entre 10 y 15 cuentas por segundo.

+ Los valores radiométricos se encuentran uniformados al cintilómetro Gr-101A.

Tabla No. 2.- Tabla de la distribución radiométrica en el área de estudio.

## VI.2.- Anomalías radiométricas.

En la exploración de minerales radiactivos una anomalía radiométrica es aquella en la cual la lectura de la medida de la radiactividad es por lo menos 3 veces mayor al valor de fondo (Background), de la unidad litoestratigráfica en estudio. El análisis de dichos valores anómalos es importante sobre todo para la discriminación de áreas no favorables y además fundamental para la orientación de los programas de exploración terrestre y aérea, con mayor objetividad.

Tomando como base el programa de exploración regional de URAMEX y los antecedentes geológicos de la región sur de México, se consideró a dicha región con buenas perspectivas de contener localización de minerales radiactivos; tanto por la presencia de rocas fuente (metamórficas, pegmatitas, granitos, tobas), como de probables rocas receptoras (areniscas, conglomerados, tobas, etc.). De tal manera que durante los meses de Noviembre y Diciembre de 1979, se localizó cerca de Tezoatlán una anomalía radiométrica a la que se llamó "Anomalía 10 y 10A", emplazada en un horizonte de areniscas.

Lo anterior fue el antecedente que permitió incluir el área objeto de este estudio, dentro del programa de exploración terrestre de la Delegación Oaxaca, para el ciclo 1980-1981.

Es estudio preliminar (interpretación fotogeológica, comprobación de campo y anotación de valores radiométricos), permitió seleccionar áreas de interés, en las que se desarrollo una mayor densidad de observaciones geológico-radiométricas y que dieron por resultado la localización de las anomalías denominadas PIPI y PIPI II.

Las anomalías antes mencionadas y la previamente conocida 10 y 10A, resultaron tener las mismas características litológicas, radiométricas

cas y estratigráficas, hecho que permitió establecer guías estratigráficas, con las cuales se orientó la exploración; localizando de esta manera otras anomalías muy similares y cercanas a las ya conocidas -- (Yutatio, Yosocuta). Es posible que existan mayores afloramientos del horizonte mineralizado, cuya localización dependerá de la importancia económica que éste adquiera con los estudios realizados y los que se recomiendan para un mayor conocimiento de esta zona anómala.

a) Descripción de Anomalías:

Anomalía 10 y 10A. Se localiza en el municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, en la margen izquierda del Arroyo Sayuyá, donde convergen dos de sus afluentes y aproximadamente 3 Km al E del poblado de Yucuñuti (ver plano No. 1), Se realizaron estudios de semidetalle con apoyo topográfico, formado una retícula de 15 líneas de 400 m, de longitud, espaciadas 40 y 20 m (Fig. No. 9 destacando las más importantes).

Esta anomalía consiste en dos afloramientos de areniscas rojas pertenecientes a una secuencia de areniscas, arenisca cuarzosas y coquinas, de probable edad calloviana. Los afloramientos referidos se encuentran a una distancia de 500 m aproximadamente uno de otro y pueden corresponder a un sólo horizonte, si se interpreta la sección "G-H" (Fig. No. 15), como una estructura de tipo sinclinal, que además contiene fallas locales.

El horizonte 10 posee un espesor de 3-4 m, sobresaliendo del piso a 1-1,5 m de altura y aflora a lo largo de 60 m, orientado al NW 55° SE, buzando al NE con una intensidad de 40° aproximadamente (Foto No. 32, Apéndice D).

Litológicamente consiste de areniscas de grano fino a medio e incluso en ocasiones grueso, con aspecto conglomerático, posee estratifica-

ción graduada y se presenta en estratos medianos a gruesos de 30, 40, 70 y 80 cm; de color gris a pardo rojizo y amarillo debido al intemperismo y oxidación. (Foto No. 33 Apéndice D). Hacia abajo estratigráficamente está en contacto con areniscas menos oxidadas de grano fino que alternan con areniscas fosilíferas, areniscas cuarzosas, lutitas y areniscas; en tanto hacia arriba, estratigráficamente, está en contacto con areniscas, coquinas y calizas con recristalización de cuarzo y calcita. Por las características litológicas descritas y la macrofauna recolectada a inmediaciones, esta secuencia corresponde a la cima de la Formación Otatera y parte inferior de la Formación Yucunuti.

Aproximadamente a 500 m en dirección NE 23°, se encuentra el afloramiento 10A que posee un espesor de 3 m y aflora a lo largo de 50 m en dirección NE 65°-70°, buzando al SE con intensidad de 50° aproximadamente. Es muy similar al afloramiento 10, consiste de areniscas rojizas, de estratificación media, presenta estratificación cruzada y se encuentra en contacto con areniscas, coquinas y areniscas con limolitas. En esta zona se trazó una retícula topográfica-geológica-radiométrica, tomando como línea base aquella que une los dos afloramientos; el análisis de la información dio lugar a interpretar una estructura sinclinal afectada por fallas normales, la cual contiene a ambos afloramientos, por lo que se supone se trata del mismo horizonte. Las fallas poseen una orientación NW-SE.

Las lecturas radiométricas obtenidas oscilan entre 200 y 2700 cps según el cintilómetro "INEN-310" (70-1000 cps con GR-101A), teniéndose una cuenta de fondo de 50 cps (17-20 cps, GR-101A). Los perfiles radiométricos se presentan junto con los perfiles geológicos, observán-

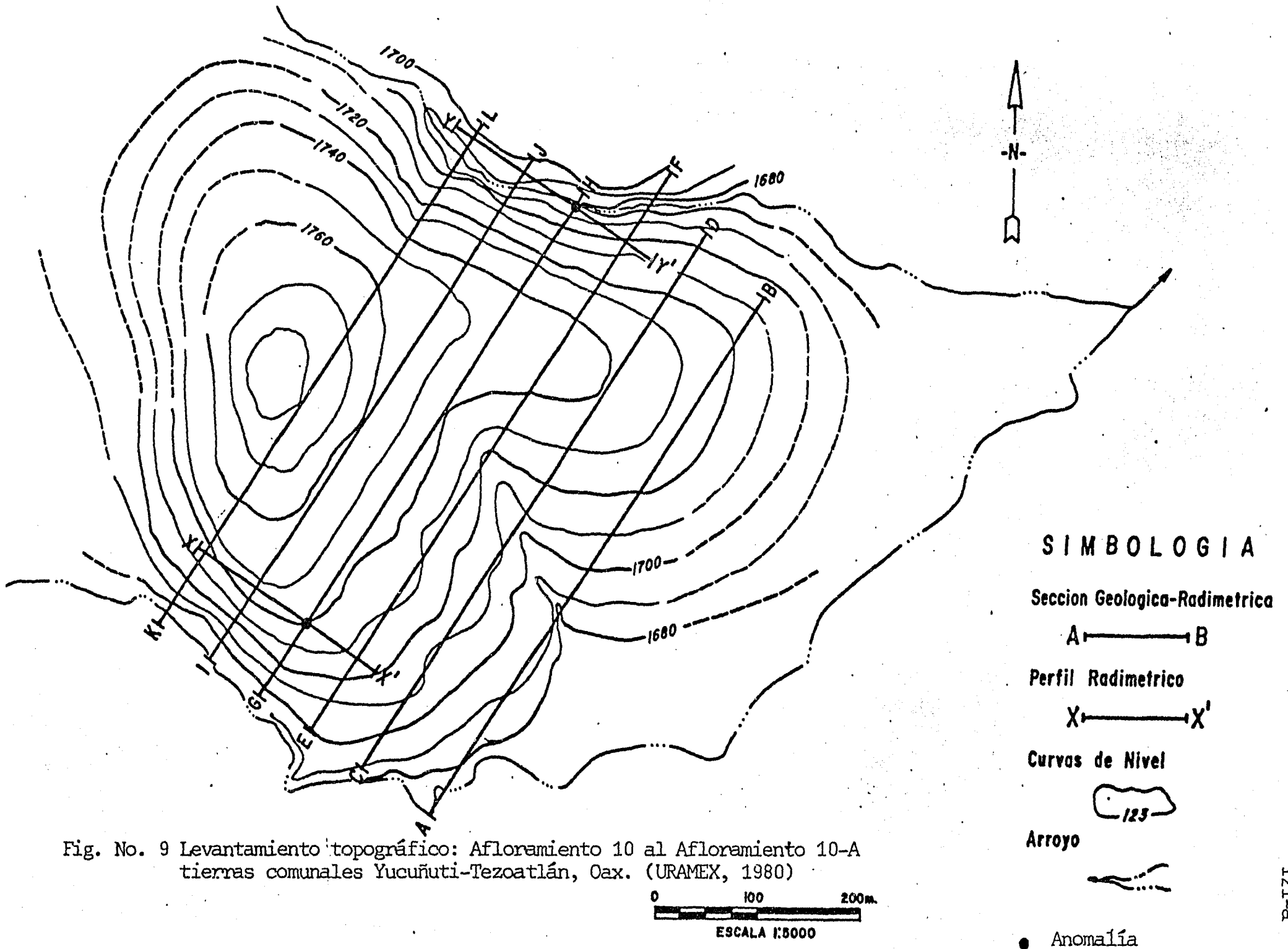


Fig. No. 9 Levantamiento topográfico: Afloramiento 10 al Afloramiento 10-A tierras comunales Yucuñuti-Tezoatlán, Oax. (URAMEX, 1980)

dose de manera más clara la relación geología-radiometría, (ver Figs. No. 10 a 17).

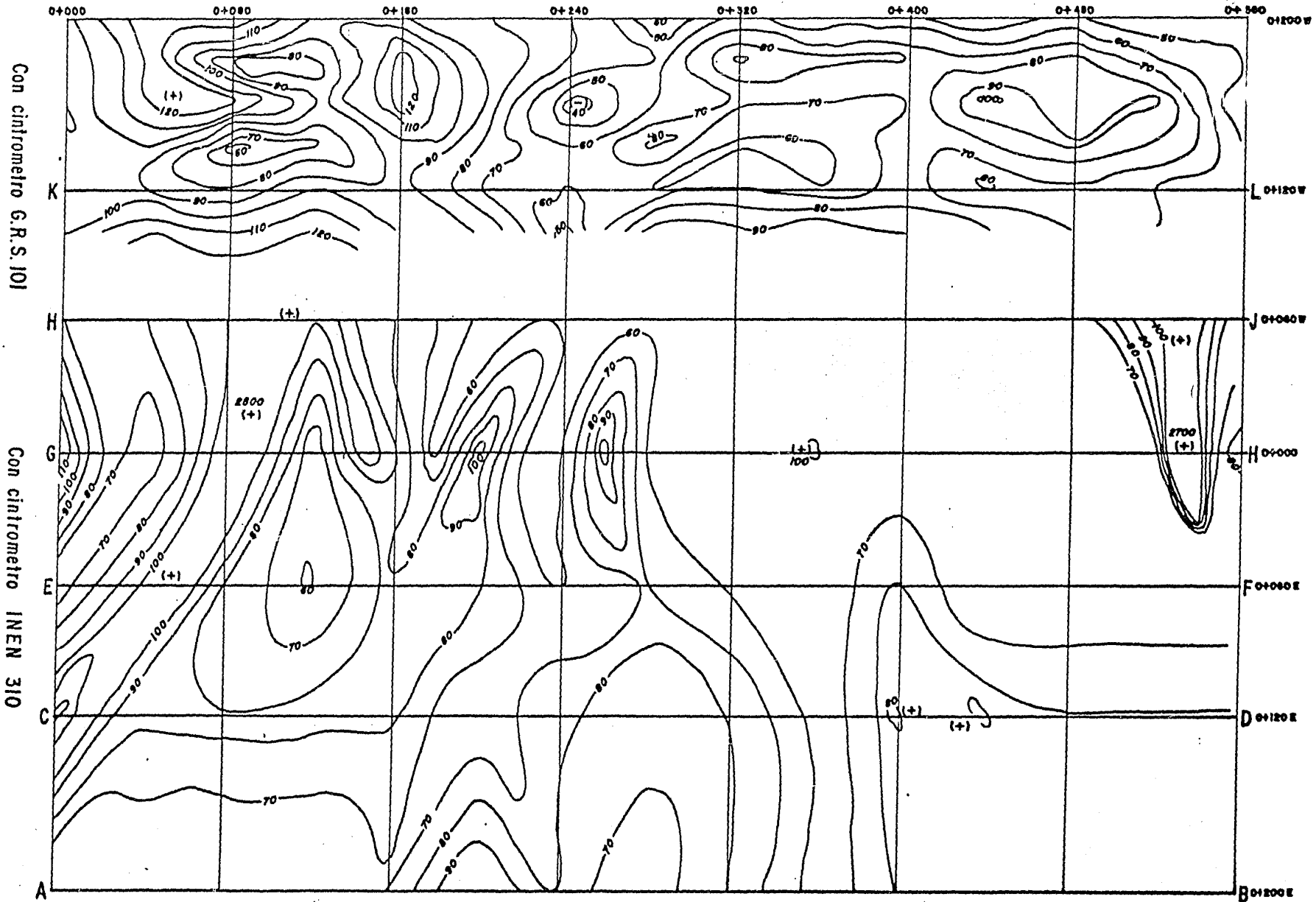
Anomalía Pipi I: Este afloramiento de areniscas radiactivas está situado en la margen izquierda del Arroyo Yucuñuti o Pipi, a unos 6 Km aproximadamente al W de Tezoatlán y a unos 1.5 Km de la anomalía 10 y 10A. Aflora a lo largo de 180 m y tiene un espesor de 1 a 3.5 m, presenta una orientación NW10°SE variable a NW45°SE, buzando al SW con 70° de intensidad.

El afloramiento se presenta orientado al NE10°SW, arqueándose en su extremo norte al NE55°SW y en el extremo sur al NW 40°SE, el buzamiento general es al SW con intensidades de 50 a 70°.

Sobre el arroyo se encontraron rodados de areniscas con valores radiométricas de 400 a 500 cps (GR-101A) y de hasta 1.50 m de diámetro, en algunos de los cuales se aprecia la estratificación gradual y cruzada. (Foto No. 34 Apéndice D).

Destaca igualmente su forma escarpada sobre los demás tipos de rocas y litológicamente consiste de areniscas de grano fino a medio, fuertemente oxidadas, lo que le imprime un color pardo-rojizo oscuro; (Foto No. 35, Apéndice D), está muy fracturada y su contacto hacia el E es con areniscas cuarzosas y éstas a su vez en contacto con rocas ígneas hipabisales intermedias (Tonalita), que aflora sobre el arroyo. En tanto al W está en contacto con una secuencia de areniscas que alternan con coquinas, estas últimas se distinguen mejor hacia el sur, donde se encuentran en contacto con rocas ígneas (Tonalitas). Al parecer el horizonte radiactivo se encuentra encajonado o bordeado por un cuerpo intrusivo de carácter hipabisal.

Por la litología se consideró a estas areniscas, como pertenecientes



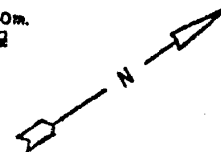
CURVA ISORRADA .  
ALTO RADIMETRICO  
BAJO RADIMETRICO

(+)  
(-)

TIEMPO DE INTEGRACION  
INTERVALO DE CONFIGURACION  
ESCALA

1 seg.  
10 c.p.s.  
1:2500

0 20 50m.  
ESC:1:2500



MELENDEZ DEL PE; MOSQUERA M.M.



# PERFIL RADIMETRICO DEL AFLORAMIENTO 10 Y 10-A LEVANTADO CON ESPECTOMETRO DISA-300

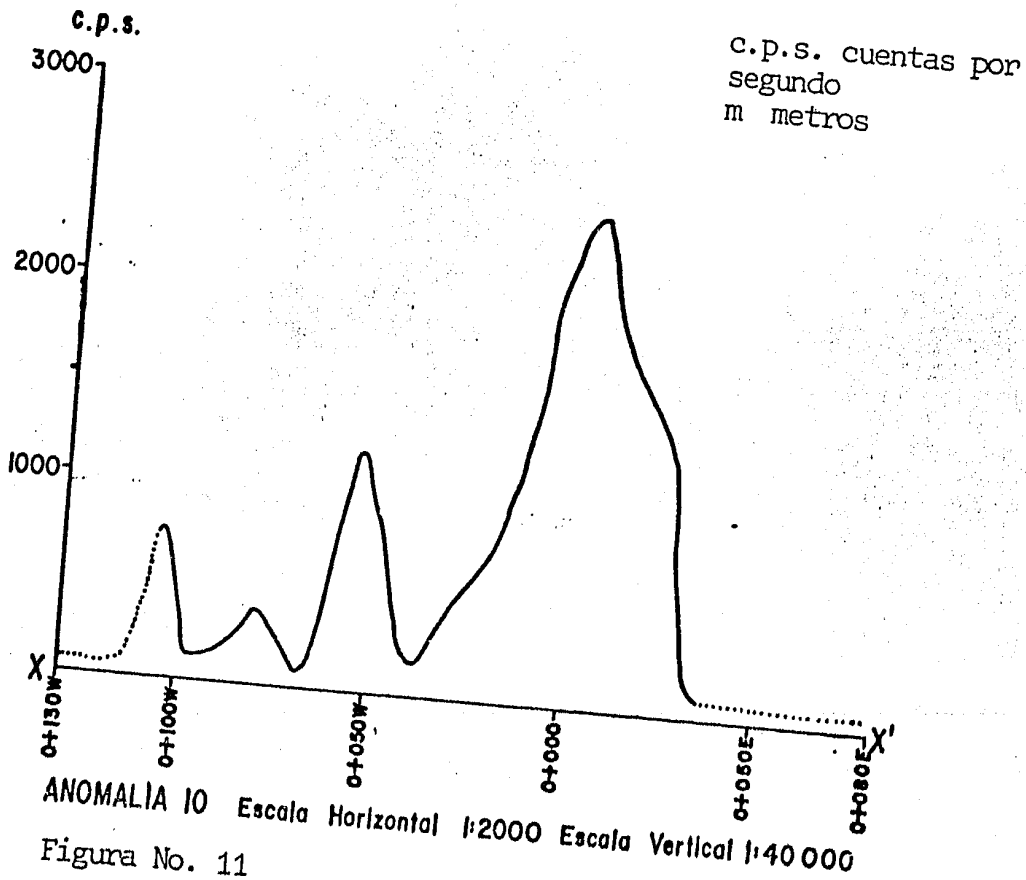
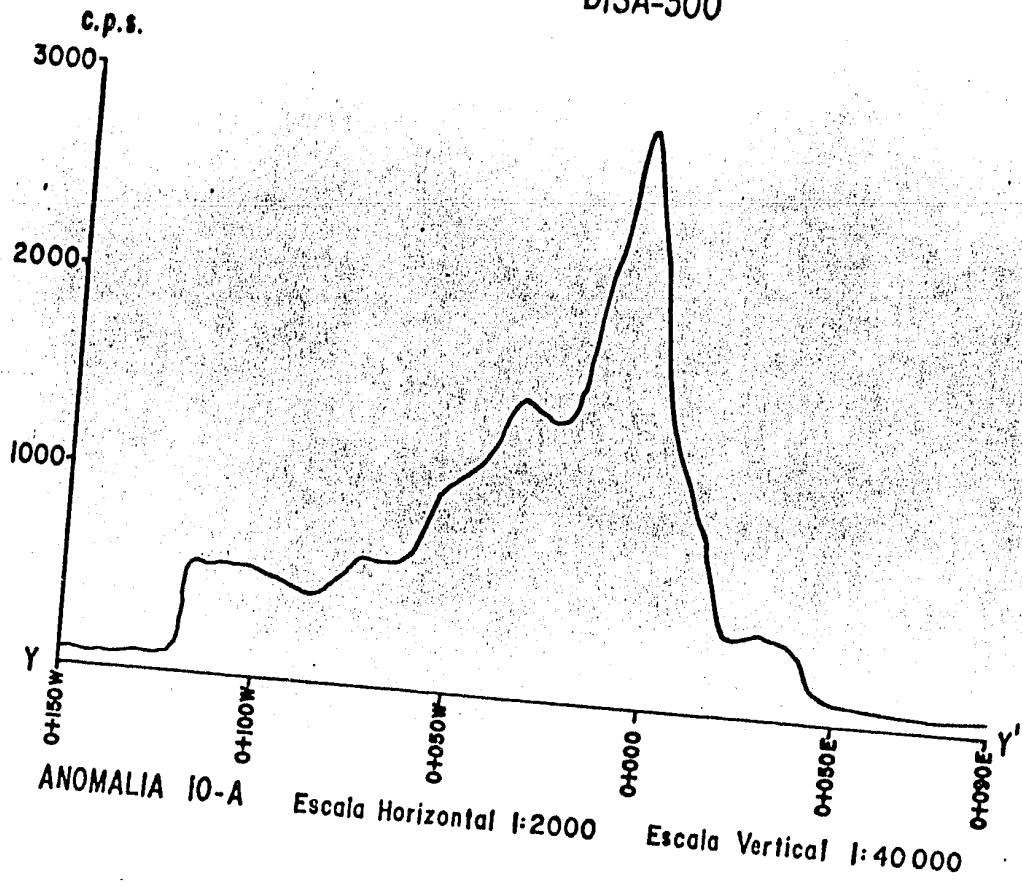
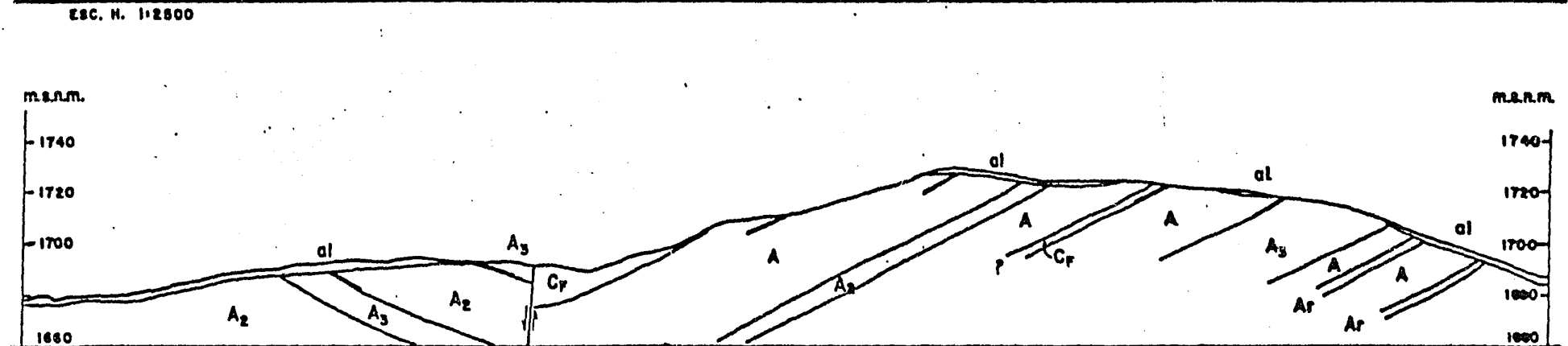
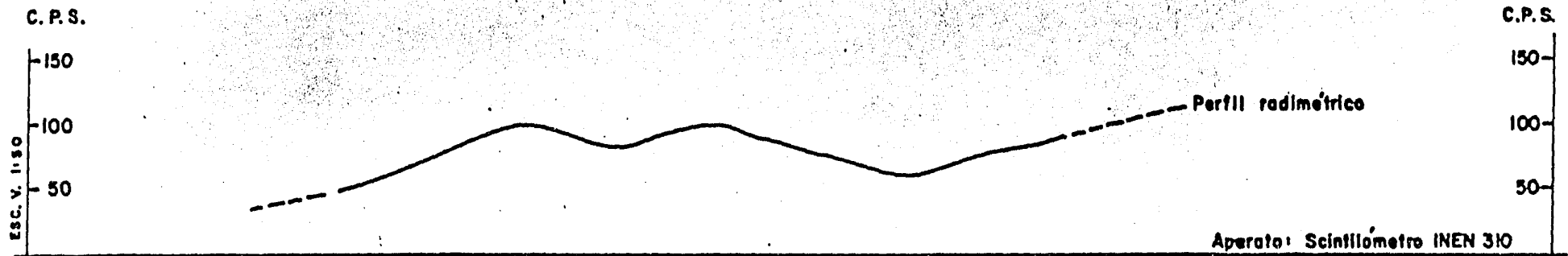


Figura No. 11

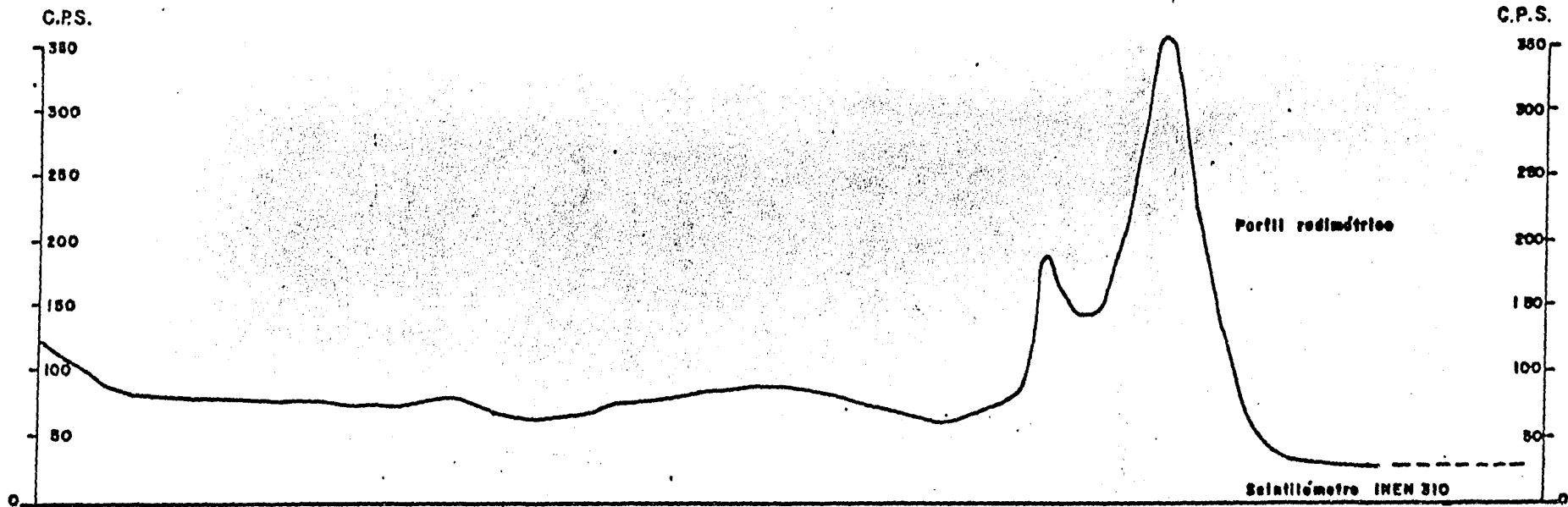


**S E C C I O N      A - B**

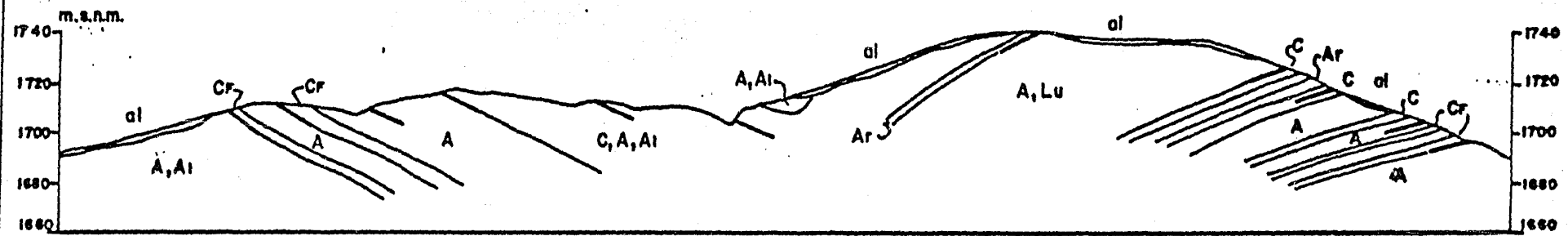
<p><b>A</b></p> <p>al    aluvión</p> <p>A    Areniscas</p> <p>Ar    Areniscas radiactivas</p> <p>A<sub>1</sub>    Areniscas cuarcíticas</p> <p>A<sub>2</sub>    Areniscas fosilíferas</p> <p>A<sub>3</sub>    Areniscas y Limolitas</p> <p>C    Calizas</p> <p>C<sub>F</sub>    Calizas Fosilíferas</p>	<p><b>B</b></p> <p>L    Limolitas</p> <p>Lu    Lutitas</p> <p>I    Rocas Igneas (Tonalitas)</p> <p>—    Falla Normal</p> <p>—    echado</p> <p>—    contacto geológico</p> <p>—    contacto geológico inferido</p> <p>—    interpretación</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. No. 12 (1984)

122-0



ESC. H. y V. 1:2500



ESC. H. y V. 1:2500

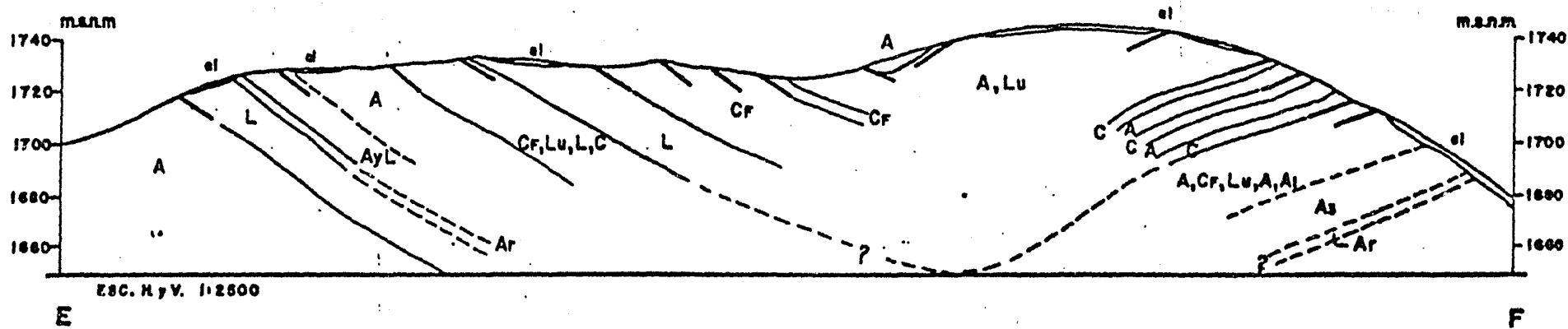
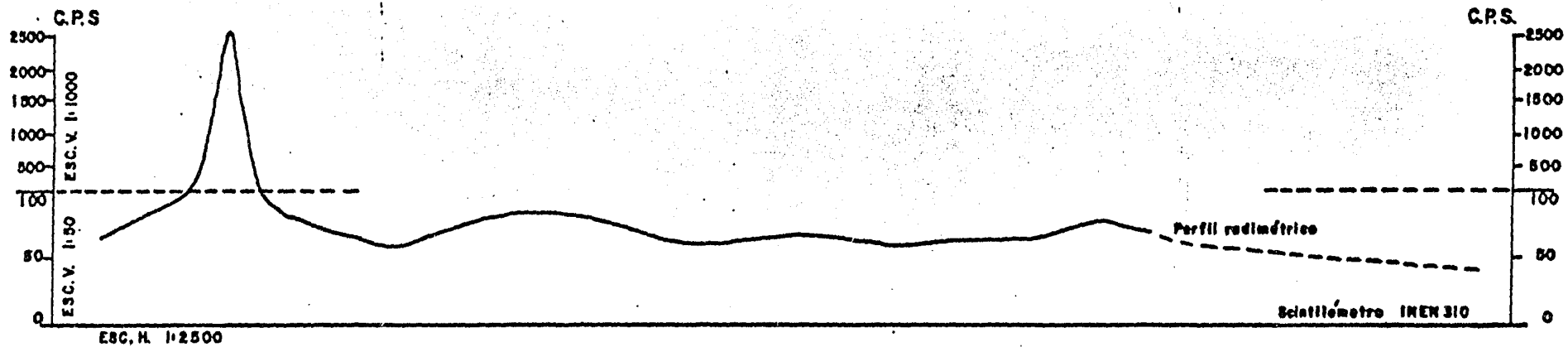
C

D

S E C C I O N C - D

Fig. No. 13

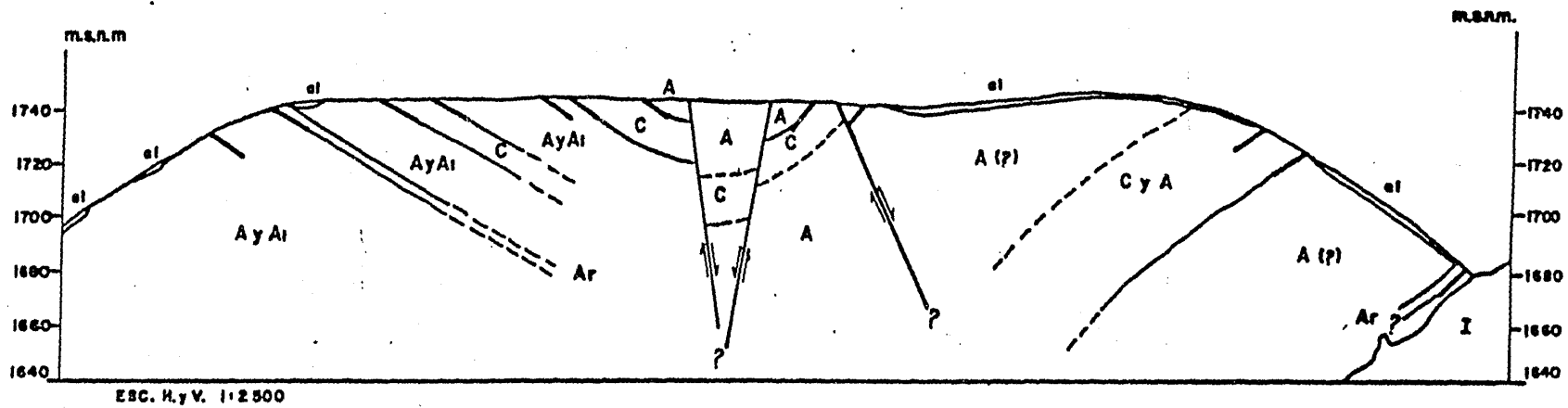
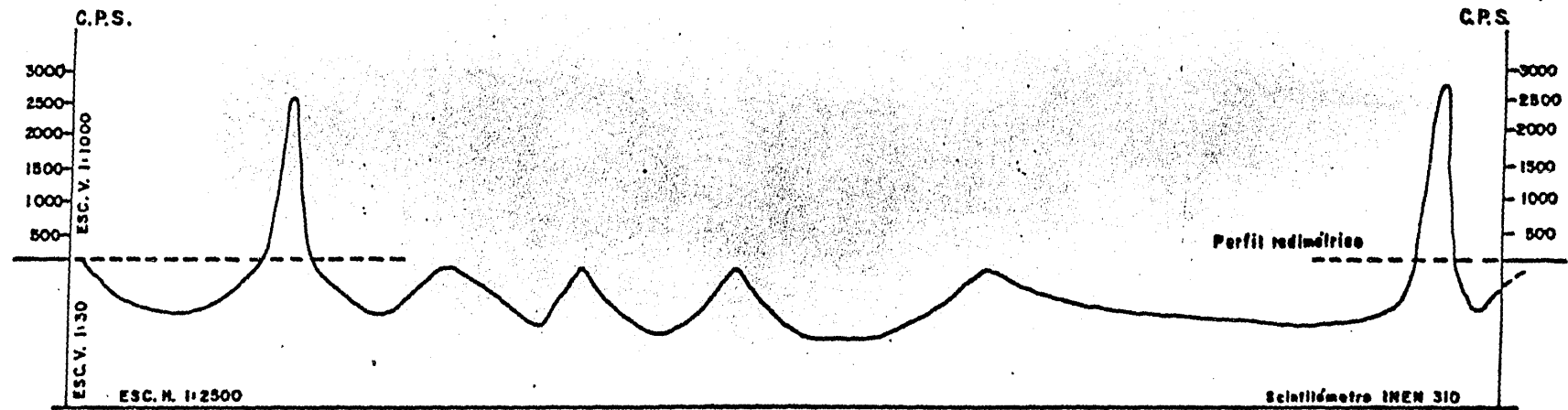
122-D



SECCION E-F

Fig. No 14

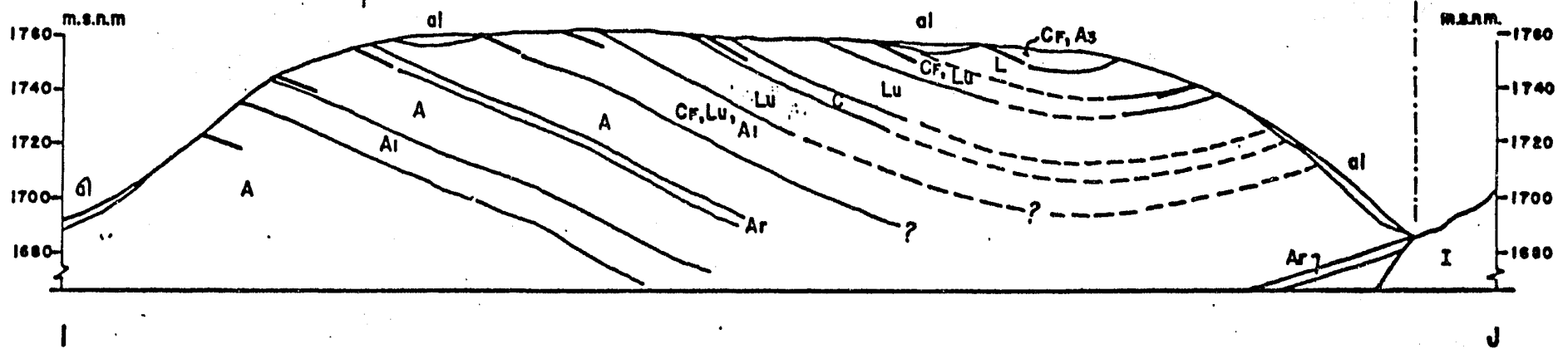
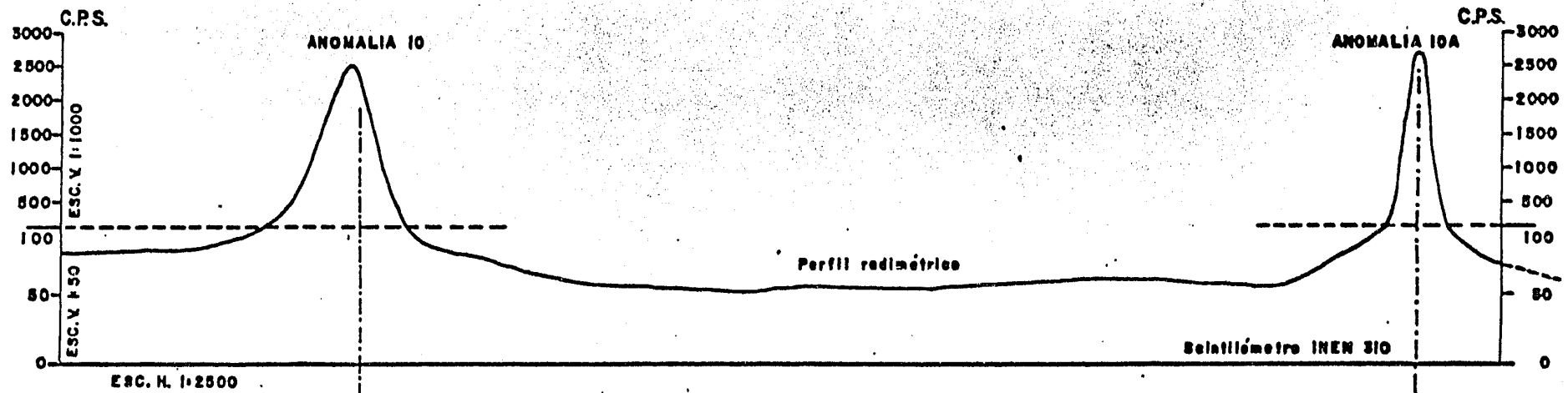
122-e



SECCION G-H

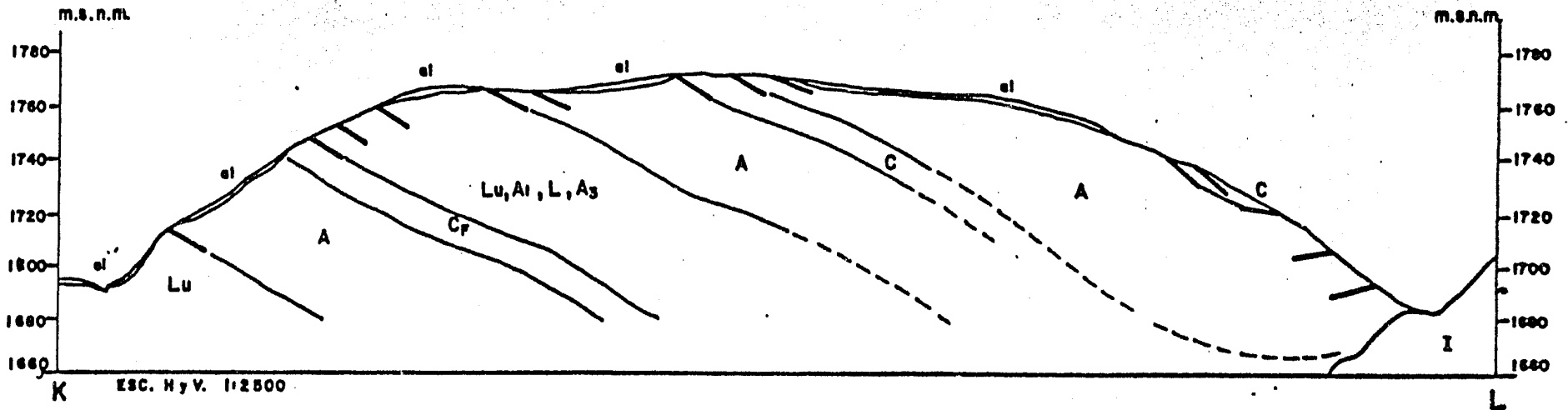
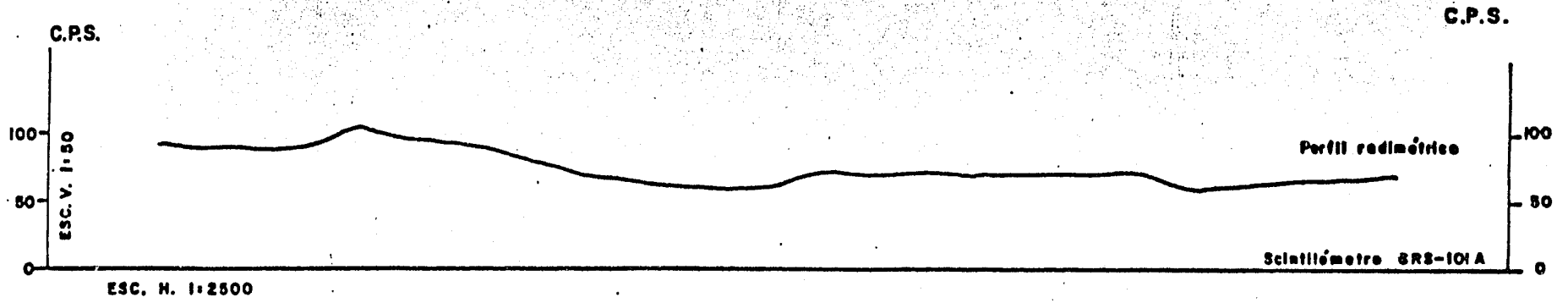
Fig. No. 15

122-F



S E C C I O N I - J

Fig. No. 16



SECCION K-L

Fig.No. 17

122-h

a la transición entre las Formaciones Otatera y Yucufuti, caracterizado por la presencia de 3 tipos de coquinas; además se recolectó macrofauna característica de las Formaciones de que se viene hablando.

El horizonte radiactivo posee una longitud de 300 m y de 4 m de ancho, hasta donde fue posible rastrearlo, expresa valores radiométricos desde 100 hasta 2000 cps. Se construyó una retícula de 20 x 20 m, con secciones al E y W del horizonte, con el objetivo de tener una completa información de la radiometría y geología local (ver plano No. 6).

La información obtenida a través del espectrómetro y los cintilómetros es la siguiente:

Aparato	Cuenta Total	K	U	Th
Cyntrex	4300 cps	277	244	255
		68	55	68
Mount Sopris	3800 cps			
GR-101A	1800 cps			

Con el objeto de analizar las direcciones preferenciales o principales, se midieron un total de 100 fracturas que representadas en un diagrama de rosetas, se determinó que las orientaciones principales del fracturamiento son NE 40-50°, NE 70-80°, NW 80-90°, NW 0-10°, con sus respectivos sistemas asociados. (ver plano No. 5).

Anomalía Pipi II. El conocimiento de la anomalía Pipi I propició la realización de varios reconocimientos en la zona, tomando en cuenta las características tanto estratigráficas como radiométricas del horizonte de areniscas radiactivas, común en las anomalías 10, 10A y Pipi I; lo que permitió localizar sobre el mismo arroyo otra anomalía, a la que se denominó "Anomalía Pipi II" por encontrarse muy cerca de la des



crita con anterioridad (a 800 m). Se localiza en la margen izquierda del Arroyo Yucufñuti o Pipi, a lo largo de 20 m por 4 m de espesor, -- orientado al NW 65°SE y NW 53°SE. (Foto No. 36, Apéndice D).

Consiste de areniscas de grano fino a medio, su contacto al NE queda definido por un paquete de 12m de coquinas en estratos medios que alternan con lutitas y escasamente con capas delgadas de calizas y areniscas, para luego continuarse con las rocas ígneas; mientras que al SW están en contacto con areniscas cuarzosas de grano medio, estratificación cruzada, capas medianas a gruesas, color pardo amarillento y alteraciones de color morado.

Posee gran cantidad de fracturas orientadas al NE 30° SW y en menor proporción al NE 40-50°SW y NE 0-10°SW, (ver roseta en plano No. 5), (Foto No. 37, Apéndice D).

Las lecturas radiométricas varían de 100-500 cps (GR-101A) y sus dimensiones son de 70-80 m de longitud potencial por 4 metros de espesor.

Anomalía Yutatio. En otro de los reconocimientos realizados en la zona y tomando en cuenta las características geológicas y radiométricas de las anomalías anteriores, se localizó sobre la margen derecha del Arroyo Yucatiyú o San Andrés, 500 m al sur del poblado San Andrés Yutatio, la secuencia estratigráfica de interés, dentro de la cual se observó el horizonte radiactivo.

A esta anomalía se le denominó "Yutatio" y se presenta formando un escarpe de 500 m de longitud y 10 m de ancho. Consiste de areniscas de grano fino a medio, de color rojizo y amarillento, posee estratificación cruzada y se encuentra en contacto con areniscas de grano fino a medio de color verde, que alternan con coquinas, lutitas negras y areniscas cuarzosas; esto es para el contacto superior, mientras que para

el inferior se presentan estratos gruesos de areniscas cuarzosas con estratificación cruzada. El horizonte radiactivo se encuentra limitado también por una falla que es la causante del escarpe mencionado.

Las lecturas radiométricas varían de 200 a 600 cps (GR-101A), de ---- 1,200 con el Mount Sopris y de 1,630 cps (CT) con el Scyntrex. Este último aparato proporcionó datos para cada elemento en cuestión:

	U	Th	K
	52	50	54
Espectrómetro Scyntrex	51	41	48%
	53	49	57

Anomalia Yosocuta. Sobre el Río Tlacuache, entre los poblados de -- Santa Ma. Xochistlapilco y San Fco. Yosocuta, afloran las Formaciones Otatera y Yucuñuti, encontrándose nuevamente areniscas muy oxidadas, de color rojizo y radiactivas, únicamente diferentes en los valores radiométricos más bajos, 100 cps (GR-101A). Posee 15 m de ancho y se encuentra en contacto con areniscas cuarzosas, las fracturas están orientadas al NE 40-60 con buzamientos de 30-50°.

Anomalia Cuitito. Sobre el camino de Tezoatlán a San Juan Cuitito, se localizaron valores radiométricos anómalos en una zona de alteración e intemperismo fuerte en tobas limonitizadas y argilizadas, de color amarillo-crema con vetillas de cuarzo y que se encuentran coronadas por ignimbritas, e intrusionadas por pequeños diques de composición básica. Los valores radiométricos alcanzan las 200 cps (GR-101A), con valor de fondo de 40-50 cps. Este alto radiométrico probablemente se deba a la alteración que presenta dichas rocas, sin descartar la posibilidad de un origen más interesante que sólo con un estudio más completo en esta zona, permitirá concretar su importancia económica.

b) Mineralogía y Asociación Mineralógica;

Los diferentes estudios y análisis practicados a las muestras de las Anomalías descritas en el inciso a) proporcionaron resultados en relación a la asociación mineralógica, alternaciones, características especiales y porcentajes de los minerales presentes en las rocas radiactivas; lo cual permite realizar una interpretación y conclusión acerca de la génesis de los horizontes anómalos en cuanto a radiactividad, localizados en el área de estudio. A continuación se presenta a manera de resumen el resultado de estos análisis (para mayor referencia ver el apéndice B).

En base a estudios Petrográficos, la roca del horizonte radiactivo, corresponde a unas areniscas y arcosas ferruginosas, muy oxidadas de color pardo rojizo y amarillento, de textura Epiclástica-Psamítica de grano fino, medio y en ocasiones grueso de aspecto conlomerático; debido a la estratificación gradada que presentan.

Respecto a la Mineralogía se destaca que, los óxidos de "Fe y Ti" (que son minerales opacos) y el Cuarzo, son minerales esenciales; la Monacita y los Fragmentos de Roca se consideran secundarios; los Feldespatos, Mineral Isotrópico no identificado. Xenotima y Circón, como accesorios; Espinela y Apatito, como minerales trazas.

Por lo general, el cementante está constituido por óxidos ferrotitaníferos y calcita.

Dentro de los minerales de Fe y Ti, se distinguieron algunos semi-translúcidos como el Rutilo o Anatasa que se presentan en porcentajes variables, e incluso en la muestra EMM-128-10, alcanza un 15% aproximadamente, del total de los minerales presentes.

La alteración más importante observada a simple vista y en el micros-

copio petrográfico, es la oxidación de los distintos minerales de Fe y Ti.

Los análisis por Fluorescencia de Rayos-"X", (Fig. No. 18), realizados en el Instituto de Geología de la U.N.A.M., reportaron los elementos: Zr, Ti, Fe y Th; mientras que los análisis por Difracción de Rayos-X, (Fig. No. 19), determinaron la presencia de: Circón, Anatasa, Hematita y algo de Calcita (todo ello en la muestra EMM-48-C). Los estudios realizados en los laboratorios de URAMEX, de difracción de Rayos-X, reportan: Anatasa, Calcita y Circón, en una muestra; y Circón, Anatasa, Calcita e Ilmenita, en otra; las dos muestras corresponden a la Anomalía 10 y 10A.

Como se puede observar, la asociación mineralógica presente en las areniscas ferruginosas, corresponde a una concentración de minerales pesados en sedimentos clásticos, de los cuales; el circón, la monacita y la xenotima, son los minerales más factibles de contener elementos radiactivos, que provocan las anomalías detectadas; no obstante, queda la posibilidad de que exista algún otro mineral radiactivo no identificado en los análisis. A continuación serán descritos los minerales radiactivos señalados:

El Circón ( $Zr SiO_4$ ), es un silicato de circonio que se encuentra distribuido como mineral accesorio en rocas ígneas y metamórficas (pegmatitas graníticas, granitos, sienitas nefelínicas, dioritas, granodioritas, gneises micáceos, y gneises graníticos), es común encontrarlo como mineral detrítico en arenas fluviales y marinas, areniscas de grano fino y arcosas. La forma subredondeada que presenta en las muestras estudiadas, indica su origen detrítico. Existe una variedad radiactiva del circón, (circón metamáctico), denominado también cirtolito; que --

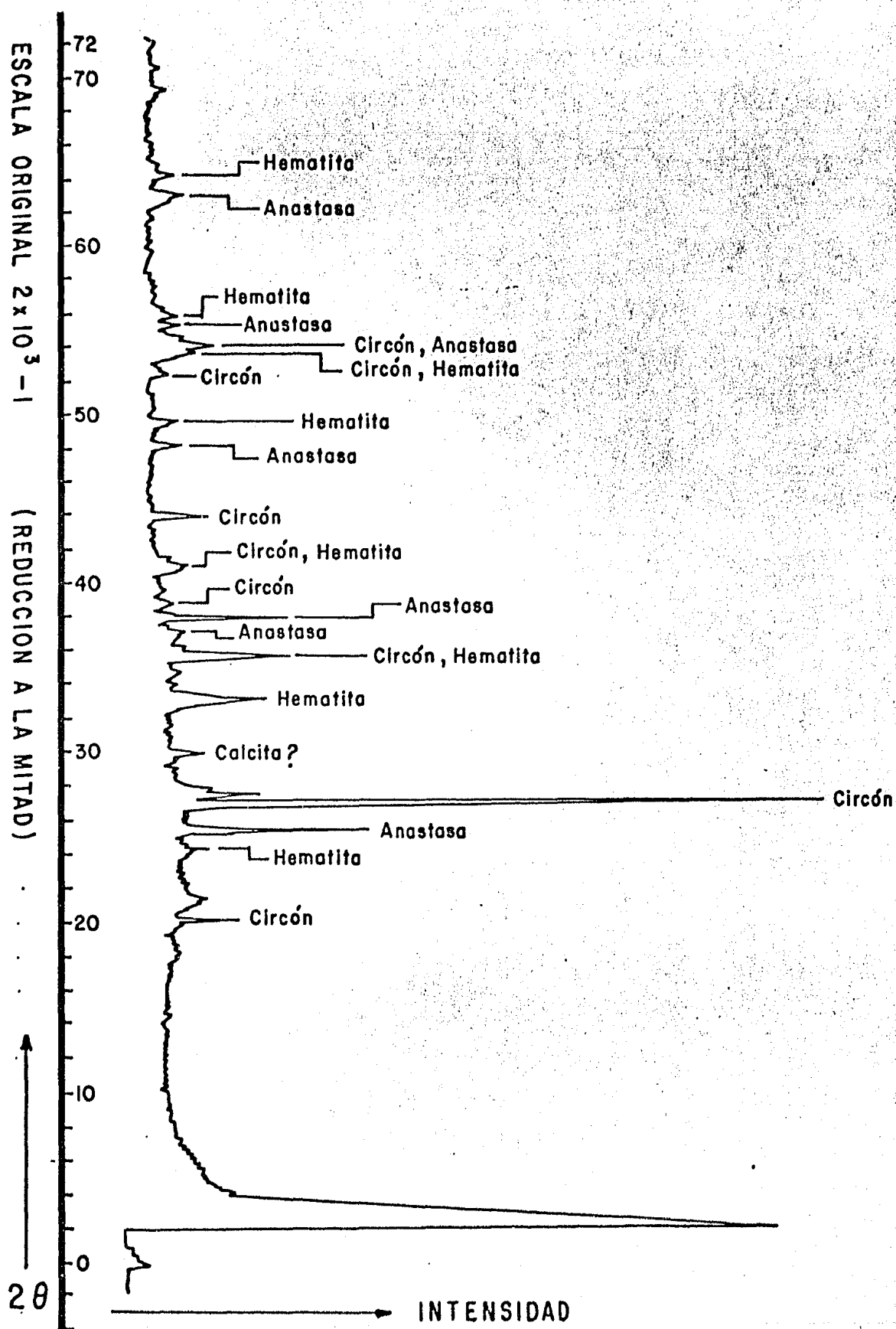


FIG. No.18 - ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X  
DE LA MUESTRA EMM 48-C (1984).

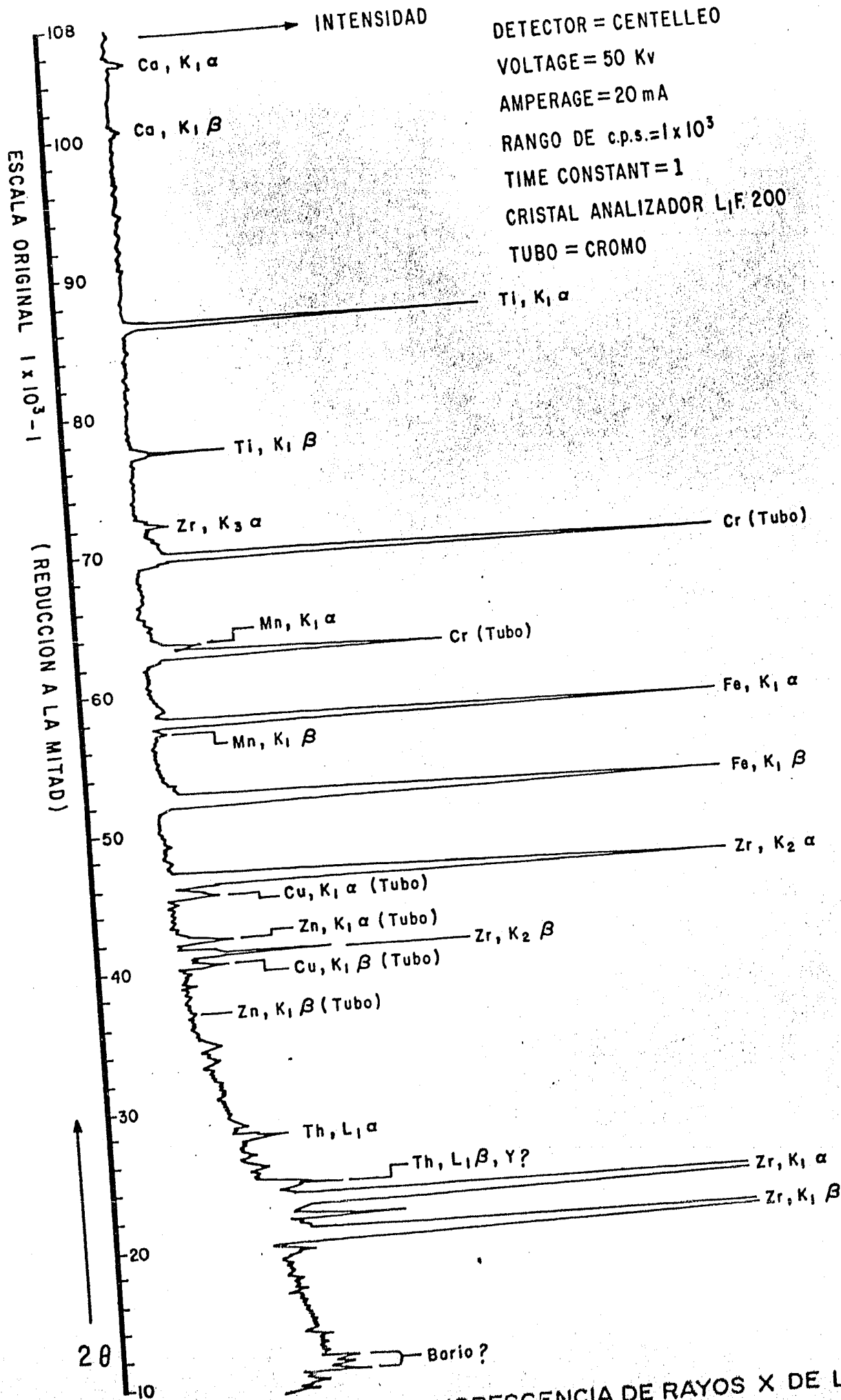


FIG. No. 19. ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LA MUESTRA EMM 48-C

contiene U, Th y Tierras Raras, de los cuales se han reportado circones con 3% de U, 13% de Th y 16% de Tierras Raras; así se tiene que en Quanah Mountain (Oklahoma), existen circones zonados con capas cristálinas y metamórficas, donde las partes metamórficas son más ricas en U y Th (Larsen y otros, 1953).

Los circones metamórficos muestran variable destrucción estructural -- que reduce sus índices de refracción, densidad y dureza; este grado de destrucción estructural es proporcional a la radiación total recibida, determinando de esta manera cambios en la isotropía y la figura de interferencia de estos minerales.

La Monacita (Ce, La, Y Th)  $PO_4$ , es un Fosfato de los elementos de las Tierras Raras, aparte de los elementos que aparecen en la fórmula química, puede contener también; Disprosio, Neodimio, Praseodimio. Este mineral es común en rocas ígneas ácidas (Pegmatitas, Granitos, Sienitas) como accesorio, en varios tipos de filones, en Carbonatitas, como accesorio diseminado en varias rocas metamórficas (Gneises cuarcíferos, micáceos y graníticos), pero principalmente en placeres tanto fluviales como marinos y en areniscas.

El Th, suele presentarse en cantidades hasta aproximadamente un 12% de  $ThO_2$  mientras que el U, falta o existe en cantidades muy pequeñas. La presencia de Th aumenta los índices de refracción y el peso específico.

La monacita es la fuente más importante en el mundo, para la obtención del Torio y de las Tierras Raras.

La Xenotima  $YPO_4$ , es un Fosfato de Ytrio y presenta características físicas, ópticas y de formación muy similares a los de la Monacita. El Ytrio puede en partes, estar sustituido por calcio, Ce, U, Th; dentro

de ciertos límites y el  $PO_4$  por  $SiO_4$  o por  $SO_4$ ,

Hasta el momento no se conoce a ciencia cierta, cual de estos 3 minerales posee el elemento radiactivo, en este caso el Torio; por lo que se procedió a efectuar un análisis en el microscopio electrónico de barrido (Microsonda) de la Comisión de Fomento Minero.

En este estudio se detectaron los elementos Th, Ce, P, Zr, Si, Ti, Fe; en un campo determinado (foto No. 1). Se procedió enseguida a realizar los barridos para cada elemento, permitiéndolo definir los minerales que estos constituyen, así como su localización en el campo estudiado. (fotos de la 1 a la X, y fig. No. 20).

Por consiguiente, los minerales detectados en la microsonda, fueron: Hematita, Rutilo, Ilmenita, Circón, Monacita. Esta última se determinó como un fosfato de Cerio y Torio, en la cual el elemento radiactivo "Th", se encuentra sustituyendo a elementos del grupo de los lantánidos, característicos de este mineral.

Otra característica importante observada en estos análisis, es que en los barridos correspondientes al "Fe" y "Ti", se observa la muestra cementada por Hematita e Ilmenita, de allí el color pardo rojizo de la roca.

Los resultados obtenidos, se confirmaron en el estudio de otros campos y que resultan análogos al primero, (fotos; IX y X).

#### ORIGEN, -

Al analizar las características litológicas, mineralógicas así como las estructuras sedimentarias de la secuencia estratigráfica Batonia-Calloviana, en que se hallan los horizontes radiactivos del área de Tezoatlán, se puede postular que las rocas correspondientes a dicha secuencia, es decir, las Formaciones Otatera y Yucuñuti, se depositaron en un ambiente deltaico, particularmente en la subzona "Fren-



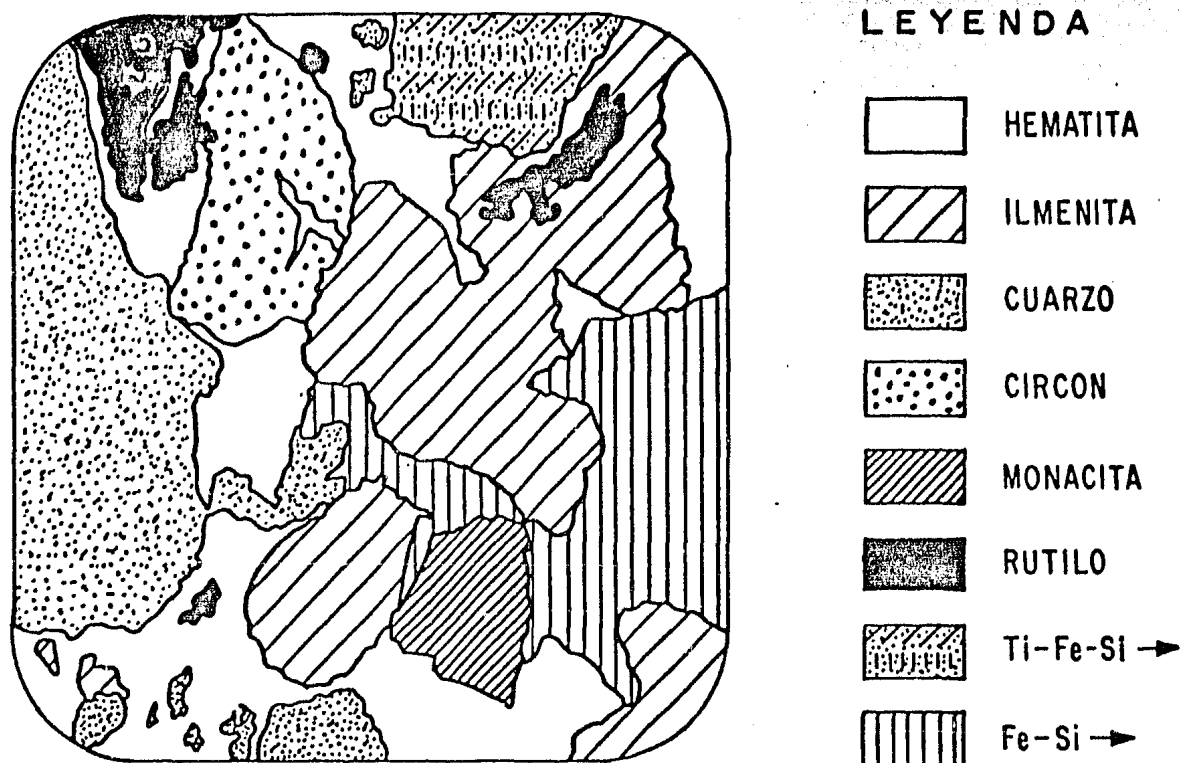


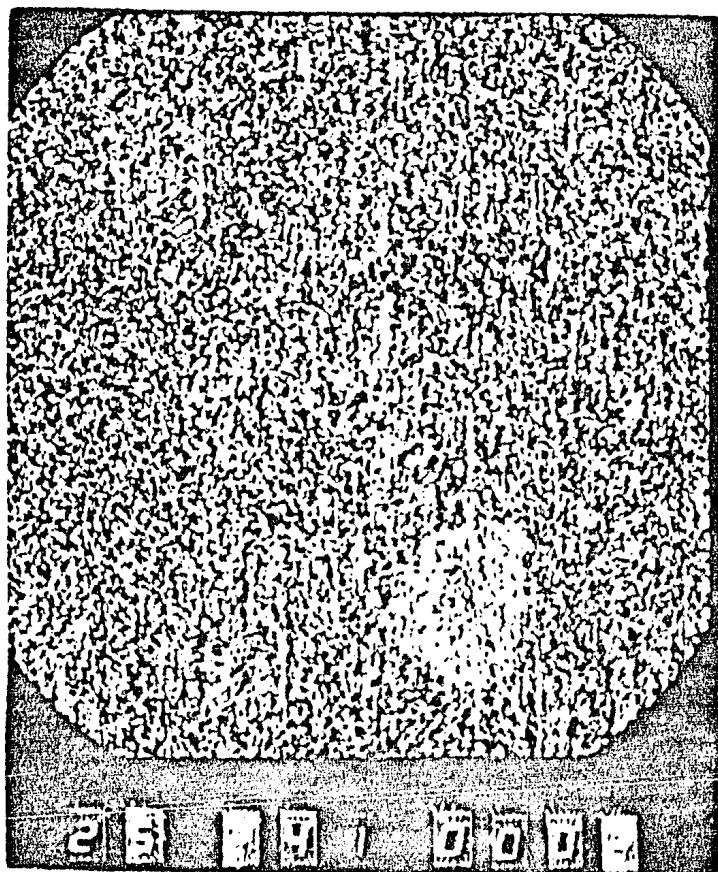
FIG. 20.- INTERPRETACION DE LA MINERALOGIA PRESENTE EN EL CAMPO N° I, ANALIZANDO LOS BARRIDOS, ANTES SEÑALADOS



Campo No. 1, muestra EMM-48-E, correspondiente a la Anomalía Pipi 1 y clasificada como Arenisca Fe ruginosa. (Escala: 24x1.5: 36).

FOTO No. I

LOS BARRIDOS SIGUIENTES CORRESPONDEN AL CAMPO No. 1

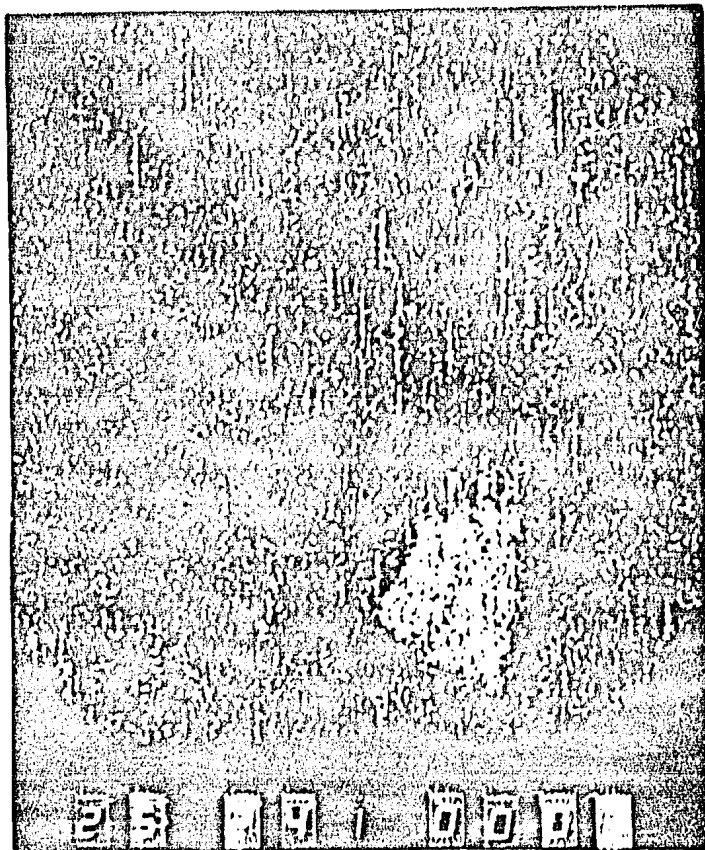


Barrido No. 1, por el elemento:

Torio (Th).

(Escala: 24x1.5: 36)

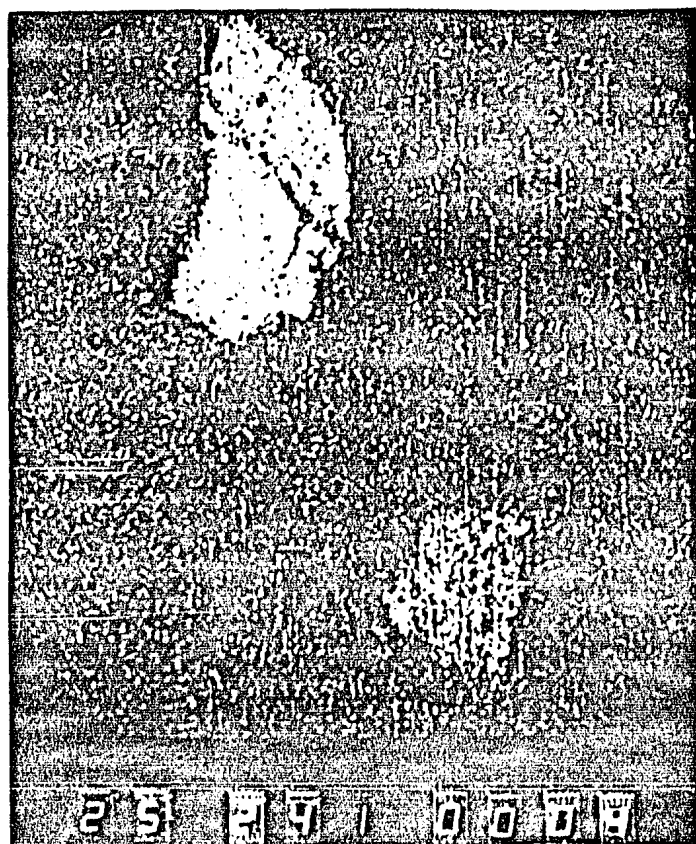
FOTO No. II



Barrido No. 2, por el elemento: Cerio: (Ce).

(Escala: 24x1.5: 36)

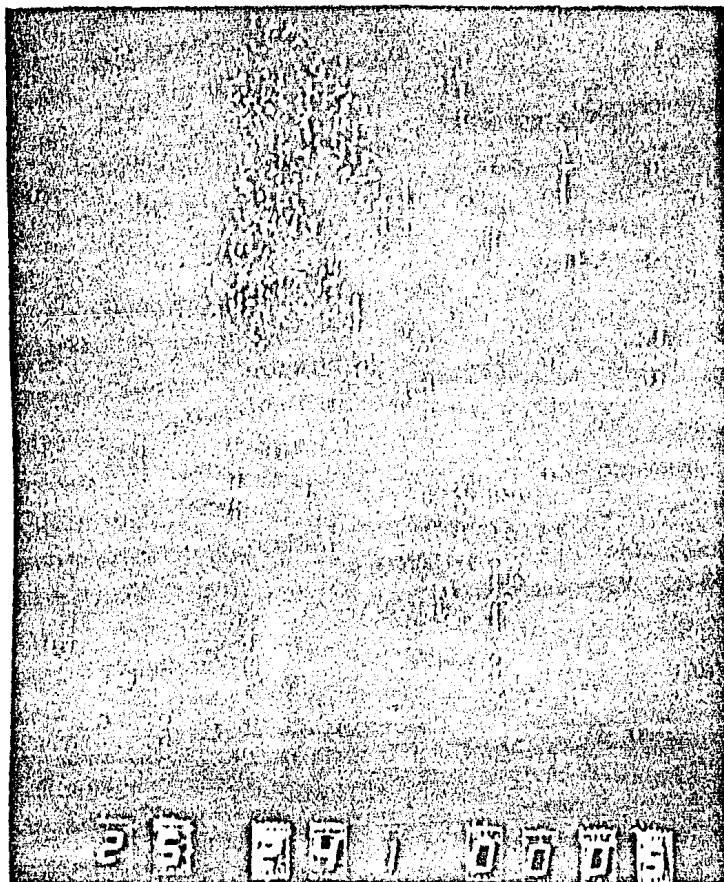
FOTO No. III



Barrido No. 3, por Fósforo: (P). (Escala: 24x1.5:36).

Nota: Al analizar el campo por Fósforo, se distinguió que este elemento se confunde con el Circonio y por esta razón, el mineral de la parte superior, también se detectó ya que corresponde al Circonio.

FOTO No. IV



Barrido No. 4, por el elemento:

Circonio: (Zr).

(Escala: 24x1.5: 36)

FOTO No. V

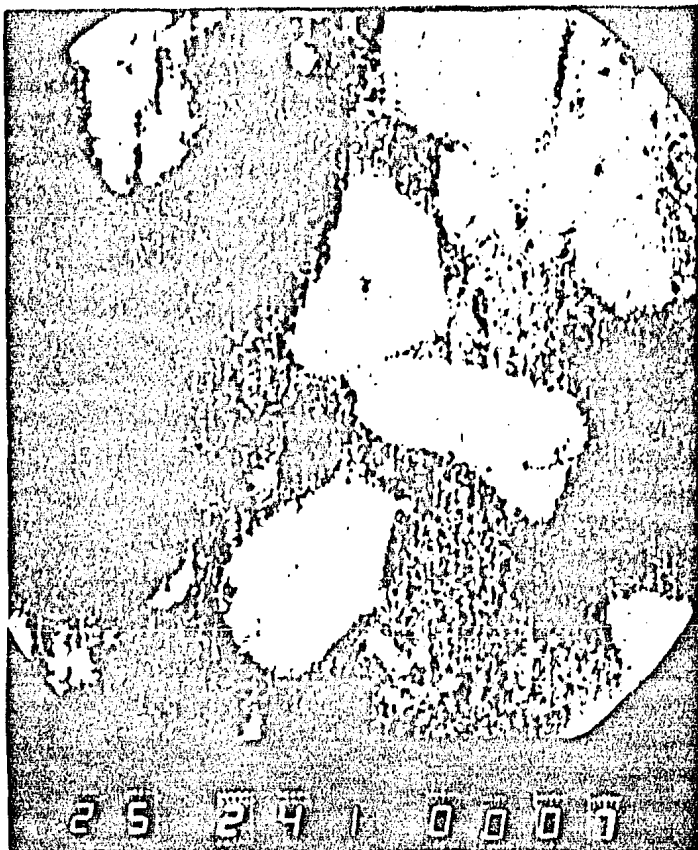


Barrido No. 5, por el elemento:

Sílice: (Si).

(Escala: 24x1.5: 36)

FOTO No. VI



Barrido No. 6, por el elemento:

Titanio: (Ti).

(Escala: 24x1.5: 36)

FOTO No. VII



Barrido No. 7, por el elemento:

Hierro: (Fe).

(Escala: 24x1.5: 36)

FOTO No. VIII



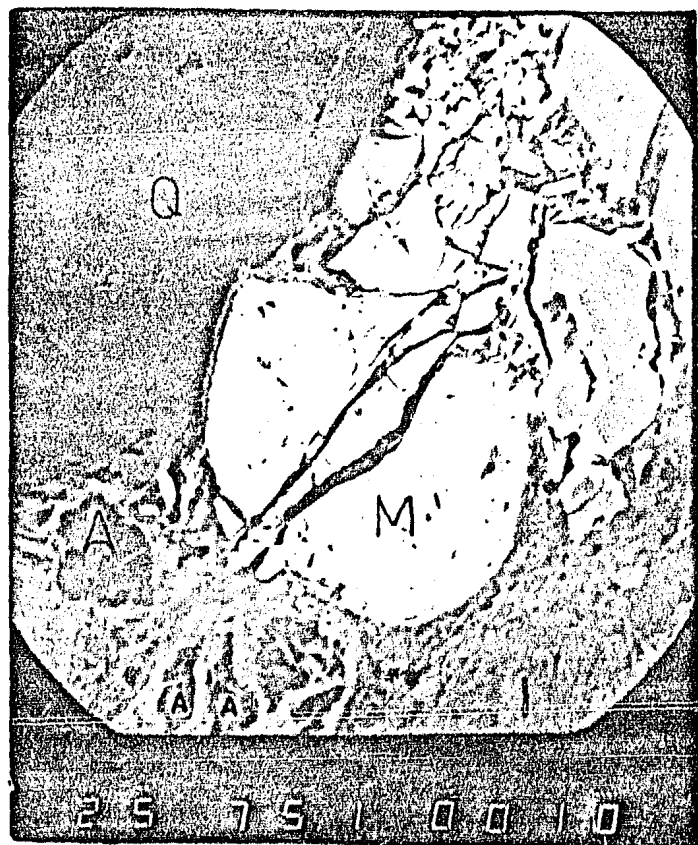


Campo No. 2, muestra: EMM-48-E.  
Anomalía Pipi 1, "Arenisca Ferru-  
ginosa", (Escala: 20x1.5: 30)

L E Y E N D A :

- Q Cuarzo
- M Monacita
- Z Circón
- H Hematita
- I Ilmenita

FOTO No. IX



Campo No. 3, muestra: EMM-48-E.  
Anomalía Pipi 1, "Arenisca Fe-  
rruginosa". (Escala: 75x1.5:  
112.5)

L E Y E N D A :

- Q Cuarzo
- M Monacita
- I Ilmenita
- A Anfíbol

FOTO No. X

te de Delta", con aporte de terrígenos y el desarrollo al mismo tiempo de un medio lagunar debido a pulsaciones del fondo marino. Como evidencias de esto, se tiene: la estratificación gradada, estratificación cruzada y la presencia de horizontes de coquinas interestratificadas dentro de la secuencia clástica. Considerando estas evidencias, se podría suponer que el medio de transporte es una corriente que se mueve en una dirección particular, con una velocidad continuamente variante y combinada con rápidos cambios en su dirección y fuerza; de tal manera que genere dos procesos de depositación respectivos: uno repetitivo con depósito de material gradado en una dirección horizontal y otro que origina la estratificación cruzada.

En relación al tipo de rocas que poseen la radiactividad anómala, es decir las "Arcosas Ferruginosas", se puede mencionar ciertos caracteres generales correspondientes a esta clase de rocas: Las arcosas reflejan una fuente de suministro particular más bien que un particular ambiente de depósito, al ser derivadas de rocas plutónicas, es indudable que se originan en áreas de máximo levantamiento en donde con toda probabilidad están expuestas las rocas del basamento cristalino (comunemente terrenos graníticos y/o metamórficos). La depositación de este tipo de rocas requiere altos relieves y erosión vigorosa de las rocas origen y son consecuentemente depósitos continentales o neríticos o mixtos; formados en un ambiente oxidante en proximidad a un área de hundimiento rápido, pero como son depositadas en una gran variedad de ambientes, no puede decirse que sean características de uno en particular. A causa de que son depositadas bajo condiciones muy diferentes, el tamaño del grano y la clasificación de las arcosas varían considerablemente y muchas son conglomeráticas; también varían en los componen-

tes autigénicos accesorios y en el carácter de los estratos con los que están asociadas.

Respecto al mecanismo de depósito de los granos, es importante destacar que las partículas de un cierto tamaño y densidad relativa serán concentradas junto con partículas de tamaño más pequeño por densidad relativa mayor, ya que el cuarzo y el feldespato son con mucho los constituyentes más abundantes de las arenas, y tienen cercanamente la misma densidad relativa. El transporte largamente continuado, generalmente conduce a una uniformidad comparativa en tamaños más pequeños, los minerales más pesados son, por lo tanto, en su mayor parte, encontrados en los granos más finos de la arena y frecuentemente están casi ausentes de los granos más gruesos.

Por consiguiente, las características generales anteriores son indicativas respecto al origen de las arcosas ferruginosas y corresponden a las observaciones realizadas en relación a la litología, particularmente en cuanto al ambiente de depósito en sí de la roca, al tamaño de grano, (de fino a medio y aún grueso y de aspecto conglomerático, predominando el primero y ocasionalmente los otros), a la estratificación gradada y cruzada, así como a la asociación y disposición de los minerales pesados (como la característica importante observada en las muestras EMM-48-F y EMM 215-1, (Apéndice A) de presentar bandas o franjas con mayor concentración de minerales pesados asociados con los granos más finos en la roca).

La asociación mineralógica en las arcosas y areniscas ferruginosas radiactivas, reflejan el suministro de minerales pesados en áreas de oxidación relativamente cercana a la fuente de origen de las mismas; en este caso, las rocas metamórficas de los Complejos Acatlán y Oaxaqueño



que contiene en abundancia dichos minerales, los cuales fueron transportados produciendo redondeamiento, como se aprecia en el circón y monacita,

## VI.3. Geoquímica del uranio

### VI.3.1. Introducción:

A partir de 1930 se llevan a cabo las primeras campañas de exploración geoquímica en la Unión Soviética, encausadas a la investigación de estaño, cobre, cinc, cromo, tungsteno y níquel en suelos y sedimentos de arroyo, utilizando métodos de análisis espectrográficos y de colorimetría. Esta técnica fue ampliamente difundida y en muchos países es actualmente una práctica obligatoria, debido a que en muchos casos ha proporcionado resultados satisfactorios. Dentro de los métodos de exploración por uranio, la exploración geoquímica, a diferencia de los métodos radiométricos, permite determinaciones directas del uranio; dando una seguridad mayor que la obtenida por la medición de las radiaciones que según los tipos pueden ser emitidas por diversos elementos radiactivos, dentro de los que se encuentran algunos sin interés económico.

Muchos experimentos se han realizado en los Estados Unidos, Canadá y la URSS principalmente, a partir de la década de los 50's, cuando este mineral empieza a ser considerado de importancia estratégica para el futuro. Dichas experiencias han determinado que el uranio es un elemento geoquímicamente persistente, debido a diversos factores, mismos que serán expuestos posteriormente; los cuales le permiten viajar a grandes distancias de su origen, formando patrones de dispersión que son muy importantes para la geoquímica de exploración, ya que ésta se encarga de analizar la dispersión geoquímica de un elemento; es decir,

la migración de los elementos desde los puntos de mayor concentración hacia los de menor concentración. La interpretación de patrones o figuras de dispersión constituye el fin para determinar la existencia de un yacimiento.

La geoquímica es una herramienta muy útil en la búsqueda de yacimientos de uranio, por la gran movilidad de este elemento en el ambiente secundario y la disponibilidad de métodos analíticos susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la exploración. A manera de referencia se puede citar algunos casos, donde el método geoquímico por uranio ha proporcionado buenos resultados; tal es el caso: En Sonestown, Pa., E.U.A. (Rose et al., en sed. de arroyo; Price, 1978, en aguas sup.) encontraron valores anómalos a más de una milla aguas abajo de la mineralización. En Spokane Mountain, Washington, E.U.A. (Robbins, 1978, en sed. y suelos), se localizó un yacimiento hidrotermal a 100 m, de profundidad, utilizando análisis de Rn y U; este último por fluorimetría. En la provincia del Río Alligato, Australia (Foy y Gingrich, 1977) se realizó un estudio de orientación con sed. de arroyo, determinando una anomalía suficientemente grande como para ser detectada en un programa de reconocimiento. En Peña Blanca, Chis., México (Carraway y Godell, 1980), realizaron un levantamiento de sedimentos de arroyo, que analizaron por tres métodos, determinando varias anomalías en las partes altas de los abanicos aluviales.

Antes de continuar con el desarrollo de este capítulo, se debe aclarar que los conceptos, gráficas y otros datos que aquí se exponen, se han obtenido de la bibliografía citada.

### VI.3.2. Consideraciones Geoquímicas:

El Uranio es uno de los elementos radiactivos que junto con el Torio, se encuentran en mayor cantidad en rocas y yacimientos minerales; con una concentración media de (U) en la corteza terrestre de unos 2.7 ppm (2.7 gr/Th), donde las rocas ígneas de tipo ácido contienen el doble de proporciones de U que las rocas sedimentarias (Tabla No. 3).

Elemento*	Corteza terrestre	Ultra-máficas	Basalto	Grano-diorita	Granito	Pizarra	Limo-lita	Suelo	Agua de ríos
Ag.	0.07	0.06	0.1	0.07	0.04	0.05	1	0.1	0.3
As.	1.8	1	2	2	1.5	15	2.5	1-50	2
Bi.	0.17	0.02	0.15	--	0.1	0.18	--	--	--
Co.	25	150	50	10	1	20	4	1-40	0.2
Cu.	55	10	100	30	10	50	15	2-100	7
Hg.	0.08	--	0.08	0.08	0.08	0.50	0.05	0.03	0.007
Mo.	1.5	0.3	1	1	2	3	1	2	1
Ni.	75	2000	150	20	0.5	70	12	5-500	.3
Re.	0.0005	--	0.0005	--	0.0005	--	--	--	--
Se.	0.05	--	0.05	--	0.05	0.6	0.08	0.2	0.2
Th.	10	0.003	2.2	10	17	12	2	13	0.1
U	2.7	0.001	0.6	3	4.8	4	2	1	0.4
V	135	50	250	100	20	130	15	20-500	.9
Zn	70	50	100	60	40	100	25	10-300	20.

\* Elementos pertenecientes a la asociación geoquímica del Uranio.

Tabla No. 3.- Rango de abundancia de algunos elementos menores y traza, en la corteza terrestre, rocas, suelos y agua de ríos (valuado en ppm, excepto las aguas de ríos en ppb.).

Tomado de Levingston, 1984 (pág. 43).

Químicamente el uranio hexavalente es anfótero; esto significa que reacciona como una base frente a los ácidos para formar compuestos de uranilo y como un ácido frente a las bases para constituir uranatos. El uranio se encuentra en la naturaleza formando 3 isótopos semiestables: el  $U^{234}$ ,  $U^{237}$  y  $U^{238}$ ; este último constituye el elemento más abundante (98.23%) y es extremadamente móvil.

La geoquímica define dos ambientes a estudiar: el ambiente primario o endógeno y el ambiente secundario o exógeno, de los cuales el secundario es el que mayor importancia tiene en el estudio de los minerales de uranio; por lo que se mencionarán en forma breve las características del uranio en el ambiente primario.

En el ambiente primario el uranio es un elemento móvil que tiende a acumularse en los líquidos residuales de la actividad magmática; principalmente porque el ion uranoso ( $U^{4+}$ ) tiene una carga alta, la cual previene a éste de la sustitución de cualquier elemento de su propio tamaño (Ca, Na), como ser encontrado en las estructuras de los minerales formadores de roca de pronta cristalización, es decir, en las redes cristalinas de silicatos y de minerales accesorios (Circón, Apatito, etc.) o como óxido en imperfecciones o fisuras de estos minerales. Así, el contenido de uranio en rocas ígneas aumenta un promedio de 0.001 ppm en rocas ultramáficas a 4.8 ppm en granitos, mientras que el contenido de torio en rocas ígneas aumenta similarmente un promedio de 0.003 ppm en rocas ultramáficas a 17 ppm en granitos. Se puede ver que la relación Th/U queda esencialmente constante a través del proceso de diferenciación y que ambos elementos se acumulan en el magma residual; similar al U y Th, el contenido de "K" de las rocas aumenta con la diferen-

ciación. En este ambiente se forman principalmente óxidos primarios, tales como la Uraninita y la Pechblenda, bajo condiciones de elevada presión y temperatura con una considerable reducción de oxígeno.

En la última etapa de la diferenciación, el uranio puede cristalizar (substituir) en minerales primarios tales como el Circón, Allanita, Esfena, Pirocloro, Monacita, Xenotima y Apatita o donde está suficientemente concentrado como mineral de uranio, tal vez como la Uraninita. Sin embargo, con la cristalización tardía de las rocas, los principales minerales formadores de roca (Qz, Feld., minerales máficos) pueden alcanzar el tamaño del uranio, aunque estos minerales tengan muy bajas cantidades de elementos; por lo que en algunos granitos el uranio puede estar disperso en forma iónica o diseminación molecular que generalmente es fácil lixiviar por soluciones ácidas y que puede ser encontrado absorbido en la superficie del cristal, en defectos de la estructura cristalina y alrededor de los granos, en inclusiones fluídas o en áreas de alteración deutérica.

El uranio inestable (que existe fuera de la estructura cristalina) es relativamente móvil, particularmente si se encuentra microfracturas que permiten la penetración de agua, como si fuera uranio liberado por intemperismo químico de los minerales formadores de roca; el cual provee una fuente de uranio para la subsecuente mineralización secundaria. El torio puede también concentrarse en algunos de los minerales arriba mencionados, particularmente el Circón y Monacita, pero puede también ser concentrado en otros minerales del estado tardío, tales como la Torianita, Dadivita y Brannerita, con o sin "U".

En lugar de cristalizar en la roca ígnea misma, el Uranio puede ser separado de la cámara magnética y precipitar como Uraninita, Brannerita y minerales Uranil-Silicatos en la fase tardía de vetas hidrotermales.

En el ambiente secundario (Tabla No. 4), los agentes de la meteorización provocan la oxidación del ion uranoso ( $U^{4+}$ ) a ion ( $U^{6+}$ ) de mayor movilidad, por lo que puede migrar a distancias considerables de la fuente, hasta que encuentre agentes precipitantes que permitan su fijación, resultado en la formación de compuestos y complejos químicos bajo condiciones de pH variables:

a pH altos (ácidos)

Sulfato de Uranio  
Hidróxidos de Uranio

a pH bajos (alcalinos)

Bicarbonato y Tricarbonato  
Fosfatos  
Vanadatos, etc.

En este ambiente se manifiestan 3 factores geoquímicos importantes:

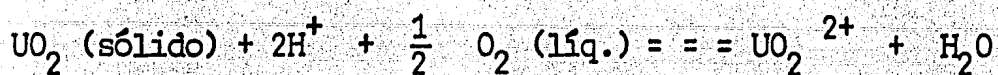
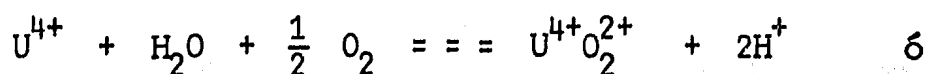
- 1.- La facilidad de oxidación del  $U^{4+} \rightarrow U^{6+}$  formando el ion uranilo  $(UO_2)^{++}$ , que es una unidad con suficiente estabilidad para mantener su identidad en soluciones, el cual puede pasar a formar parte de otros complejos por precipitación a minerales de uranio de temperatura baja o por reducción y descomposición se precipita en la forma uranosa. La reacción para oxidación del uranio tetravalente en agua es:



Tabla No. 4.- Movilidad relativa de los elementos en el ambiente secundario por Andrews-Jones (1968).

MOVILIDAD RELATIVA	CONDICIONES AMBIENTALES			
	OXIDANTE	ACIDO	NEUTRO A ALCALINO	REDUCTOR
Muy alta			Mo, V, U, Se, Re	
Alta	Mo, V, U, Se, Re	Mo, V, U, Se, Re		
Media				
Baja				
		Fe, Mn	Fe, Mn	Fe, Mn
Muy baja				
a				
Inmóvil				Mo, V, U, Se, Re

Tomado de Levinson, 1974 (pág. 143).



2.- El  $U^{4+}$  posee isomorfismo cuando cristaliza con otros elementos como Th, Zr, Ca, y  $Fe_2$ , por lo que se le encuentra en muchos óxidos complejos de alta temperatura, silicatos y fosfatos, por lo menos en pequeñas cantidades. Langmuir (1978) y Romberger (1979), han reportado un total de 43 complejos: 15 con agua, 10 con fluoruro, 9 con fosfato, 4 con sulfato, 3 con carbonato y 2 con cloruro. Sin embargo, los complejos más importantes son los carbonatos y varios fosfatos, particularmente el ácido uranil bifosfato  $UO_2 (HPO_4)^{2-}$ . El uranio bajo estas condiciones es más móvil que otros elementos, como el Zn y el Cu, ya que estos precipitan a un pH bajo y no forman complejos estables solubles en aguas alcalinas mientras el ion uranil en un ambiente oxidante, puede ser precipitado de una solución cuando se combina con vanadato, fosfato, arseniato, silicato, carbonato, sulfato. Asimismo, los iones uraniles pueden también ser reprecipitados de soluciones después de la disociación de complejos uraniles de carbonato a temperaturas elevadas.

3.- Los minerales primarios de uranio ( $UO_2$  --  $U_3O_8$ ) poseen gran estabilidad, por lo que pueden formarse en ambientes que van desde las temperaturas y presiones elevadas, hasta los de temperatura ambiente y presión atmosférica. Además tiende a absorberse en materia orgánica y en superficies de minerales como arcillas, ceolitas y óxidos de Fe.

Cherbert y Coulomb en 1958 mencionan que en el agua, el uranio se hidrata y combina con otros iones disueltos, entrando a formar parte de complejos carbonatados, los que representan un rango de estabilidad grande frente a valores de pH muy diversos, mientras que en ausencia de iones carbonatados la migración se produce por medio de coloides como el  $\text{SiO}_2$  y los óxidos férricos hidratados que por absorción contribuye a mantener el uranio bajo condiciones de pH desfavorables.

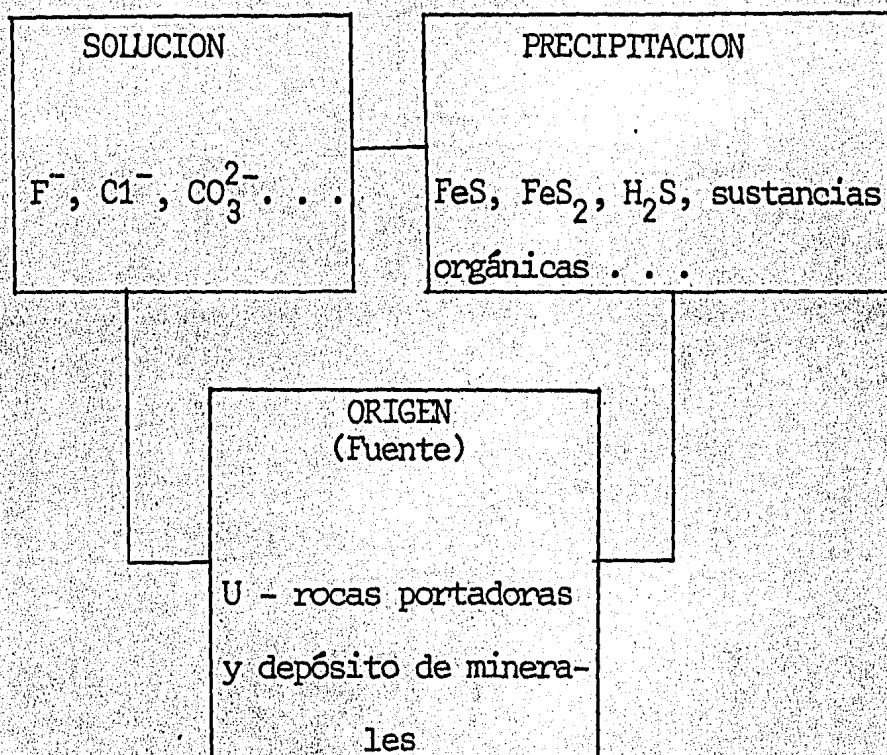
Viene et al., en 1958 afirma que la materia orgánica soluble también sirve como vehículo de transporte del uranio, formando con éste complejos muy estables.

En general el ciclo geoquímico del uranio principia con la formación en el ambiente primario del ion uranoso ( $\text{U}^{4+}$ ), que posteriormente se oxida en el ambiente secundario a ion uranio ( $\text{U}^{6+}$ ), iniciándose el proceso de dispersión. Posteriormente a este proceso pueden actuar diferentes mecanismos que modifican la dispersión, provocando la fijación del ion uranilo en diversos materiales (aluvión, suelos, vegetales, rocas, etc.), y por consiguiente la formación de estructuras de dispersión o de concentraciones anómalas (con o sin interés económico) de minerales secundarios, que finalmente bajo condiciones reductoras se llega a formar el ion uranoso a partir del ion uranilo y constituir concentraciones a baja presión y temperatura de minerales primarios.

Los principales tipos genéticos de depósitos de uranio, el ciclo de formación de cada uno de ellos comprende la fuente de uranio-solución o desintegración-precipitación. Prácticamente todos los tipos de uranio pueden servir de fuente para la formación de otro, dependiendo de las

posibilidades para la movilización del uranio en la primera.

### El Ciclo del Uranio



Tomado de Kostov, 1977 (pág. 20).

Muchos investigadores han estudiado las condiciones de fijación del uranio, estableciéndose ciertos mecanismos, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- 1.- Por procesos de capturar y coprecipitación con sexquióxidos gelatinosos de Fe y Mn, debido a variaciones en los valores de pH y Eh de las soluciones por la mezcla con aguas de diferente composición (Ostle y Ball, 1973).
- 2.- Por fenómenos de absorción en materia orgánica o arcillas, debido

a cambios en el pH del medio (Martin Calvo, 1974).

- 3.- Por reducción del ion uranilo a uranoso, provocado por la acción del ácido sulfhídrico, liberado en la descomposición de materias orgánicas o por procesos biogénicos (Berner, 1973).
- 4.- Por cambios sensibles en la velocidad y presión de las soluciones portadoras, que provocan la precipitación del uranio en aguas estancadas, fisuras de las rocas o interiores de cavernas.

El uranio posee una asociación geoquímica característica e independiente del tipo de yacimiento de que se trate, siendo los más importantes el Th, V, Se, As, Mo, Cu, Bi, Co, Ni, los cuales se encuentran asociados en el ambiente primario y puede que posterior a una movilización vuelvan a asociarse en el ambiente secundario. En esta asociación mineral existen elementos que poseen una mayor movilidad que el resto, y sirven como elementos indicadores del yacimiento, cuando éstos son constituyentes principales de una mineralización. Sin embargo, el uso de elementos indicadores en la prospección geoquímica es justificable cuando éste posee una movilidad diferente a la del elemento investigado o cuando la determinación analítica del elemento indicador resulta más simple y económica (Tabla No. 5 y 6).

TIPO DE ROCA	ASOCIACION
1.- Asociaciones plutónicas	
graníticas	Ba-Li-W-Sn-Mo-Zr-Hf-U-Th-Ti
Pegmatitas	Li-Rb-Cs-Be-TR-Nb-Ta-U-Th-Zr- Hf-Sc

2.- Depósitos de sulfuros hidrotermales	
asociaciones generales	Cu-Pb-Zn-Mo-Au-Ag-As-Hg-Se-Te- Co-Ni-U-V-Bi-Cd
3.- Rocas metamórficas de contacto	
4.- Asociaciones sedimentarias	
Esquistos negros	U-Cu-Pb-Zn-Cd-Ag-Au-V-Mo- Ni-As-Bi
fosforitas	U-V-Mo-Ni-Ag-Pb-F-TR
placeres y arenas	Au-Pt-Sn-Nb-Ta-Zr-Hf-Th-TR
lechos rojos continentales	U-V-Se-As-Mo-Pb-Cu
5.- Varios	

---

TR = elementos de tierras raras.

Tomado de Levinson, 1974 (pág. 60).

Tabla No. 5.- Asociaciones geoquímicas de elementos menores y traza modificada por Andrews-Jones (1986).

Elemento indicador	Tipo de depósito de U
Se, V, Mo, Cu, C	en arenisca
Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Ag, V, Au, Se	en vetas hidrotermales
Rn, He, Ra	en todo tipo de depósito
Th, Mo, Nb, Ti, TR	en pegmatitas
Nb, Th, Cu, F, P, Ti, Zr, TR	en carbonatitas

Tomado de Levinson, 1974 (pág. 54)

Tabla No. 6.- Elementos indicadores usados en la detección de mineralización de Uranio.



### VI.3.3. Técnicas de Análisis y Muestreo:

Toda técnica de análisis requiere de un procedimiento que suministre información segura, rápida y económica, sin embargo, no todas las técnicas resultan convenientes para la totalidad de materiales que son analizados en el curso de la exploración geoquímica. Dichas técnicas deben satisfacer las siguientes exigencias:

- 1.- Sensibilidad: La investigación exige valores del orden de ppm en sedimentos de arroyo, suelos, vegetales y rocas, mientras que en el agua de ppb.
- 2.- Precisión: es satisfactoria entre 15 - 20%
- 3.- Rapidez: se necesita conocer los resultados del análisis de muestras a la mayor brevedad posible, con el objeto de orientar la exploración en función de éstos.
- 4.- Simplicidad: los materiales y productos utilizados deben ser de fácil transporte y manejo, accesible a personal no especializado.
- 5.- Economía: a menores costos las investigaciones podrán ser más extensas.

Las técnicas más utilizadas actualmente y que tienen aplicación práctica en la exploración geoquímica por uranio son:

**FLUORIMETRIA:** Este método es el más importante para el análisis de uranio y utiliza la fluorescencia que emite una pastilla obtenida por fusión de una sal de uranio con fluoruros y carbonatos, al ser excitada por radiación ultravioleta, que representa una proporción entre la intensidad de la fluorescencia y el contenido de uranio. Posee una sensibilidad de 0.2 ppb en agua y 1 ppm en roca, por lo que se le usa para menos de 100 ppm. Es aplicable a suelos, aluviones y aguas naturales y puede ser utilizado en el campo.



**ESPECTROMETRIA DE EMISION:** Esta técnica requiere que el uranio y sus productos de desintegración se encuentren en equilibrio radiactivo, lo cual se torna en inconveniente para la investigación de suelos, aluviones y rocas meteorizadas. La técnica consiste en que los átomos al ser excitados mediante un arco eléctrico, éstos absorben energía y cuando regresan a su estado normal emiten energía electromagnética, la cual es separada o difractada y registrada, puede ser identificada y cuantificada de acuerdo al contenido. El proceso proporciona información sobre varios elementos, lo cual es una de sus ventajas, sin embargo, posee poca sensibilidad del orden de 500 ppm y su aplicación en el campo es de uso limitado.

**FLUORESCENCIA DE RAYOS X:** Posee un límite de detección de 10 ppm y es muy recomendable para el análisis de multielementos con concentraciones de más de 100 ppm y elementos cuyo análisis es difícil o caro por otros métodos (Th, Sn, V). El análisis se basa en que los átomos de la muestra al ser irradiada con rayos "X", éstos sufren un desplazamiento en los electrones de sus niveles de menor energía, siendo desplazados por otros de niveles de mayor energía, lo que hace se desprendan rayos "X" que pueden ser medidos en el espectro originado. Se puede analizar desde el Na hasta el U, no es destructivo. A la fecha existen equipos portátiles.

**COLORIMETRIA:** Posee alta sensibilidad, del orden de 4 ppm, es de bajo costo y se puede realizar en el campo. El análisis se basa en la formación de soluciones coloreadas por medio de reactivos, la determinación depende del color y la cantidad del elemento en la muestra, la cual puede hacerse visualmente o por medio de equipo electrónico.

**ACTIVACION NEUTRONICA:** Posee una gran sensibilidad, del orden de 0.02 ppm de U en sedimentos, rapidez de análisis, alta precisión, amplio

rango de aplicación y disminución del riesgo de contaminación por reactivos, sin embargo, necesita de un reactor nuclear. El método consiste en irradiar la muestra mediante protones, neutrones u otras partículas en un reactor nuclear, acelerador de partículas o ciclotrón, convirtiendo a los elementos en isótopos radiactivos, los cuales mediante las transmutaciones nucleares que sufren son identificados y medidos con gran exactitud.

**MEDIDORES DE RADON:** Existen aparatos sofisticados y muy manuales que detectan el  $Rn^{222}$  (producto de descomposición del U), que se presenta como gas, es fácil de medir en suelos, aguas y manantiales. El método se basa en la detección de la partícula alfa emitida durante el decaimiento del Polonio 218 y su medición puede efectuarse utilizando cámaras de ionización, expresando la concentración en base al flujo de iones provocado por el gas activo o bien por centelleometría, contando los destellos producidos por las partículas al chocar contra una película de sulfuro de cinc, frecuentemente activado con plata. La utilización de la cámara de ionización proporciona una sensibilidad mayor, pero en la práctica se prefiere la celda de sulfuro de cinc por su simplicidad y solidez, que la hacen más apta para los trabajos de campo.

Las unidades de concentración del gas Radón utilizadas en la prospección son el emán ( $=10^{-10}$  curie/litro) y el pirocurie ( $=10^{-12}$  curie), donde un "curie" es la cantidad de cualquier isótopo radiactivo que alcance  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo. Esta técnica es recomendable en las etapas de exploración detallada.

**ANALIZADOR DE URANIO:** El aparato de la casa Scintrex denominado "UA-3 Uranium Analyzer" utiliza la propiedad fluorescente del uranio cuando es irradiado con luz ultravioleta, la cual es proporcionada por un láser de nitrógeno. Su principal aplicación es el análisis directo del

uranio en aguas naturales sin preparación previa de la muestra, salvo la adición de un reactivo que neutraliza la presencia de materia orgánica, también se pueden realizar análisis en sedimentos de arroyo, suelos, rocas, previa preparación de la muestra. La medición es rápida y precisa, con una sensibilidad del orden de 0.05 ppb de U.

Como se dijo anteriormente, en este trabajo se tratará de enfocar la importancia que un estudio geoquímico por uranio tendría en la zona estudiada y para ello se deben tomar en cuenta los materiales a muestrear, mismos que deben permitir observar los halos de dispersión existentes en el ambiente secundario, ya que el estudio de la movilidad, fijación, adsorción, etc. del uranio en este ambiente, dará luz acerca de un posible yacimiento. A continuación se exponen las características generales de los materiales a muestrear:

a) Aguas Superficiales: El agua es el agente más importante en la dispersión, por las aureolas a que da lugar, siendo éste un material de muestreo de interés práctico en todas las etapas de exploración, ya que se utiliza tanto en la limitación de zonas con favorabilidad de uranio, así como la investigación de depósitos profundos. La amplitud de las aureolas de dispersión hidrogeoquímicas varían desde unos pocos metros hasta el orden de muchos kilómetros, dependiendo de una serie de factores tales como: la movilidad del elemento, carácter de las soluciones acuosas, condiciones climáticas, variaciones estacionales de caudal, características geológicas, estructurales y geomorfológicas de las áreas de drenaje. El contenido de uranio en las aguas superficiales varía considerablemente en función de la naturaleza de las rocas que drenan y de su composición, esto es: el contenido en determinados aniones como son los sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, etc. y el carácter de algunos parámetros fisicoquímicos como el pH, Eh, temperatura y gases di-

sueltos, que serán susceptibles de incorporar más o menos uranio en solución.

b) Sedimentos de Arroyo: El contenido de uranio en los sedimentos de arroyo es superior al de las aguas y se expresa en ppm, su estudio puede realizarse durante los períodos de sequías o en zonas áridas con redes hidrográficas poco desarrolladas. La parte más fina de los sedimentos de arroyo con proporciones variables de limos, arcillas y materia orgánica, es un buen medio para la observación de los halos de dispersión del uranio, por ser excelentes fijadores de éste, formándose así estructuras de dispersión más reducidas que las del agua, alcanzando cientos de metros. Los sedimentos de arroyo son muy utilizados en la exploración regional, donde es importante la conservación de las muestras pues permite reiterar los análisis en caso de dudas y realizar investigaciones por otros elementos asociados, cuyo conocimiento puede contribuir a facilitar la exploración.

c) Suelos: Debido a su naturaleza y composición, éstos son muy eficaces en la exploración por uranio, ya que contienen sustancias capaces de fijar el U por fenómenos de actividad superficial o intercambio iónico con arcillas, óxidos hidratados de Fe y Mn, materia orgánica, etc., convirtiéndose en los materiales superficiales de mayor aplicación, especialmente en la etapa de exploración detallada. Las características de los suelos son consecuencia de la interacción de factores orográficos, climáticos, litológicos y orgánicos. Los horizontes A y B son más adecuados para la observación que el horizonte C, por tener una distribución más homogénea de los elementos metálicos, evitando el muestreo de la capa única debido a las perturbaciones que ésta provoca en la dispersión de U.

d) Vegetales: La exploración por medio de vegetales puede ser eficaz

sobre suelos en zonas boscosas y pantanosas, en regiones de clima húmedo, donde se lleva a cabo una activa lixiviación de los suelos y en áreas desérticas, donde los sedimentos eólicos cubren los afloramientos mineralizados. Existen dos maneras de realizar la investigación de este material:

- 1.- Analizando el elemento buscado en determinados órganos del vegetal en cuyos tejidos fue almacenado (biogeoquímica).
- 2.- Investigando aquellas especies cuya distribución está regida por la existencia, en el suelo, de un elemento determinado (geobotánica).

La exploración de vegetales es útil en la etapa de semidetalle y detalle.

e) Roca: Las rocas han sido poco utilizadas en la exploración geoquímica, limitándose su investigación a los halos de dispersión primarios, que para el caso del uranio, resultan menos interesantes que las dispersiones secundarias, que en realidad son las más importantes para los fines de la exploración.

f) Gases: El estudio de los gases en la exploración por uranio es muy importante por indicar en forma directa y muy cerca del yacimiento, la presencia de elementos como el Rn que es el producto de la desintegración nuclear del  $U^{238}$ . El  $Rn^{222}$  es un gas inerte que no se combina químicamente con otros elementos y es libre de migrar a través de poros y fracturas en rocas y suelos, su desplazamiento puede incrementarse considerablemente por efecto del aire del suelo, circulando a través de contactos geológicos y zonas de fallas. Asimismo, el radón por ser un gas fácilmente soluble en las aguas subterráneas, puede alcanzar la superficie a través de filtraciones del terreno o de manantiales, pudiendo señalar como en el caso del aire del suelo, la existencia de mineralización de uranio sin que se exprese en superficie, por lo que

se utiliza en la exploración detallada.

#### VI.3.4. Interpretación:

El aspecto más importante en toda prospección geoquímica es sin duda la interpretación de los resultados, ya que intervienen muchos factores sobre la dispersión del o los elementos estudiados y el equilibrio que guardan éstos dentro del área de estudio, por lo que es necesario conocer datos geológicos, topográficos y metalogénicos, así como la determinación precisa por análisis estadístico (Distribución lognormal) del valor de fondo o Background, el límite superior de normalidad o Threshold y las concentraciones anómalas. Los objetivos de la interpretación son:

- a) La determinación de parámetros que pueden indicar la presencia de mineralización de uranio a escala regional y de detalle.
- b) Determinar el origen de las anomalías y su grado de importancia.

El conjunto de conocimientos mencionados conducirán a distinguir los valores que están relacionados a un yacimiento mineral, desechando así las falsas anomalías.

Con una población de muestras homogéneas, se puede construir una gráfica curva de frecuencia contra contenido, tipo campana de Gauss (Fig. No. 21) en la que se puede determinar el valor de fondo o Background y el límite superior de normalidad o Threshold, a partir del cálculo de la media  $\bar{X}$  y la desviación estandard así:

$$\bar{X} = \text{Background}$$

$$\bar{X} + 2\epsilon = \text{Threshold} \quad \circ \quad \bar{X} + 3\epsilon$$

Para los elementos menores y traza hay que cambiar la escala aritmética del contenido por una logarítmica (Fig. No. 22) ya que la gráfica correspondiente representa una mezcla de dos poblaciones, una normal y la otra anómala. Cuando la curva es muy complicada, se utiliza papel logarítmico de probabilidad.

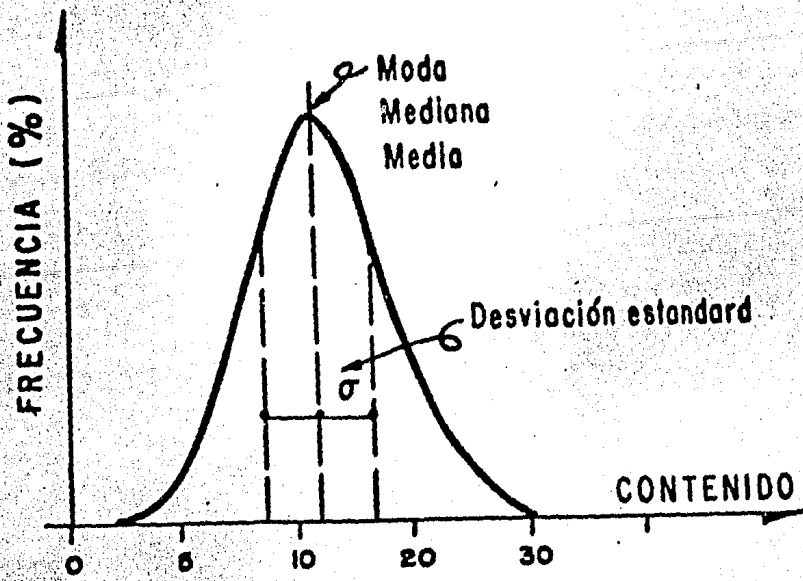


FIG. 21 - POBLACION HOMOGENEA (CAMPANA DE GAUSS)

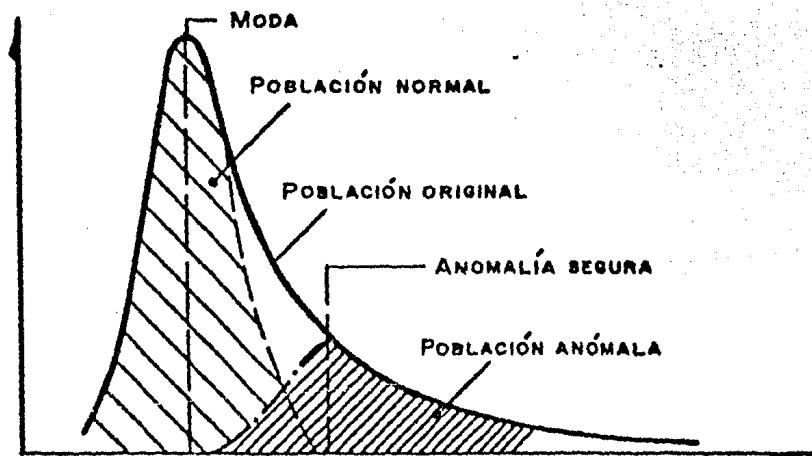
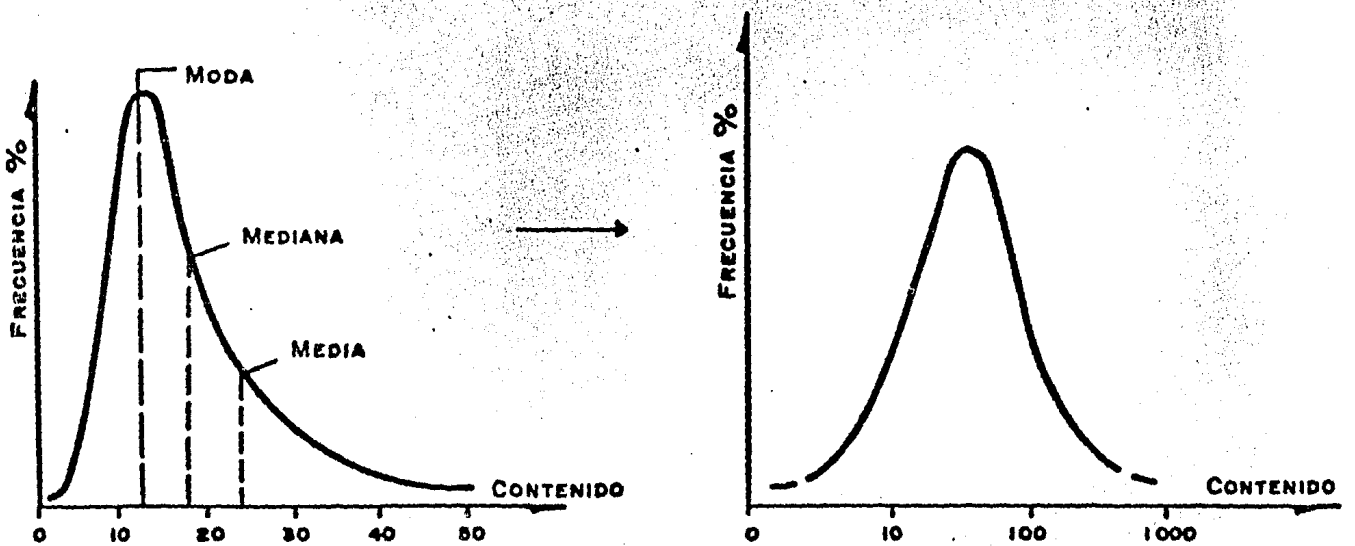


FIG. 22 - POBLACION LOGNORMAL

### VI.3.5. Etapas en la exploración Geoquímica:

Cualquier programa de exploración geoquímica deberá trazarse en base a una etapa de trabajos previos, es decir, que exista la cartografía geológica del área, indicios de mineralización del elemento a explorar y una investigación preliminar de orientación. También es indispensable que en el área a estudiar por el método geoquímico no existan obras de remoción del terreno (labores mineras, perforaciones, etc.) ya que las condiciones naturales son modificadas sustancialmente, asegurándose de este modo, la existencia de un cuadro geoquímico normal.

Orientación de la Exploración: El objetivo de un estudio de orientación es determinar el campo óptimo, parámetros analíticos e interpretativos que ayuden a distinguir una anomalía de un valor de fondo. Para este objeto se determinan el tipo de dispersión geoquímica existente en el área y la posible influencia de factores locales (clima, vegetación, precipitación, topografía, materia orgánica y óxidos de Fe-Mn sobre la dispersión de metales), a efectos de establecer el método operativo que posibilite la detección de un yacimiento. Se muestrean las aguas, sedimentos de corriente, suelo y vegetal, a fin de determinar la amplitud de la dispersión del Uranio en esos materiales y optar por aquellos que ofrecen mejores resultados.

En esta etapa de orientación, se establece la técnica analítica a utilizar en los trabajos posteriores, susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la prospección.

El análisis e interpretación de resultados en esta etapa de orientación indicarán:

- que las características geoquímicas de la mineralización conocida en el área no son necesariamente económicas.



### VI.3.5. Etapas en la exploración Geoquímica:

Cualquier programa de exploración geoquímica deberá trazarse en base a una etapa de trabajos previos, es decir, que exista la cartografía geológica del área, indicios de mineralización del elemento a explorar y una investigación preliminar de orientación. También es indispensable que en el área a estudiar por el método geoquímico no existan obras de remoción del terreno (labores mineras, perforaciones, etc.) ya que las condiciones naturales son modificadas sustancialmente, asegurándose de este modo, la existencia de un cuadro geoquímico normal.

Orientación de la Exploración: El objetivo de un estudio de orientación es determinar el campo óptimo, parámetros analíticos e interpretativos que ayuden a distinguir una anomalía de un valor de fondo. Para este objeto se determinan el tipo de dispersión geoquímica existente en el área y la posible influencia de factores locales (clima, vegetación, precipitación, topografía, materia orgánica y óxidos de Fe-Mn sobre la dispersión de metales), a efectos de establecer el método operativo que posibilite la detección de un yacimiento. Se muestrean las aguas, sedimentos de corriente, suelo y vegetal, a fin de determinar la amplitud de la dispersión del Uranio en esos materiales y optar por aquellos que ofrecen mejores resultados.

En esta etapa de orientación, se establece la técnica analítica a utilizar en los trabajos posteriores, susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la prospección.

El análisis e interpretación de resultados en esta etapa de orientación indicarán:

- que las características geoquímicas de la mineralización conocida en el área no son necesariamente económicas.

- El mejor medio de muestreo y su intervalo óptimo.
- Los parámetros a considerar en un programa de exploración geoquímica semidetallado y/o detallado que ayude a localizar más de cerca la mineralización.

Exploración Regional: El objetivo de ésta es el descubrimiento de anomalías geoquímicas relacionadas con indicios uraníferos o provincias geoquímicas que permitan la delimitación de áreas favorables, factibles de contener depósitos de interés económico. Se investigan fundamentalmente las aguas y sedimentos de arroyo.

Exploración a Semidetalle: Su objetivo fundamental es definir la fuente de dispersión u origen de las anomalías geoquímicas determinadas durante la exploración regional, así como la evaluación de las mismas.

Los materiales a investigar son aguas superficiales, sedimentos de arroyo, suelos y gases, con mallas de muestreo reducidas, entre 50 y 200 m, los elementos que se analizan deben ser los de menor dispersión secundaria y los elementos producto de la desintegración nuclear del  $U^{238}$ , es decir el  $Rn^{222}$  y  $Ra^{226}$ .

Exploración a Detalle: Es la última etapa de la investigación geoquímica y sus objetivos esenciales tienden a localizar el depósito mineral, precisar sus dimensiones e investigar las posibles relaciones con mineralizaciones vecinas, esto es, puede completar o confirmar resultados obtenidos por otras técnicas (radiometría), puede determinar la importancia de un indicio y establecer sus relaciones con indicios vecinos y fundamentalmente señalar la presencia de depósitos ocultos bajo cubiertas estériles.

Los materiales a muestrear son los suelos, perfiles de suelos, gas del suelo y manantiales y los depósitos superficiales no residuales. Si és-

tos no resultan favorables, se puede recurrir a las aguas subterráneas, vegetales o rocas, utilizando para el análisis un total de 400 muestras por  $\text{km}^2$ . Los elementos que se analizan son el U y Ra en suelos y perfiles de suelos U y Rn en las aguas subterráneas y Rn en el aire de suelo (emanometría).

## VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## VII. Conclusiones y Recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio geológico-radiométrico desarrollados en el Distrito de Huajuapán de León, Estado de Oaxaca, son las siguientes.

### VII. 1. Conclusiones

1. La secuencia estratigráfica de la región comprende rocas sedimentarias marinas, sedimentos de origen continental, rocas ígneas extrusivas e intrusivas y rocas metamórficas, cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el reciente. Están ausentes por no depósito las correspondientes al Paleozoico superior, Triásico, Jurásico inferior y Cretácico superior.

Las rocas que tienen la más amplia distribución son las del Terciario Volcánico, en menor proporción las del Cretácico medio y las del Jurásico medio-superior.

2. El espesor de la columna estratigráfica observada alcanza en total 2,810 metros, sin tomar en cuenta el espesor de las unidades metamórficas y volcánicas, presentes en la zona.

3. Se confirma la presencia en el área estudiada de sedimentos que corresponden cronológicamente a los intervalos Kimmeridgiano-Tithoniano del Jurásico superior y Neocomiano-Aptiano del Cretácico inferior.

4. Las rocas ígneas que afloran en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú representan dos orígenes distintos. El primero de ellos consiste de una actividad volcánica posterior a la acción de la Orogenia Permo-Triásica y anterior a la depositación clástica del Toarciano-Aleniano, de tal forma que dichos depósitos contienen fragmentos de rocas derivados de la actividad volcánica en mención.

El segundo se refiere a una actividad intrusiva desarrollada durante el Terciario y que provocó un levantamiento en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú, originando dislocamientos y zonas de debilidad por -- donde se emplazaron diques y cuellos volcánicos.

5. La evolución tectónica de la región NW de Oaxaca está relacionada con el desarrollo de 3 unidades geotectónicas. La primera comprende la formación, desde el Precámbrico hasta el Devónico, de cadenas montañosas orientadas N-S y constituidas por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas. La segunda unidad denominada Cuenca de Tlaxiaco, inicia su formación en el Paleozoico superior, el cual se interrumpe -- por el levantamiento ocurrido durante el período permo-Triásico y que perdura hasta el Jurásico inferior (Pre-Toarciano), cuando los mares -- Jurásicos penetran paulatinamente en las depresiones existentes, de modo tal que, en el Jurásico medio la cuenca alcanza su máximo desarrollo.

La tercera y última unidad geotectónica se origina durante el Cretácico medio y corresponde a la formación de una plataforma marina de grandes dimensiones que se extiende al Estado de Guerrero.

6. Las rocas volcánicas pre-toarcianas presentes en el núcleo del Anticlinorio Diquiyú, dan testimonio a la formación de un arco de islas al oriente de la faja tectónica de Oaxaca, como consecuencia de una actividad orogénica durante el Triásico.

7. El evento de mayor importancia desde el punto de vista geomorfológico es el laramídico, ocurrido a fines del Cretácico y principios del -- Terciario, que dió lugar a la formación de pliegues, dislocaciones comprensivas y distensivas. Este evento es seguido por una actividad volcá

nica que culmina en el Terciario superior y que rejuvenece fisiográficamente la región.

La actividad tectónica posterior ha contribuido a la transformación de este relieve original.

8. La estructura regional y local está gobernada por los elementos geotectónicos mencionados en el punto número cinco. La principal estructura es la denominada Anticlinorio Diquiyú, seguida del Anticlinorio Mixteco y del conjunto de estructuras plegadas en los alrededores de Tepocolula.

Los elementos metamórficos que se alinean con la Trichera Mesoamericana, formando una serie de pilares orientados N-S, son también importantes.

Existen fallas normales asociadas al plegamiento y a los elementos tectónicamente estables, que configuran el modelo de pilares y fosas observado. El fracturamiento posee dos sistemas de orientación preferente, - uno en dirección NE 45° - 60° SW y el segundo orientado al NW 30° - 45° SE.

9. El estudio geológico-radiométrico permitió definir los valores radiométricos normales de cada una de las unidades de roca que se encuentran aflorando en el área estudiada, los cuales se exponen en la Tabla No. 2, página 117 y de donde se obtiene un valor de fondo de 50 c.p.s. para la totalidad del área.

Los valores radiométricos anómalos encontrados definen 5 zonas de importancia económica, factibles de contener minerales radiactivos; de las cuales 4 de ellas poseen características litológicas, radiométricas y

estratigráficas muy similares y que seguramente se refieren a un mismo origen.

Los valores de las zonas anómalas en referencia se exponen, en orden de importancia, en el siguiente cuadro.

ZONA ANOMALA	ANOMALIA	LITOLOGIA	CPS <sup>+</sup>
1	Pipi I	Areniscas ferruginosas	100-2000
	Pipi II	Areniscas ferruginosas	100-500
2	10 y 10A	Ar. ferruginosas	70-1000
3	Yutatio	Ar. ferruginosas	200-600
4	Yosocuta	Ar. ferruginosas	100
5	Cuititió	Tobas	200

+ Los valores radiométricos se presentan uniformados al aparato GR-101A.

10. Los diferentes estudios y análisis practicados a las muestras colectadas en cada una de las anomalías reportadas, permiten concluir lo siguiente:

a. La roca que constituye el horizonte radiactivo es una arenisca arcosa ferruginosa muy oxidada, integrada por cuarzo y óxidos de Fe y Ti -- como minerales esenciales; Monacita y fragmentos de roca como secundarios, Feldespatos, mineral istrópico no identificado, Xenotima y Circón como accesorios. Espinela y Apatito como trazas.



El cementante lo forman óxidos Ferro-Titaníferos y Calcita.

b) La asociación mineralógica determinada indica una concentración de minerales pesados en sedimentos clásticos que fueron depositados por una corriente con velocidad variable, asociada a rápidos cambios en su dirección y fuerza, en un ambiente deltaico con aporte de terrígenos - (frente de Delta), acompañado por el desarrollo al mismo tiempo de un medio lagunar, producto de pulsaciones del fondo marino. La fuente de los minerales pesados con las rocas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico.

c) El elemento causante de las anomalías radiométricas (zonas 1 a 4) es el Torio, que se encuentra sustituyendo a elementos del grupo de los lantánidos en la Monacita, definida como un Fosfato de Cerio y Torio.

d) Los minerales de mena son el Circón y la Monacita.

e) Se reportaron contenidos de  $U_3O_8$  de 300 gr./ton., es decir 0.003%.

f) En los 5 afloramientos más importantes de areniscas radiactivas se calculó un total de 8.2 toneladas de mineral expuesto.

11. Puede decirse que sin ser negativas las posibilidades de extraer el mineral radiactivo en las anomalías estudiadas, si resultan bastante limitadas ya que las leyes de  $U_3O_8$  son muy bajas y la mineralización es fundamentalmente de Torio y no de Uranio como se esperaba.

## VII.2 Recomendaciones

1. Con fines de investigación geológica-estratigráfica, es aconsejable realizar secciones de detalle estructural sobre el Arroyo Papalutla, - Cañón de Tonalá y sobre líneas transversales a la estructura principal (Anticlinorio Diquiyú).

2. Desarrollar un programa de exploración terrestre del tipo Carbón en áreas donde afloran rocas clásticas jurásicas y rocas volcánicas terciarias.
3. Existen muchas dudas acerca de la relación y similitud de las anomalías detectadas, que al parecer tienen una interrelación a escala de decenas de kilómetros, por lo que sería conveniente realizar un estudio geoquímico de orientación en aguas naturales y en sedimentos de arroyos, en una área tal que quede incluida la red hidrográfica de las zonas anómalas más importantes (zonas 1, 2 y 3). Estudio que permitirá conocer la movilidad de los elementos en juego e indicar la posibilidad de que existan concentraciones mayores en el subsuelo.
4. Se recomienda no llevar a cabo trabajos de exploración directa, hasta no contar con estudios que avalen dicha exploración.
5. También se recomiendan realizar estudios más detallados en cuanto a la Estratigrafía y Tectónica de la región, con respecto a las rocas ígneas pre-jurásicas observadas en el área de estudio y su relación con las reportadas en el Estado de Guerrero, con el fin de establecer un cuadro regional más sólido sobre esto. De igual manera con la secuencia del Jurásico superior al Cretácico inferior.

VIII. BIBLIOGRAFIA

## VIII.- BIBLIOGRAFIA .

- Adler, H.H. 1973, Exploration for uranium in sandstones; Geochemical, remaneht magnetic, and sulfur-isotope applications (IAEA-PL-490/1). Uranium Exploration Methods, IAEA-Vienna. P.115-169.
- Alencáster, G. 1963, Pelecípodos del Jurásico medio del Noroeste de Oaxaca y Noreste de Guerrero, Paleontología Mexicana No. 15, Instituto de Geología-UNAM, México.
- Anzulovich, J.C. y MUSET, J.A. 1978, Prospección Radiométrica terrestre (Gamma, Emanométrica, etc.). Curso Latinoamericano de Capacitación para la prospección y exploración de Yacimientos Uraníferos, CIEA, CNEA, Argentina.
- Bazan, B.S. 1974, Probables Provincias de Uranio en México. 1er. Congreso Nacional AMECYTEN, Acapulco-México.
- Buitrón, B.E. 1970, Equinoides del Jurásico superior y del Cretácico inferior de Tlaxiaco, Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. Sociedad Geológica Mexicana. P. 129-143, México.
- Calderón, G.A.- Alvarez Jr. M. López Rubio, J.M. 1956, Bosquejo Geológico de la región de San Juan Raya, Puebla. Excursión A-II, XX Congreso Geológico Internacional, México.

Campa, M.F. 1978, La Evolución Tectónica de Tierra Caliente, Guerrero.  
Bol. Soc. Geol. Mexicana, tomo XXXIX, No. 2, México.

Cárdenas Vargas J. 1966, Contribución al Conocimiento Geológico de la  
Mixteca Oaxaqueña. Minería y Metalurgia No. 38. P. 15-107, Méxi-  
co.

Carrasco, R.R. 1981, Geología Jurásica del área de Tlaxiaco-Mixteca Al-  
ta, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, México.

Cervantes, J.F. y Recendez, R.L. 1974, Análisis Geomorfológico prelimi-  
nar del sector Magdalena Jicotlán-Tepelmene de Morelos, Oaxaca.  
Instituto de Geografía, UNAM. Vol. 5. P. 109-116. (BIGFBD), Méxi-  
co.

Corona-Esquivel, R. 1981-83, Estratigrafía de la región de Olinalá-Teco-  
coyunca, noreste del Estado de Guerrero. Revista del Instituto  
de Geología-UNAM. Vol. 5. Núm. 1. P. 17-24, México.

Cortés, O.S. Torón, V.L. Martínez, J.B.-Pérez, L.J. Gamboa, A.A.- Cruz,  
S.C.- Puebla, P.M. 1957, La Cuenca Carbonífera de la Mixteca. De-  
partamento de Investigaciones Industriales del Banco de México.  
(Publ. privada), México.

Chudoba, K.F. 1963, Mineralogía Especial. UTEHA, México.

Dall'Aglio, M. 1973, Geochemical Exploration for Uranium; Uranium Explo-  
ration Methos. IAEA, Vienna. P. 187-208.

- De Cserna, Z. 1970, Reflexiones sobre algunos de los problemas de la Geología de la parte Centromeridional de México. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. Soc. Geol. México. P. 37-50, México.
- De Dios González, L.A.F. Buitrón, B.E. 1982, Revisión y Aportes a la Estratigrafía de la Montaña de Guerrero. Serie Tectónico-Científica de la Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo-Guerrero, México.
- Erben, E.K. 1956-b, El Jurásico Medio y el Calloviano de México. XX Congreso Geol. Intern. Méx. Monografía. México.
- Ferrusquía, V.I. 1970, Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, (Terciario), Mixteca Alta, Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. P. 97-119. So. Geol. Méx., México.
- Ferrusquía, V.I.- Comas, O. R. y Applegate, S.P. 1980, Reptiles marinos mesozoicos en el sureste de México y su significación Geológico-Paleontológico. Memorias del Congreso de la Soc. Geol. Mex. P. 104 y 105, México.
- Flores, T. 1908, Datos para la Geología del Edo. de Oaxaca. Bol. AMGP V.I, No. 2 P. 79-156, Méxio.
- Fries, C. Jr. y Rincón, O.C. 1965, Nuevas aportaciones Geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría. UNAM, Inst. de Geología, Bol. 73 P. 57-133, México.

Fries, C. Jr.-Schlaepfer, C.J. y Rincón, O.C. 1966-67, Nuevos datos Geocronológicos del Complejo Oaxaqueño, Bol. Soc. Geol. Mex. V.29 P. 59-66, México.

García, E. Climas de México.

Gómez Godoy, J. 1970, Consideraciones sobre prospección Geoquímica por Uranio. URAMEX (Deleg. Oaxaca), México.

Heinrich, E.Wm. 1970, Identificación Microscópica de los Minerales. -- Ediciones URMO, España.

Heinrich, E.Wm. 1966, Mineralogía y Geología de las Materias Primas -- Radiactivas. Edit. Omega, España.

Hokuto, C.A.-Pérez, I.J.M.- De Cserna, Z.- Alencáster, G. Buitrón, B.E. 1965, Estratigrafía y Paleontología del Jurásico Superior de la -- parte Centromeridional del Edo. de Puebla. Paleontología Mexicana No. 21. Instituto de Geología, UNAM, México.

Instituto de Geología, UNAM, Sociedad Geológica Mexicana 1970, Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca, México.

Kerr Paul F. 1965, Mineralogía Optica, Ediciones Castilla, Madrid España.

Kesler, S.E. y Heath, S.A. 1970, Structural Trends in the Southernmost North American Precambrian, Oaxaca, Geol. Soc. Am Bull. (BGMAF) Vol. 81, No. 8 P. 2471-2476. México.

Kostov, I. 1977, Crystallochemical differentiation and localization of uranium ore deposits in the earth's crust; Recognition and Evaluation of uraniferous Areas, IAEA, Vienna. P. 15-33.

López, R.E. 1983, Geología de México. Tomo III (3ra. edición. México).

López, S.F.A. 1976, Estudio Geológico de la Sierra Peña Blanca, Edo. de Chihuahua. Tesis-UNAM., México.

López, T.D. 1969, Evaluación Petrolífera de la Cuenca de Tlaxiaco, Edo. de Oaxaca: Seminario sobre Exploración Petrolera, Instituto Mexicano del Petróleo, n. 6 P.1-28 (Mesas redondas del IMP), México.

Madrigal, R.R. 1973, Yacimiento de Uranio "El Nopal", Sierra de Peña -- Blanca, Municipio de Aldama, Edo. de Chihuahua. Tesis-UNAM. México.

Maldonado, K.M. 1970, Perspectivas y apreciación del área Oaxaqueña en sus aspectos Geodésicos, Geofísicos, Geomorfológicos y como ámbito humano. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. P. 33-36. Soc. Geol. Mex. México.

McDermott, M.M. 1977, Field Surveys using a portable gamma Scintillometer. Geometrics Technical report. Number 12.



- Ochoterena, H.F. 1981, Evolución de las Unidades Morfoestructurales de la Región de Diquiyú, Oaxaca. Revista del Instituto de Geografía-UNAM. Bol. No. 10, México.
- Ojeda, R.J. 1975, Revaluación Geoeconómica de los Depósitos de Carbón del Area de Tezoatlán, Oaxaca. CRNNR (revista GEOMINET, No. 79). México.
- Olstein, R.A.-Muset, J.A. 1978, Instrumental Radiométrico. Principios y Operaciones. Curso Latinoamericano de Capacitación para la prospección y exploración de Yacimientos Uraníferos. CIEA y CNEA. Tomo II. Argentina.
- Ortega, G.F. 1977, Los Mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño, revista del Instituto de Geología-UNAM. Vol. 1 n.l. México.
- Ortega, G.F. y Bloomfield, K. 1975, Notas sobre la Petrología del Complejo Oaxaqueño. Boletín No. 95. P. 23-48. Instituto de Geología, UNAM, México.
- Ortega, G.F. 1978, Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Edos. de Puebla y Oaxaca. Revista del Instituto de Geología-UNAM. Vol. 2. núm. 2. P.112-131, México.
- Ostle, D.- y Ball, T.K. 1973, Some aspects of Geochemical Surveys for uranium; Uranium Exploration Methods, IAEA, Vienna. P.171-187.

- Pantoja, A.J. 1970, Rocas sedimentarias Paleozoicas de la región Centro Septentrional de Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. Soc. Geol. Mex. P. 67-84. México.
- Raiz Erwin, 1964, Land formas of México. Prepared for the Geography Branch of the office of naval Research. Cambridge, Mass.
- Rodríguez, T.R. 1970, Geología metamórfica del área de Acatlán, Edo. - de Puebla. P. 51-54. Itinerario México a Oaxaca P.4-32. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. Soc. Geol. Mex. México.
- Rodrigo, F. 1978, Prospección de Uranio. Generalidades y Selección de métodos. Curso Latinoamericano de capacitación para la Prospección y Exploración de Yacimientos Uraníferos. CIEA y CNEA. Tomo II. Argentina
- Rodríguez Torres, 1975-76, Domínguez, Chavez Aguirre, Constantino, S.E. Rocas volcánicas Acidas y su potencial como objetivos para prospectar Uranio. Boletín de la IAEA. IAEA-SM-208/59 Austria-Viena.
- Ruíz, C.M. 1970, Reconocimiento Geológico en el área de Mariscala-Amatitlán, Edo. de Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. P.55-66. Soc. Geol. Mex. México.
- Rzedowski, J. 1978 Vegetación de México, Edit, Limusa. México.

- Salas, G.P. 1949, Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca, Bol. AMGP. V.1, No. 2. P.79-156.
- Santomero, A.M.O. 1978, Prospección Geoquímica. Curso Latinoamericano de Capacitación para la Prospección y Exploración de Yacimientos Uraníferos. CIEA y CNEA, Tomo II. Argentina.
- Silva, Pineda, A. 1970, Plantas fósiles del Jurásico Medio de la Región de Tezoatlán, Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. P. 129-143. Soc. Geol. Mex. México.
- Silva, P.A. y Ortega, G.F. 1978, Contribuciones a la Paleobotánica del Jurásico de México; Paleontología Mexicana No. 44, Instituto de Geología-UNAM.
- Toledo, R.V. 1983, Ondas de Placa y el sismo de Huajuapán de León de 1980. Comunicaciones Técnicas No. 330 IIMAS-UNAM (tesis de licenciatura), México.
- S.R.H. 1976, Atlas del Agua de la República Mexicana.
- Vivo, Escoto, J.A. 1976, Influence of Tectonic in the Structural Morphology of Central and Southern México. International Geographic. No. 23 Vol. 1. P. 112-115, México.
- Williams, H.-Turner, F.J. Gilbert, CH.M. 1979, Petrografía, Edit. CECSA, México.

A P E N D I C E "A"

=====



SONDEO No. 3.- Se localizó a 550 m al SW del anterior.

Conforme se iba perforando se observó que este sitio estaba muy distorsionado por pliegues y fallas, se llegó hasta 270.97 m y las lutitas y areniscas aparecen en los testigos sumamente alteradas, mostrando sin lugar a duda trastornos tectónicos; a la profundidad de - - - 205.96 m se tiene un manto de 48 cm de espesor, que en un principio se clasificó como relleno de falla, pero que en realidad es una roca ígnea, como lo demuestra el estudio petrográfico siguiente:

Roca porfídica de color gris azulado con cristales blancos de feldespato alterado, hasta de 3 mm, y algunos, muy pocos, negros de piroxenos, en medio de una masa azulada.

En la lámina se observa la roca muy alterada, con algunos cristales de plagioclasa alterada a calcita, y pequeñas masas redondeadas de halloysita, que probablemente rellena cavidades que presentaba la roca primitiva. Todos estos elementos se hallan en una pasta vítrea muy alterada.

<u>Interpretación:</u>	0-6	m	Aluvión
	6-205.96	m	Lutitas y areniscas alteradas
	205.96-206.44	m	Roca Ignea extrusiva Pre-Jurásica
	206.44-		Rocas muy alteradas

SONDEO No. 5.- Se localizó a la izquierda del camino a Diquiyú.

Se empezó con una pequeña capa de recubierta vegetal, pasando de inmediato a los lechos del Jurásico, al principio sumamente alterados, y bajo esta zona se tienen 15.75 m del conglomerado cuarzoso, e inmediatamente después se entra a unos lechos conglomeráticos que por su abundancia de lutitas de color obscuro se ha dado en llamar el Conglomerado Prieto, constituido de fragmentos de lutita y arenisca, con un

gran predominio de las primeras, cementados por arcilla producto de la disgregación de las lutitas.

Los fragmentos son de aristas redondeadas, de formas alargadas y planas como gravas de costa; este conglomerado se extiende por un espesor de 63.80 m y bajo ellos se presentó una roca de estructura brechoide muy alterada, con cantos angulosos; en un principio a los fragmentos se les llamó de lutitas o pizarras, pero son en realidad trozos de roca ígnea, alterada en grado sumo y que en conjunto constituyen una brecha de resquebrajamiento. Ante la duda de la clasificación se hicieron estudios petrográficos de muestras tomadas a los 89 m y 97 m:

Arcilla a los 89 m: Roca blanca con macha verde deleznable untuosa al tacto, dispersada y lavada de 42.86% de arena blanca verdosa y 57.14% de arcilla blanca. En lámina se observa que está constituida por aglomeración de arcilla blanca del tipo caolinita y de arcilla verde del tipo illita, ésta última presenta puntos negros de aspecto de mica.

Roca ígnea metamorfozada a los 97m: Roca gris verdosa de estructura muy fina de la que no se distingue elemento alguno, con ácido clorhídrico produce mucha efervescencia, presenta zonas moradas que parecen ser gabarros. Por la textura porfídica que presenta en la lámina y la forma de los pocos fenocristales que se observan parece haber sido un basalto muy rico en plagioclasa la cual por metasomatismo se transforma en arcilla y calcita, de aquí los caracteres macroscópicos que se han estudiado en la roca.

Los fenocristales que se ven fueron probablemente de plagioclasas y en su lugar se observa en ellas arcilla y agrupaciones de pequeños

cristales de calcita,

Estos fenocristales están en medio de una pasta constituida por micro-litos de plagioclasa alterada también, y de piroxena transformada en serpentina, además de magnetita que ha quedado intacta.

De esta roca ígnea se perforaron 30.19 m, hasta alcanzar la profundidad de 116.44 m, y al ver la continuidad de la roca se decidió suspender el sondeo.

<u>Interpretación:</u>	0-22	m	Conglomerado Cualac
	22-86	m	Formación Rosario
	86.3-97	m	Arcilla blanca
	97-116.44	m	Roca Ignea extrusiva Pre-Jurásica.

SONDEO No. 6.- Se localizó a la derecha del camino a Diquiyú.

Se cree que lo primero que se cortó es un fragmento de roca, desprendida de la cúpula del Anticlinorio; así pues, la primera parte corresponde a la Formación Carbonífera Superior y desde luego no está in situ. Este fragmento cayó sobre el Conglomerado Cuarzoso, el cual se encontró a la profundidad de 91.75 m, con un espesor, según la vertical, de 16.77 m. (Aún cuando en el plano aparece situado sobre roca ígnea, no se cortó nada de ella).

Enseguida se presentó de nuevo el Conglomerado Prieto y bajo éste aparecieron otra vez las rocas ígneas, en todo semejantes a las encontradas en la perforación anterior. Ante su presencia se decidió continuar el sondeo para conocer la base de estas rocas, lo cual y a pesar de haber alcanzado la profundidad de 295.14 m, no se pudo lograr, considerándosele a la roca ígnea en esta perforación un espesor de 150 m.



<u>Interpretación:</u>	0-91.75 m	caído
	91.75-108.52 m	Conglomerado Cualac
	108.52-145.14 m	Formación Rosario
	145.14-295.14 m	Roca Ignea extrusiva Pre-Jurásica.

SONDEO No. 7.- Situado a la margen derecha del Río de Santa Catarina, a 320 m al sureste del Sondeo No. 1.

Sin haber cortado los lechos del conglomerado rosado, cosa que de intento se hizo, se encontró de inmediato la formación carbonífera y se tuvo de nuevo la sucesión de areniscas y lutitas que se han encontrado en las otras perforaciones de la Formación Carbonífera Superior. A los 236.15 m de profundidad se encuentra interestratificados conglomerados en la secuencia de areniscas y lutitas carbonosas hasta la profundidad de 260.85 m, en donde se tiene 4.94 m de Conglomerado Cuarzoso, con lo que se llegó al fondo de esta perforación.

<u>Interpretación:</u>	3-41 m	Formación Simón
	41-107 m	Formación Taberna
	107-250 m	Formación Zorrillo
	250-365 m	Conglomerado Cualac.

SONDEO No. 8.- Localizado en la margen izquierda del Río Santa Catarina.

Se tuvieron en principio lutitas y areniscas con carbón hasta que a los 132 m se presenta el conglomerado intraformacional de tipo cuarzoso, que alterna con lutitas. A los 158.40 m, termina la secuencia del Jurásico Medio y aparece una roca ígnea muy metamorfozada, que en un principio se le llamó Conglomerado Prieto, lo que no es correcto, como lo demuestran los estudios petrográficos efectuados por el Prof. Hermión Larios. Desde los 158 m hasta el fondo, a los 214.59 m, se tomó una serie de 11 muestras a distintas profundidades en todas aquellas

partes en donde se observaba un cambio estructural en la roca. Enseguida se tienen los resultados petrográficos:

1.- Basalto muy alterado por acción hidrotermal: Roca de color gris, con cristales blancos y manchas de color verde. Los cristales son blandos, producto de alteración. Presenta finas vetillas blancas, algunas con pequeñísimos cristales de pirita. En la lámina, roca de textura interseccional, con cristales de piroxena y de feldespatos, todo sumamente alterado. Se ven dos fenocristales de feldespatos, que por su alteración no se puede determinar la especie. Además hay dos xenolitos de textura muy fina, con bordes de reacción de mica. Se observa también alguna vetilla de cuarzo. (Al no poderse determinar el feldespatos, se hace difícil la clasificación de la roca).

2.- Basalto semejante al anterior: Roca de estructura amigdaloidal, de color gris, con amígdalas, unas blancas y otras verdes, de 1 a 2 cm, en una masa homogénea de color gris. Esta masa es semejante a la de la roca anterior. De las amígdalas se han hecho arenas, y en ellas se encuentra cuarzo y calcita. Parecen ser de cuarzo rodeadas de calcita. En lámina, roca semejante a la anterior, pero aquí no se distingue ningún fenocristal; todos son cristales muy pequeños de feldespatos en disposición interseccional. Hay además mucha calcita secundaria y vetillas de este mineral.

3.- Basalto muy alterado: Roca gris, compacta, cruzada por finas vetillas de calcita y pirita. Es semejante a la masa fundamental de las rocas anteriores. En la lámina se observa una roca muy alterada semejante a la anterior. Presenta vetillas de calcita y de cuarzo.

4.- Toba volcánica: Roca afanítica, de color gris con numerosas vetillas blancas muy finas de calcita. En la lámina, roca de textura muy fi

na, en la que se distinguen pequeñísimos cristales de cuarzo y de feldespato, alguno de piroxena y "pajitas" de muscovita junto con partículas carbonadas. Presenta además vetillas de calcita.

5.- Toba volcánica: Roca afanítica, de color gris, que adquiere brillo craso cuando se le frota. En la lámina, aparece una roca con pequeños cristales de cuarzo, de feldespato y "pajitas" de muscovita.

6.- Roca efusiva de tipo andesítico o basáltico muy alterada: Roca de color gris, con algunos cristales blancos, al parecer de feldespato, - como de 1 a 3 mm. Está surcada por finas vetillas de calcita, algunas con cristales muy pequeños de pirita.

En la lámina se ve una roca muy alterada de textura muy fina, con mucha calcita secundaria. De la roca original quedan algunos fenocristales de feldespato, probablemente plagioclasa y ortoclasa, alterados -- por completo. Se ven también vetillas de calcita.

El no poder determinar la especie de feldespato hace insegura la clasificación de la roca.

7.-Roca efusiva andesítica o basáltica muy alterada: Roca gris verdosa con cristales blancos de feldespato y fragmentos redondeados de cuarzo como rellenando poros, además de manchas de color verde. Se observan - también agrupaciones de pequeños cristales de pirita. En la lámina, roca muy alterada, de textura porfídica, con fenocristales de feldespato, en su parte mayor plagioclasa, pero completamente alterada en una masa muy fina de elementos indeterminables. Presenta cuarzo y calcita secundarios que rellenan poros de la roca primitiva y forman además finas vetillas. También se observan pequeñísimos cristales de pirita.

8.- Roca efusiva del tipo de la anterior: Roca gris verdosa con zonas algo moradas.

Apenas se distinguen en ella cristales de brillo vítreo de 1/2 a 1 mm. Probablemente de feldespato, y está surcada por vetillas blancas de calcita. La lámina muestra una roca semejante a la anterior, pero con los fenocristales más pequeños.

9.- Roca efusiva andesítica o basáltica muy alterada: Roca de color gris oscuro con zonas verdosas, impregnada de calcita. La lámina muestra sólo zonas con pasta muy fina y alterada. Hay calcita secundaria que impregna toda la roca. Como está tan alterada, resulta insegura a la clasificación.

10.- Roca efusiva andesítica o basáltica: Roca gris verdosa, con abundante calcita que rellena las fracturas, y cuarzo en masas irregulares. En la lámina se ve una roca reducida a una pasta finísima como de microlitos de feldespato y piroxena, que presenta numerosos poros con cristales de cuarzo secundario de calcita secundaria en poros y vetillas. También se hace difícil la clasificación.

11.- Roca efusiva andesítica o basáltica: Roca gris con zonas verdosas, impregnada de cuarzo y de calcita secundarios. En la lámina se ve una roca semejante a la anterior, con numerosas vetas de cuarzo y de calcita.

Como se ve, se trata de una roca ígnea efusiva probablemente basáltica y en algunas ocasiones andesítica; nótese la presencia muy significativa de tobas volcánicas, representadas por las muestras 4 y 5, lo cual no deja lugar a duda sobre el tipo de la roca ígnea, clasificándose ésta como efusiva y no como intrusiva.

<u>Interpretación:</u>	0-9 m	Aluvión
	9-60 m	Formación Taberna
	60-158 m	Formación Zorrillo
	158-214 m	Roca ígnea extrusiva Pre-Jurásica.

SONDEO No. 10.- Emplazado casi sobre el eje del Anticlinorio Diquiyú, en la margen izquierda de la Barranca del Lucero al pie del cerro del mismo nombre.

Bajo la regolita superficial se tiene material de aluvión del Arroyo del Lucero hasta los 7.90 m en donde se principia a cortar las capas de la secuencia sedimentaria de lutitas con conglomerados intraformacionales y escasas areniscas, así como pequeñas capas de carbón. A los 130.35 m se terminan los lechos sedimentarios, principiando la roca ígnea que se prolonga hasta el fondo de esta perforación, a los 192.12 m. En el contacto entre la roca ígnea y la lutita, se tomó una muestra, con objeto de ver si había alteración producida por alguna intrusión, pensando en que ese fuera el origen de la roca ígnea. A continuación se tiene el estudio petrográfico efectuado sobre esta muestra.

Lutita metasomatizada: Roca de aspecto algo brechoide, de color violáceo con zonas amarillas y zonas blanco grisáceas. Es de estructura muy fina, con masas de calcedonia y surcada por vetillas blancas de calcita. Al microscopio se ve una lutita impregnada de calcita y con bastantes agrupaciones de cristales aciculares de serpentina orladas de pequeños cristales de cuarzo. Las zonas violáceas aparecen en la lámina de color rojizo teñidas por óxidos de fierro, observándose además pequeños fragmentos de calcedonia.

Como se ve, no existen en la muestra minerales característicos de metamorfismo de baja temperatura y presión, lo cual significa que la roca ígnea no es intrusiva.

De la roca ígnea se tomó una muestra para su estudio petrográfico y en seguida se copia el reporte:

Muestra tomada a la profundidad de 151 m.

Brecha cataclástica: Roca formada por fragmentos de color morado, verdoso y gris. Estos últimos corresponden a masas de calcedonia que rellenan los huecos. Las zonas verdosas son de serpentina y las moradas de roca ígnea. Con ácido clorhídrico hace efervescencia. En la lámina se observan fragmentos de los elementos antes citados y mucha calcita que impregna la roca y forma vetillas.

SONDEO No. 11.- Sobre la margen izquierda del Río de Sta. Catarina y al norte del sondeo No. 1 se localizó el No. 11.

Se principió perforando el conglomerado rosado que se tuvo en el sondeo No. 1, encontrándose aquí con un espesor de 59.13 m. Bajo él aparecieron las rocas sedimentarias del Jurásico, representadas por una sucesión de lutitas y areniscas. Se alcanzó la profundidad de 251.77 m.

SONDEO No. 12.- Se emplazó en un lugar entre los poblados de Yucuquimi y San Juan Viejo, llamado Plaza de Lobos.

Se perforó una secuencia de lutitas con mantos de carbón, con conglomerado intraformacional, y a los 64.41 m, aparece de nuevo la roca ígnea. De esta roca se tomaron dos muestras, a los 75 y 87 m., cuyos resultados obtenidos petrográficamente son:

Basalto: Roca de color gris oscuro casi negro con puntos brillantes que corresponden a pequeñísimos cristales de calcita. Está surcada por vetillas blancas de este mineral. En la lámina se ve una roca casi reducida a la pasta, que es de textura intersticial y está formada por cristales de plagioclasa y de magnetita. Se puede distinguir algún fenocrystal pequeño de plagioclasa, y toda la roca está impregnada de calcita que forma además finas vetillas. No se advierte ningún ferromagnesiano.

Basalto metasomatizado: Roca gris oscura con abundantes manchas negras como de 1 mm. contiene bastante calcita secundaria. Las manchas negras son espacios rellenos de material secundario. Al microscopio se distingue una roca con abundantes espacios ocupados por serpentina acicular, orlada de pequeños cristales de cuarzo. Estos espacios se originaron al disolverse el ferromagnesiano (piroxena) que corresponden a las manchitas negras de la roca; se encuentran en una pasta de textura intersticial formada principalmente por microlitos de plagioclasa y pequeños cristales de minerales de fierro, alteración de la magnetita. Toda la roca está impregnada de calcita.

Interpretación:            0-2    m Aluvión  
                                      2-64   m Formación Rosario  
                                      64-87 m Rocas ígneas extrusivas Pre-Jurásicas.

SONDEO No. 13.- Situado al norte del sondeo No. 10 a 500 m aproximadamente.

Bajo el suelo y recubierta vegetal se encontró la sucesión Jurásica de lutitas y Conglomerado Prieto, sin aparecer areniscas, con capas de carbón intercaladas. A los 98.15 m terminan los lechos sedimentarios y aparece de nuevo la roca ígnea que ya va siendo familiar para todos los sondeos. Se tomaron muestras para su estudio petrográfico. El fondo de la perforación fue de 141.12 m, sin haberse pasado la roca ígnea.

1.- A los 110 m. Brecha cataclástica de roca andesítica: Roca color claro, con fragmentos blancos, otros grises y zonas de color café, todos con manchitas verdes. Presenta masas de calcedonia de color gris y está surcada por vetillas de color ocre.

En la lámina aparece una roca andesítica con pocos fenocristales de

plagioclasa impregnados de calcita en una pasta criptocristalina. Presenta numerosas vetillas de calcita.

2.- A los 120 m. Brecha cataclástica de roca andesítica: La roca es de color gris verdoso con zonas y vetillas oscuras y otras de color café. Se distinguen en ella algunos cristales prismáticos brillantes, como de 1 a 2 mm., de feldespato.

Las zonas y vetillas oscuras son de calcedonia u ópalo, lo mismo que las zonas de color pardo. Con ácido clorhídrico hace algo de efervescencia. La lámina muestra una roca semejante a la anterior. Se distingue en ella una veta de ópalo.

3.- A los 123 m. Roca muy alterada, serpentizada: Roca muy alterada, blanca amarillenta con manchas verdes. En la lámina se distinguen algunos fenocristales de plagioclasa y masas de serpentina, todo en una pasta sumamente fina. Está surcada por vetillas de calcita y otras de cuarzo. Probablemente procede de una fuente ígnea efusiva, como si la serpentina hubiese rellenado los huecos.

4.- A los 134 m. Basalto serpentizado: Roca verdoso-morada, con cristales incoloros de feldespato como de uno a dos mm., y manchas verdes de serpentina, todo en una masa fundamental de color morado. Presenta vetillas blancas de calcita. En la lámina se ve una roca de textura porfídica con algunos fenocristales de plagioclasa en una pasta criptocristalina. Se observa además algo de magnetita y geothita con abundante calcita que impregna la roca y forma vetillas.

5.- A los 141m. Basalto serpentizado: Roca abigarrada, de color morado con manchas verdes muy irregulares y de tamaño diverso. En la lámina se observa un solo cristal de plagioclasa alterada a saussurita (variedad de zoisita), habiéndose transformado el elemento ferromagnesiano en



óxidos de fierro. La pasta es de textura intersticial formada por microlitos de plagioclasa alterada también. Los dos colores que presenta la roca corresponden: el verde a serpentina y el morado oscuro a óxido de fierro.

SONDEO No. 14.- Situado sobre la margen derecha del Arroyo Rosario. Se encontró la sucesión sedimentaria del Jurásico medio de lutitas y areniscas y como algo particular, la presencia de coquina a 15.85 m., con 7.30 m de espesor.

SONDEO No. 15.- Emplazado sobre la margen izquierda del Río de Santa Catarina y al norte del sondeo No. 11.

Nuevamente se empezó cortando el conglomerado rosado con espesor de 39.42 m, y bajo éste se presenta la sucesión de lutitas y areniscas características de las formaciones del Jurásico medio. Se llegó a la profundidad de 417.47 m.

SONDEO No. 17.- Situado sobre la margen derecha del Río de Santa Catarina, a la derecha del camino a Diquiyú.

Bajo el material de aluvión se encontró el conglomerado rosado con espesor de 11.43 m., e inmediatamente los lechos de lutitas y areniscas del Jurásico medio con capas de carbón. Se llegó a una profundidad de 383.13 m.

Como conclusión sobre estos sondeos y los análisis petrográficos así como la correspondiente interpretación de Larios y Obregón, se tiene lo siguiente:

En todos los sondeos que cortan la secuencia Jurásico inferior y medio, se llegó invariablemente a cortar roca ígnea afectada por metamorfismo, como puede verse en los estudios petrográficos presentados en la descripción general de los sondeos, que constituye el Complejo

Basal, el cual se presenta también en el Sondeo No. 8, por lo que se cree que la base de las formaciones del Jurásico, cuando menos en esta región, es una roca efusiva, basalto y andesita en varias corrientes, que en la actualidad se presenta como una roca metamórfica. La roca ígnea se presenta en la actualidad como una roca que ha sufrido un metamorfismo cataclástico el cual produjo una brecha de resquebrajamiento, afirmándose esto por la estructura brechoide y su grado de alteración, o sea que la roca ha sido sometida a baja temperatura, -- con formación aunque muy escasa, de nuevos minerales. Si bien la roca es metamórfica, su origen es ígneo, resultando ser una roca efusiva -- del tipo de los basaltos, comprobándose este origen además, por la -- presencia de toba volcánicas y la estructura amigdaloides y textura afanítica de las rocas. Siendo la roca Pre-Jurásico estuvo sujeta a es fuerzas diferentes, durante estos movimientos tectónicos se originó -- el metamorfismo cataclástico de que se ha hablado, en los sondeos 5, 6, 8, 10 y 13 las rocas sedimentarias presentan inclinación, o sea -- que los estratos han sido plegados. En el sondeo No. 12 las rocas sedimentarias se hallan horizontales, y la roca ígnea debajo de ellas, aunque ha sufrido un metamorfismo, es de estructura homogénea y no -- presenta la estructura brechoide de otros sitios.

NOTA: Todas las descripciones petrográficas así como los datos acerca de las secuencias perforadas en cada sondeo, fueron tomados textualmente de Larios y Obregón (1957, op. cit.) y la interpretación respecto a la secuencia estratigráfica fue hecha por los autores.

A P E N D I C E "B"



MUESTRA No. EMM 48-C

LOCALIDAD: Arroyo Pipi o Yucuñuti (Tezoatlán-Oax.).

AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierdo del arroyo - "horizonte radiactivo".

ANOMALIA PIPI 1.

EDAD O FORMACION: F. Otatera/F. Yucuñuti (Jurásico medio-superior).

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-oscuro y rojizo (oxidación), de textura arenosa, porosa y no muy compacta. Matriz arcillosa. Se observan vetillas color gris-oscuro. Constituida probablemente de minerales oscuros con lustre metálico (óxidos?) y cuarzo?

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica- Psamítica. Arenisca de grano fino con promedio de 132 micras. Buena clasificación, granos de subangulosos o subredondeados; algunos con cierto hábito cristalino, no bien empaquetada por tanto algo porosa y con alto porcentaje - de cementante.

Mineralogía.- Compuesta principalmente de minerales opacos (óxidos: -- hematita, limonita, magnetita o martita, ilmenita), monacita: algunas de ellas aún con ciertas características de su hábito cristalino y ligero redondeamiento, el cementante de hematita y limonita.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Opacos (óxidos)	30	75-220 micras
Monacita	9	90-220
Cementante	25	
más o menos un	35	de espacio vacío.

CLASIFICACION: ARENISCA FERRUGINOSA FINA (DEPOSITO DE PLACER)

OBSERVACIONES: La Martita? presenta cierto hábito cristalino, octaedros. Se observa un mineral uniáxico positivo con crucero en 2 direcciones y alta birrefringencia: probablemente se trata de Xenotima, la

cual junto con la Monacita son los minerales radiactivos, por el contenido de Th.

MUESTRA No. EMM 48-E

LOCALIDAD: Arroyo Yucufuti o Pipi (Tezoatlán-Oax.)

AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierda del arroyo - "horizonte radiactivo".

ANOMALIA PIPI 1.

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucufuti (Jurásico med-sup.).

DESCRIPCION MEGASCOPIA: Roca color pardo-rojizo (oxidación), de textura arenosa, compacta. Con alto peso específico. Abundante mineral oscuro de lustre metálico muy pequeño (raya roja) probablemente óxido de Fe, (hematita)?. También algo de cuarzo.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Arenisca de grano fino con promedio de 200 micras. Buena clasificación en general, Granos de subangulosos a subredondeados y algunos tienden a ser esféricos?.

Mineralogía.- Compuesta principalmente de minerales opacos (óxidos: hematita, limonita, magnetita o martita?, ilmenita, cuarzo, monacita, líticos o fragmentos de roca, y secundariamente: apatito, espinela?, - circón.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Opacos (óxidos)	45	(se confunde con el cementante).
Cuarzo	35	100- 375
Monacita	3	60-150
Líticos	2	175-400
Cementante	15	

CLASIFICACION: ARENISCA FERRUGINOSA

OBSERVACIONES: El cementante es color pardo claro-amarillo ámbar a pardo rojizo (siendo de óxidos de Fe). Algunos opacos se ven con cierto hábito cristalino, probablemente trazas de romboedros de la hematita y hematita y octaedros de la Magnetita o Martita?. El mineral radiactivo es la Monacita la cual está fracturada y redondeada, dando formas ovaladas, tomando en cuenta su hábito cristalino.

MUESTRA No. EMM 48-F

LOCALIDAD: Arroyo Yucuñuti o Pipi (Tezoatlán, Oax.).

AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierda del arroyo - "horizonte radiactivo".

ANOMALIA PIPI 1.

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucuñuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-rojizo (oxidación), Textura arenosa, no muy compacta. Con vetillas color pardo-oscuro, donde el grano es más fino y se ve más compacta que el resto de la roca, la matriz en estas vetillas es pardo-rojiza (hematita?) mientras que la matriz de la roca en sí es amarilla (limonita?). Hace algo de efervescencia con HCl, indicando que tiene pocos carbonatos. En general alto peso específico.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Existe un cambio en el tamaño del grano, ya que en las vetillas éste es más fino y más uniforme (124 micras promedio) que el del resto de la roca, el cual es un poco menos uniforme (190 micras promedio) y sobresalen algunos de hasta 550 micras. Regular clasificación, granos de subangulosos a subredondeados y empaque regular.

Mineralogía.- Predominan los opacos consistentes de óxidos de Fe y Ti (hematita, ilmenita, limonita, magnetita o martita?, anatasa, o rutilo?), cuarzo: aunque en las vetillas es muy escaso, monacita que se concentra en las vetillas, como secundarios: xenotima?, espinela?, apatito, fragmentos de roca, y el cementante de óxidos de Fe y algo de calcita.

Mineral	%	Tamaño (micrās)
Opacos (óxidos de Fe y Ti)	45	100-200
Cuarzo	30	100-550
Monacita	10	50-170
Espinela, Xenotima		
Apatito	3	
Cementante: calcita y óxidos	12	

CLASIFICACION: ARENISCA FERRUGINOSA

OBSERVACIONES: Se vió un mineral similar a la monacita pero con características un tanto diferentes que semejan a la Xenotima, Mineral isotrópico similar al circón o a la monacita, de alto relieve, probablemente es metamórfico o afectado por la radiactividad. La calcita rodea a algunos de los minerales.

MUESTRA No. EMM 48-L

LOCALIDAD: Arroyo Pipi o Yucuñuti (Tezoatlán, Oax.)

AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierda del arroyo - "horizonte radiactivo".

ANOMALIA PIPI 1.

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucuñuti (Jurásico medio-superior).

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-rojizo y amarillenta, de textura arenosa, de estructura compacta. Hace algo de efervescencia al contacto con HCl por lo que tiene carbonatos, probablemente en la matriz o cementante. Se observan vetillas color pardo-rojizas.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Arenisca de grano fino (174 micras el tamaño promedio de los granos). En general - buena clasificación, granos de subangulosos a subredondeados; algunos parecen tener todavía características de su hábito cristalino, en cuanto al empaque: los granos de cuarzo y los demás, no están casi en contacto, pero si están bien cementados por óxidos, lo que la hace bien compacta a la roca.

Mineralogía.- Compuesta principalmente de cuarzo, minerales opacos (óxidos: hematita ilmenita, limonita, anatasa? o rutilo?), líticos, monacita, trazas de: apatito, circón, xenotima, espinela?, y cementante color rojizo, pardo, amarillo "ámbar", donde se ve este último color se aprecian cristales pequeñitos alargados piramidales los cuales constituyen probablemente la anatasa o rutilo? que junto con el otro mineral de Ti, la ilmenita, están alterando a leucoxeno?, el color rojizo y pardo es por los óxidos de Fe. Algo de feldespatos (labradorita).

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>		<u>%</u>
Cuarzo	35	105-425	Feldespatos	4
Opacos (óxidos)	25		Mineral isotrópico	5
Líticos	7	70-500		
Monacita	3	70-180		
Trazas	1			
Cementante	20			

CLASIFICACION: ARCOSA FERRUGINOSA?

OBSERVACIONES:- Se observa un mineral isotrópico con relieve un poco menor que la monacita. También se ve dentro de los opacos, cierto hábito cristalino en forma de cubo? probablemente es magnetita?.

MUESTRA No. EMM 94 II

LOCALIDAD: Arroyo Yucuíutá o Pipi (Tezcatlán, Oax.).



AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierda del arroyo - "horizonte radiactivo".

#### ANOMALIA PIPI II

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucufuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-rojizo, amarillento; (oxidación), Textura arenosa, Con alto porcentaje de cuarzo y destacan vetillas color pardo-rojizas más acentuadas (5 mm. de ancho) formando franjas respecto al aspecto general de la roca y en estas parecen estar -- los granos con mayor empaque que el resto.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Es una arenisca de grano fino según los tamaños observados (80-575 micras, promedio de 215 micras). En general presenta buena clasificación (tamaño -- uniforme). Los granos van de subangulosos a subredondeadas y el empaque en general no bueno.

Mineralogía.- Como mineral primario está el cuarzo luego los opacos -- (óxidos de Fe y Ti) también los líticos o fragmentos de roca; y como minerales secundarios se observan feldespatos y en trazas; circón, monacita, mineral isotrópico de alto relieve, probablemente es metamórfico o afectado por la radiactividad.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Cuarzo	60	90-575
Opacos (óxidos)	15	
Líticos	7	80-300
Feldespatos	3	160-200
Circón, monacita, mineral isotrópico	2	80-150
matriz-cementante	23	

CLASIFICACION: ARCOSA FERRUGINOSA U OXIDADA?

D-0

AFLORAMIENTO: Ladera, margen izquierda del arroyo - "horizonte radiactivo".

### ANOMALIA PIPI II

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucufñuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-rojizo, amarillento; (oxidación), Textura arenosa, Con alto porcentaje de cuarzo y destacan vetillas color pardo-rojizas más acentuadas (5 mm. de ancho) formando franjas respecto al aspecto general de la roca y en estas parecen estar -- los granos con mayor empaque que el resto.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Es una arenisca de grano fino según los tamaños observados (80-575 micras, promedio de 215 micras). En general presenta buena clasificación (tamaño -- uniforme). Los granos van de subangulosos a subredondeadas y el empaque en general no bueno.

Mineralogía.- Como mineral primario está el cuarzo luego los opacos -- (óxidos de Fe y Ti) también los líticos o fragmentos de roca; y como minerales secundarios se observan feldespatos y en trazas; circón, monacita, mineral isotrópico de alto relieve, probablemente es metamórfico o afectado por la radiactividad.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Cuarzo	60	90-575
Opacos (óxidos)	15	
Líticos	7	80-300
Feldespatos	3	160-200
Circón, monacita, mineral isotrópico	2	80-150
matriz-cementante	23	

CLASIFICACION: ARCOSA FERRUGINOSA U OXIDADA?

OBSERVACIONES: Se observa en la roca que su matriz es arcillosa y junto con el cementante: hematítica, limonítica (debido a los óxidos de Fe).

MUESTRA No. EMM 128-10

LOCALIDAD: Arroyo San Andrés o Yucatiyú (Tezoatlán, Oax.)

AFLORAMIENTO: Ladera escarpada, margen derecha del arroyo.- "horizonte radiactivo"

#### ANOMALIA YUTATIO

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucufuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color pardo-rojizo (oxidación). Textura arenosa de estructura compacta, alto peso específico y al contacto -- con HCl hace efervescencia, por lo que contiene carbonatos. Además -- del color general de la roca tiene coloraciones amarillentas y rojizas, debido a oxidación.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Arenisca - de grano fino (tamaño de 70-250 micras y como promedio 169 micras). En general buena clasificación (tamaño más o menos uniforme). Los granos de subangulosos a subredondeados, tendiendo un poco más hacia éstos últimos. Bien empaquetada, aunque un poco porosa, los minerales opacos que son la mayoría, están en contacto casi todos.

Mineralogía.- Principalmente contiene minerales opacos (óxidos de Fe y Ti), luego un mineral semiopaco que se ve amarillento, con pequeños cristales paralelos y entrecruzados lo cual podría ser la anatasa reportada en la difracción de rayos X, estos cristales son alargados y piramidales y en ocasiones parecen presentar un ligero maclado, también podría tratarse de rutilo en combinación con ilemita. Como tercer mineral en importancia está la monacita en minerales grandes res-

pecto a los vistos en las otras rocas, con microgrietas, redondeados y parece tener crucero. Secundariamente contiene cuarzo en granos angulosos y subanguloso y un mineral isotrópico similar a la monacita en luz paralela, probablemente es metamictico o radiactivo. Como cementante la calcita y óxidos.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Opacos (óxidos: hematita y de Ti)	40	130-150
Anatasa y/o rutilo	15	160-210 y de 90-160 los minerales pequeños
Monacita	5	70-220
Cuarzo	2	105-330
Mineral isotrópico	2	210
Cementante (calcita y óxidos)	16	

CLASIFICACION: ARENISCA FERRUGINOSA - (DEPOSITO DE PLACER FERRUGINOSO?)

OBSERVACIONES: El cementante está constituido por calcita y los óxidos de Fe y Ti entre los cuales se encuentra la hematita e ilmenita.

MUESTRA No. EMM 215-1

LOCALIDAD: Anomalia 10 (Tezoatlán, Oax.)

AFLORAMIENTO: Aflora en la ladera de un arroyo secundario, a 3 Km., al E. de Yucuñuti.

#### ANOMALIA 10

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucuñuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPICA: Roca color gris claro, pardo-verdosa, textura arenosa y en partes conglomerática. Se aprecia a simple vista que contiene cuarzo y en tamaño variable además destacan franjas de color -- gris un poco más oscuro que la roca en general; las dos características anteriores dan un aspecto de que los granos tienen una disposición

gradacional.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Según el tamaño de grano se observa grano medio y fino, pero se presenta siguiendo una secuencia gradacional que se aprecia muy bien megascópicamente; el grano más fino parece corresponder a las franjas más oscuras -- donde se concentran los minerales opacos. (tamaño de 50-1125 micras, - con promedio de 280 micras). En cuanto a la clasificación, por la presencia de granos medios y finos se podría pensar que hay poca o mala uniformidad y por tanto mala clasificación, pero la presencia de franjas gradacionales y periódicas puede indicar que la sedimentación fue pulsatoria, relativamente rápida. Los granos son de subangulosos a -- subredondeados y el empaque es regular, a malo.

Mineralogía.- Contiene principalmente cuarzo, minerales opacos (óxidos de Fe y Ti) y como secundarios calcita, fragmentos de roca y monacita, además trazas de espinela, apatito.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Cuarzo	40	150-1125
Opacos	30	125-275
Calcita	5	160-250
Líticos	3	200-300
Monacita	2	50-130
Espinela, Apatito (trazas)	1	
Cementante (calcita y óxidos)	19	

CLASIFICACION: ARCOSA FERRUGINOSA O OXIDADA?

OBSERVACIONES: Roca arenisca conglomerática probablemente de un paleo delta?.

MUESTRA No. EMM 215-5

LOCALIDAD: Anomalía 10 (Tezoatlán, Oax.).

AFLORAMIENTO: Aflora en la ladera de un arroyo secundario, a 3 Km., -  
al E. de Yucuñuti.

#### ANOMALIA 10

EDAD O FORMACION: F. Otatera / F. Yucuñuti (Jurásico medio-superior)

DESCRIPCION MEGASCOPIA: Roca color pardo-rojizo, textura arenosa. --  
destacan vetillas de 2 a 5 mm. de ancho, blancas que parecen ser de -  
calcita y en las cuales se pueden ver con lupa, minerales oscuros de  
aspecto subedral, y que pueden ser óxidos de Fe; Estas vetillas pare-  
cen ser fracturas rellenas.

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura.- Epiclástica-Psamítica. Es una ro-  
ca arenisca de grano fino (tamaños de 80 a 450 micras con promedio de  
183 micras). Clasificación en general de buena a regular, algunos gra-  
nos destacan más respecto al tamaño uniforme de los demás. Los granos  
son de subangulosos a subredondeados y no presenta buen empaque, algo  
de porosidad, y los espacios entre grano y grano está ocupado por cal-  
cita como cementante.

Mineralogía.- Principalmente contiene minerales opacos, algunos de ---  
ellos son translúcidos y los demás completamente opacos, en la vetilla  
de calcita se observan opacos con hábito cristalino en forma de cubos  
y octaedros? correspondiendo probablemente a la hematita y martita; --  
con luz paralela se observa el lustre metálico y color gris. De los se  
mitranslúcidos gran porcentaje tienen minerales pequeños alargados que  
corresponde al rutilo o anatasa? y probablemente tiene ilmenita y leu-  
coxeno. Después de los opacos el mineral que destaca es la monacita -  
generalmente de forma oval con crucero en 2 direcciones agrietada.

Secundariamente contiene cuarzo en granos grandes; otros al tamaño de los restantes y en partes se ve enmascarado. Como cementante esta la calcita.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
M. Opacos	60	100-450
Monacita	7	80-200
Cuarzo	5	150-300
Cementante	20	
Espacios vacíos	8	

CLASIFICACION: ARENISCA FERRUGINOSA U OXIDADA?

OBSERVACIONES; Los cristales de minerales opacos probablemente son posteriores a los demás minerales que conforman en sí la arenisca, ya que se encuentran en vetillas que corresponden a relleno de fracturas.

MUESTRA No. EMM 221-B

LOCALIDAD: Ladera, margen izquierda del Arroyo Yucuñuti ó Pipi (Tezoatlán, Oax.).

AFLORAMIENTO: Areniscas cruzosas antes del "horizonte radiactivo" en ANOMALIA PIPI 1

EDAD O FORMACION; F. Otatera? (Jurásico medio-superior).

DESCRIPCION MEGASCOPICA; Roca color gris claro con manchas amarillentas por alteración (oxidación), textura arenosa de grano grueso, apreciable a simple vista. Estructura compacta. Con alto contenido de cuarzo y al parecer cementada con sílice?

DESCRIPCION MICROSCOPICA; Textura, - Epiclástica, Arenisca de grano predominantemente mediano con tendencia a grueso (tamaño de 120-1625 micras) e incluso da un aspecto conglomerático. En general posee una clasificación regular y los granos son subangulosos a subredondeados (unos cuantos angulosos), ya que los espacios entre los granos grandes

están ocupados por otros más pequeños, la roca tiene un buen empaque.

Mineralogía.- Predomina el Cuarzo y muy pocos como minerales accesorios, feldespatos y líticos, en una matriz-cementante de calcita y sílice.

<u>Mineral</u>	<u>%</u>	<u>Tamaño (micras)</u>
Cuarzo	80	120-1625
Líticos	4	1125-1500
Feldespatos (microclina)	1	90-210
Matriz-cementante	15	

CLASIFICACION: ARCOSA

OBSERVACIONES: Esta arcosa, es de grano grueso y está pobremente seleccionada, su cementante es sílice y carece de opacos, ésta se encuentra antes del horizonte de areniscas radiactivas. Debido a que las arcosas reflejan una fuente de suministro particular más bien que un determinado ambiente de depósito, al ser derivadas de rocas plutónicas o metamórficas es indudable que se originaron en áreas de máximo levantamiento, en donde con toda probabilidad están expuestas las rocas del basamento cristalino; pero como son depositadas en una gran variedad de ambientes, no puede decirse que sean características de uno en particular y a causa de que son depositadas bajo condiciones muy diferentes, el tamaño del grano y la clasificación de las arcosas varían considerablemente y muchas son conglomeráticas; también varían en los componentes autigénicos accesorios y en el carácter de los estratos con los que están asociados; tal es así que en la secuencia estratigráfica de las Formaciones Otatera y Yucufuti, se encuentran arcosas, areniscas radiactivas (areniscas ferruginosas), coquinas; lo cual junto con la estratificación cruzada y gradada permite establecer un ambiente de Delta para el origen de estas rocas.



MUESTRA	LOCALIDAD	FORMACION Y EDAD	DESCRIPCION MICROSCOPICA	CLASIFICACION	ORIGEN
EMM-15	Camino a Yutandú; al W de Naranjo	Rocas volcánicas básicas e intermedias del Plioceno (Terciario Superior)	Textura porfídica: plagioclasas (andesina); piroxenos (enstatita); ortopiroxenos alterando a clorita; olivino; matriz microlítica de plagioclasas (andesina); oxidación abundante.	Andesita basáltica	Derrames volcánicos
EMM-22	SE de Yutandú	Rocas volcánicas del Plioceno (Terciario Superior)	Textura porfídica-microlítica: plagioclasas (andesina); olivino alterado; calcita secundaria, oxidación fuerte.	Andesita-basáltica	Derrames volcánicos
EMM-27	W de Juquila de León	Roca volcánica del Plioceno (Terciario Superior)	Textura microlítica-traquítica; plagioclasas (andesina); piroxeno (egirina-augita); iddingsita (alteración del olivino en fenocristales).	Basalto	Derrame volcánico
EMM-46	NW de Tezoatlán entre San Marcos y Las Peñas	Rocas ígneas hipabisales del Oligoceno-Mioceno (Terciario)	Textura microcristalina: plagioclasas macladas en microlitos (andesina); piroxenos (pigeonita) y olivino rodeados de microlitos.	Andesita microlítica	Domo hipabisal
EMM-48-K	Arroyo Yucunuti o Pipi; al NW de Tezoatlán	Rocas ígneas intermedias hipabisales del Oligoceno-Mioceno (Terciario)	Textura afanítica con algunos fenocristales: plagioclasas (andesina) alteradas; anfíbol (hornblenda); cuarzo secundario; calcita como alteración de plagioclasas; material arcilloso (argilita, caolín); sericita.	Microdiorita cuarcífera	Hipabisal
EMM-71-A	Ladera, margen izquierda de Arroyo Yucunuti	Rocas ígneas intermedias hipabisales del Oligoceno-Mioceno (Terciario)	Textura porfídica: fenocristales y matriz fina; plagioclasas (andesina) muy alteradas; matriz de sílice; minerales secundarios: sericita y clorita (posible silicificación posterior).	Pórfido tonalítico	Hipabisal
EMM-112-3	Arroyo Rosario	Clasto de roca ígnea de probable edad pre-toarciana (Jurásico Inferior) Formación Rosario	Textura porfídica "traquítica", matriz microlítica con aparente orientación inclusive los fenocristales que se ven agrupados; plagioclasas (labradorita) algunas alterando a calcita; clorita como producto de alteración de piroxenos.	Andesita	Rodado que procede de rocas volcánicas

MUESTRA	LOCALIDAD	FORMACION Y EDAD	DESCRIPCION MICROSCOPICA	CLASIFICACION	ORIGEN
EMM-112-A-1	Arroyo Rosario	Rocas volcánicas toarcianas o pre-toarcianas (Jurásico Inferior) Formación Rosario	Textura esquitosa; minerales largos fibrosos incipientemente orientados; otros detríticos; biotita pennina; cloritoide; cuarzo; opacos (óxidos); feldespato; mica cloritizada; sericita.	Metatoba arenisca vulcanoclástica	Volcánico con afectación dinámico metamorfismo (posterior)
EMM-113-1	Arroyo Rosario	Clasto de andesita del pretoarciano; depositado en el Jurásico Inferior. Formación Rosario	Textura porfídica con matriz criptocristalina de feldespatos y fenocristales de plagioclasas (andesina); y de serpentina como alteración de piroxenos; mucha calcita secundaria; clorita; sericita.	Andesita	Rodado procedente de rocas volcánicas
EMM-113-3	Arroyo Rosario	Clasto de andesita depositado en el Jurásico Inferior y que procede de rocas volcánicas pretoarcianas. Formación Rosario	Textura porfídica con matriz criptocristalina de feldespatos; fenocristales de piroxenos a serpentina y clorita que también pueden derivarse de la alteración de olivino; mucha calcita secundaria.	Andesita basáltica	Rodado que procede de rocas volcánicas
EMM-114-0	Arroyo Rosario	Formación Taberna del Bajociano (Jurásico Medio)	Textura exquisitosa*: minerales grandes alargados orientados y paralelos; sillimanita; vetillas de sílice; escaso cuarzo anguloso y regularmente clasificado; sericita; micas. (*Leptidoblástica).	Arenisca esquitosa (metamorfizada)	Roca sedimentaria afectada por rocas ígneas
EMM-114-5	Arroyo Rosario	Dique básico del Oligoceno-Mioceno (Terciario) en la Formación Taberna del Bajociano (Jurásico Medio)	Textura porfídica: con matriz criptocristalina y microlitos de plagioclasa (andesina), fenocristales grandes ovalados de piroxeno (hiperstenas); rodeados de plagioclasa; piroxenos pequeños y alargados (augita y enstatita); serpentina como alteración de olivino o piroxeno con halos de clorita, los microlitos algo orientados y rodean a los demás.	Pórfido basáltico	Dique (80 m de ancho)

MUESTRA	LOCALIDAD	FORMACION Y EDAD	DESCRIPCION MICROSCOPICA	CLASIFICACION	ORIGEN
EMM-115- 1	Arroyo Rosa- rio	Dique: Oligoceno-Mioceno (Terciario) en la Formación Taberna del Jurásico Medio	Textura holocristalina porfídica de reliquia; huellas de microlitos, piroxenos rómicos; abundante calcita; mineral arcilloso; vetilla de opacos metálicos.	Andesita alterada	Dique (80 cm de ancho)
EMM-118- A-1	Arroyo Rosa- rio	Formación Rosario (Jurásico Inferior y Medio). Clasto de roca ígnea pretoarciana	Textura microlítica con pocos fenocristales; plagioclasas (labradorita) orientadas; clorita; ferromagnesianos (óxidos).	Andesita	Rodado que procede de rocas volcánicas
EMM-118- A-2	Arroyo Rosa- rio	Formación Rosario (Jurásico Inferior y Medio). Clasto de roca ígnea pretoarciana.	Textura porfídica: matriz microlítica y criptocristalina; plagioclasas (labradorita) clorita; calcita; cuarzo secundario en vetilla.	Basalto	Clasto que procede de rocas volcánicas
EMM-118- D-4	Arroyo Rosa- rio	Rocas ígneas volcánicas pre-Jurásico Inferior (pretoarcianas o toarcianas)	Textura porfídica con matriz de microlitos (algunos con cierta orientación) y fenocristales; plagioclasas (labradorita); piroxenos y/u olivino alterados a clorita y serpentina; estructura amigdaloides con halos de sílice alrededor; calcita en vetillas.	Lava andesítica con amígdalas alteradas	Volcánico
EMM-118- E-1	Arroyo Rosa- rio	Roca ígnea volcánica pretoarciana o toarciana (Jurásico Inferior)	Textura porfídica-hipocristalina-microlítica. Algo de orientación en los microlitos y fenocristales; plagioclasas (labradorita) alterando a sericita en vetillas rodeadas de halos de sílice; clorita; hematita; sílice en oquedades (calcedonia); silicificación por probable hidrotermalismo posterior.	Andesita	Volcánico
EMM-119- B	Camino a Rosario Nuevo	Roca volcánica pretoarciana o toarciana	Textura porfídica-pilotaxítica; con matriz de microlitos y fenocristales grandes; plagioclasa (labradorita); serpentina y clorita como alteración de piroxenos y olivinos; estructura amigdaloidal con cierta orientación (dinamometamorfismo); calcedonia (lentes) y vetillas oxidadas dinamometamorfismo.	Andesita	Volcánico

MUESTRA	LOCALIDAD	FORMACION Y EDAD	DESCRIPCION MICROSCOPICA	CLASIFICACION	ORIGEN
EMM-119- A	Camino a Rosario Nuevo	Roca volcánica pre-toarciana o toarciana (Jurásico Inferior)	Textura porfídica-microlítica alterada con fenocristales subdrales y euedrales de plagioclasas; cavidades rellenas.	Basalto	Volcánico
EMM-134	Arroyo Yucatiyú o San Andrés	Sill tonalítico (Oligoceno-Mioceno) Terciario	Textura afanítica; matriz criptocristalina; plagioclasa (oligoclasa); biotita; cuarzo y sílice en la matriz.	Microtonalita	Hipabisal (sill)
EMM-219	Camino de Tezoatlán a Yucufñuti	Sill dacítico (Plioceno) Terciario Superior	Textura porfídica; matriz criptocristalina de sílice; fenocristales subdrales y euedrales; plagioclasa (andesina); cuarzo enmascarado; hornblenda.	Dacita	Hipabisal (sill)
EMM-221- A	Arroyo Pipi o Yucufñuti	Roca ígnea hipabisal (Oligoceno-Mioceno) Terciario	Textura afanítica-holocristalina; con pocos cristales que sobresalen. Plagioclasa (andesina); cuarzo enmascarado por alteración (óxidos); silicificación posterior tal vez por hidrotermalismo.	Microtonalita	Hipabisal
EMM-221- C	Ladera margen izquierda del Arroyo Pipi o Yucufñuti	Formación Otatera Batoniano Superior (Jurásico Medio Superior)	Textura epiclástica-psamítica; arenisca (grano medio) regular clasificación; cuarzo; feldespato (microclina-andesina); fragmentos de roca; calcita rellena espacios; fragmentos de cuarzo, sílice y calcita. Arcilla en el cementante.	Arenisca cuarzosa	Sedimentario delta? mixto?
EMM-231- 3	San Vicente del Palmar	Tobas andesíticas del (Mioceno-Plioceno) Terciario Superior	Textura tobácea-arenosa; plagioclasas (labradorita); fragmentos de roca; opacos (óxidos); opacos cloritizados; calcita secundaria; fragmentos de roca (pórfido andesítico).	Toba andesítica alterada (con calcita)	Extrusiva fase explosiva intermedia
EMM-233- 5	San Vicente del Palmar	Rocas intrusivas del Mioceno-Oligoceno y aún del Plioceno (Terciario)	Textura holocristalina-hipiofomórfica-porfídica-microlítica plagioclasas (andesina); fenocristales subdrales y euedrales. Piroxenos (hipersterina, augita, pigeonita).	Andesita porfídica	Roca intrusiva

MUESTRA	LOCALIDAD	FORMACION Y EDAD	DESCRIPCION MICROSCOPICA	CLASIFICACION	ORIGEN
EMM-242	Camino a San Juan Diquiyú	Rocas extrusivas del Plioceno (Terciario)	Textura porfídica; plagioclasas; hornblenda (agujas); cuarcita (xenolitos); desvitrificación.	Pórfido andesítico	Extrusivo
EMM-243-A	Junto al poblado de San Juan Diquiyú	Basalto del Plioceno (Terciario Superior)	Textura afanítica: plagioclasas (labradorita); amígdalas rellenas de vidrio volcánico; espacios libres, forma exagonal probablemente de piroxenos; (trazas romboedrales); piroxenos pequeños.	Basalto columnar	Extrusivo
EMM-244-A-2	1.5 km al sur del poblado San Juan Diquiyú	Rocas volcánicas pretoarcianas o toarcianas. (Jurásico Inferior)	Textura porfídica; matriz criptocristalina (sílice) y fenocristales grandes ya alterados (silicificados-oxidados) destruídos y sustituídos. Las plagioclasas (andesina) alteran a sericita. Textura tipo cola de caballo (toba y soldada metamorfizada). Arcilla-hematita-limonita.	Toba andesítica afectada por dinamometamorfismo	Volcánico
EMM-242-A-4	1.5 km al sur del poblado San Juan Diquiyú	Rocas volcánicas pretoarcianas o toarcianas (Jurásico Inferior)	Textura tobácea: matriz criptocristalina (sílice) con material arcilloso; muy alterada; fragmentos de roca grandes; escaso cuarzo.	Toba ignimbrítica metamorfizada	Volcánico y posteriormente afectada por dinamometamorfismo

A P E N D I C E "C"



P A L E O N T O L O G I A

LOCALIDAD: ARROYO YUCUÑUTI O PIPI.

Muestra: EMM 77'

Clasificación: Mollusca-Bivalvia

- a) Crenotrapezium hayami Alencáster
- b) Eocallista inlayi Alencáster
- c) Anisocordia coxi Alencáster
- d) Vaugonia (Vaugonia) kobayashii Alencáster

Edad: Las especies identificadas han sido descritas por Alencáster ---  
(1963) como del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero.

Formación: Otatera

Muestra: EMM 82-4

Clasificación: Cephalopoda-Ammonoidea

Reineckeia consolations Burckhardt

Edad: La especie ha sido descrita como del Jurásico de Oaxaca y Guerrero. (Burckhardt, 1927, Cefalópodos del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero, Inst. Geol. México, Bol. 47, p.1-101).

Formación: Yucuñuti.

Muestra: EMM 82-A

Clasificación: Peltoceras monacanthum Burckhardt

Edad: Ver muestra EMM 82-4

Formación: Yucuñuti

Muestra: EMM 82-B

Clasificación: Reineckeia plicata Burckhardt

Edad: Ver muestra EMM-82-4

Formación: Yucuñuti.

Muestra: EMM 82-111

Clasificación: Reineckeia cf. R. bifurcata Burckhardt

Edad: Ver muestra EMM 82-4

Formación: Yucuñuti.

Muestra: EMM 83-XI

Clasificación: Mollusca Bivalvia

Lucina bellona D'Orbigny

Edad: Este bivalvo ha sido descrito por Alencaster (1963, p. 39.

Pal. Méx. No. 15, Inst. Geol., UNAM), de la formación Yucuñuti (Jurásico Medio) del noroeste de Oaxaca y noreste de Guerrero.

Formación: Yucuñuti

LOCALIDAD: ARROYO SAN ANDRES O YUCATTYU

Muestra: EMM 120-IV

Clasificación: Echinodermata-Crinoidea

Columnals y placas de crinoides

Brachiopoda-Terebratulida

Parathyridina mexicana Ochoterena

Edad: Esta especie fue citada por Ochoterena (1960, Inst. Geól. México, Paleontología Mexicana No. 9), como del Oxfordiano de Tlaxiaco, - Oaxaca.

Formación: Caliza con Cidaris

Muestra: EMM A-19

Clasificación: Zamites oaxacensis (Wieland) Person

Edad: Esta especie se describe en el Jurásico Medio de Oaxaca.

Formación Zorrillo?

LOCALIDAD: CAMINO A SAN VICENTE DEL PALMAR.

Muestra: EMM 228

Clasificación: Restos de plantas muy mal conservadas, que no son determinables.



Edad: Indeterminable.

Formación: Grupo Sabinal?

Muestra: EMM 229

Clasificación: Restos de plantas indeterminables

Edad: Indeterminable

Formación: San Isidro?

LOCALIDAD: ARROYO ROSARIO.

Muestra: EMM 66

Clasificación: Otozamites hespera Wieland

Edad: Se describen como del Jurásico Inferior y Medio de Oaxaca, Puebla y Veracruz.

Formación: Simón?

Muestra: EMM 115-4

Clasificación: Reineckeia s.p.

Edad: Ver muestra EMM 82-4

Formación: Taberna?

Muestra: EMM-115-5

Clasificación: Perisphinctes?

Edad: Oxfordiano?

Formación: Taberna

Muestra: EMM 115-7 (Concreción)

Clasificación: Probablemente impresiones de fragmentos de tallas de -  
Equisetales

Edad: Estas plantas fueron abundantes en el Mesozoico

Formación: Taberna

LOCALIDAD: CEMENTERIO DEL ROSARIO NUEVO

Muestra: EMM 247

Clasificación: Spermopsida-Cycadophyta (plantas) Ptilophyllum acuti-  
folium Morris

Edad: Triásico superior-Cretácico inferior

Formación: Rosario

LOCALIDAD: ORIENTE DE SAN JUAN DIQUIYU

Muestra: EMM 16-D

Clasificación: Fragmentos de tallos de Equisetales, fragmento de tron-  
co indeterminable.

Edad: Se encuentran frecuentemente durante todo el Mesozoico.

Formación: Zorrillo.

LOCALIDAD: CAMINO A PAPALUTLA

Muestra: EMM 256

Clasificación: Mollusca-Bivalvia

Corbicellopsis s.p.

Edad: Bajociano-Cretácico inferior (Co et al., 1960, N642, Treatise  
on Invertebrate Paleontology, (N) Mollusca 6 (2 de 3) Geol. Soc. Ame-  
rica, Moore Editor)

Formación: Caliza con Cidaris en su parte superior.

Muestra: EMM 256-3

Clasificación: Cephalopoda-Ammonoidea

Kilianella?

Edad: Cretácico inferior

Formación: Grupo Sabinal.

Muestra: EMM 267

Clasificación: Mollusca-Bivalvia

Gryphaea?

Inoceramus (Mytiloides) s p.

Edad: El género y subgénero de este inocerámido presenta un alcance -  
estratigráfico comprendido entre el Jurásico Inferior y el Cretá-  
cico Superior (Cox, et al., 1969, p. N327, Treatise on Inverte-  
brate Paleontology, Geol. Soc. Amer. Moore Edit.).

Formación: Grupo Sabinal

Muestra: EMM 269

Clasificación: Amonita indeterminable

Edad: Indeterminable

Formación: Grupo Sabinal

Muestra: EMM 270

Clasificación: Spermopsida-Cycadophyta? (Plantas)

Edad: Las Cycadophytas presentan un alcance estratigráfico muy amplio  
(Pérmico-Reciente). Sin embargo en el Estado de Oaxaca se ha --  
descrito una flora formada por Cycadophytas del Jurásico Medio.

Formación: Grupo Sabinal en su parte superior, cerca del contacto con  
la Formación San Isidro.

LOCALIDAD: KILOMETRO 32 DE LA CARRETERA HUAJUAPAN-TONALA

Muestra: EMM 266-(1-24)

a) Las muestras EMM 266; 1, 4, 5, 12, 14, 16, 17, 18, 19 y 22 presen-  
tan:

Clasificación: Ejemplares del amonita Kilianella. s.p. ✓

Edad: Berriasiano-Valanginiano superior? Hauteriviano inferior

b) Muestra EMM 266-2

Clasificación: Restos de vegetales indeterminables

Edad: Indeterminable.

c) Muestra EMM 266-3

Clasificación: Kilianella y Bochianites (Amonitas) sp.

Edad: Ver muestra EMM 266

d) Muestra EMM 266-8

Clasificación: Kilianella sp. (formas juveniles) y un bivalvo indeterminable

Edad: Ver muestra EMM 266

e) Muestra EMM 266-9

Clasificación: Neocomites sp.

Edad: Neocomites se describe del Berriasiano-Valanginiano (Arkell et al.; 1957 p. L358, Treatise on Invertebrate Paleontology, Geol. Soc. Amer., Moore Editor).

f) Muestra EMM 266-16

Clasificación: Fragmentos de amonita indeterminable

Edad: Indeterminable.

g) Muestra EMM 266-20

Clasificación: Neocomites sp. Kilianella sp.

Edad: Ver muestras EMM 266 y 266-9

h) Muestra EMM 266-23 y 24

Clasificación: Neocomites?

Edad: Cretácico inferior?

Formación: Todas las muestras anteriores dentro del Grupo Sabinal.

Muestra: EMM 266

Clasificación: Mollusca-Cephalopoda-Ammonoidea

Bochianites sp.

Kilianella sp.

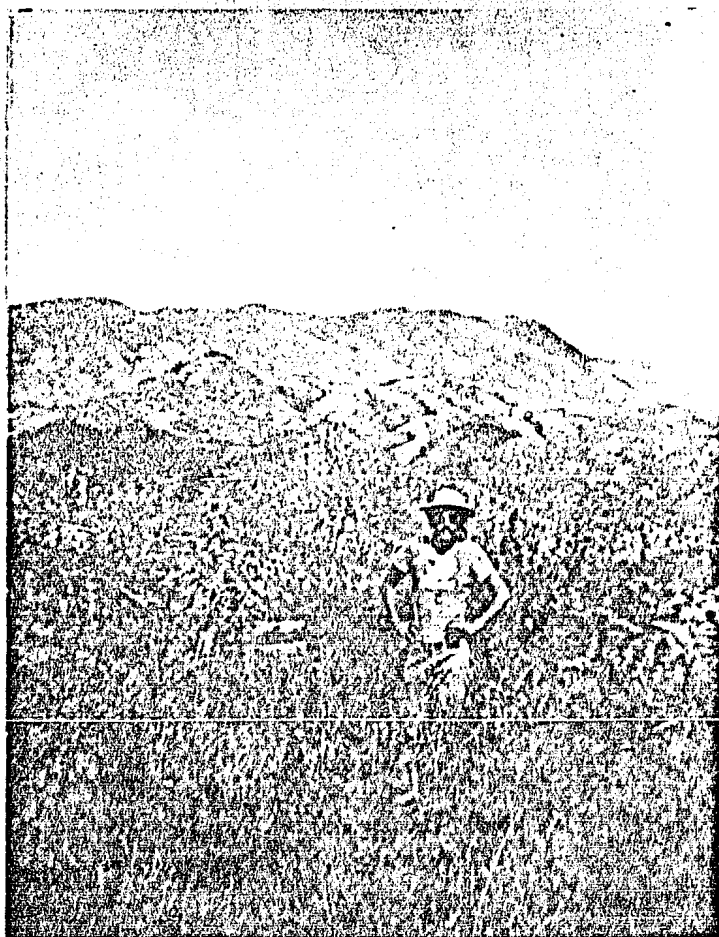
Edad: El género Bochianites presenta un alcance estratigráfico comprendido entre el Tithoniano-Hauteriviano (Arkell et al., 1957, p. L207, Treatise on Invertebrate Paleontology, Geol. Soc. Amer. Moore Edit.)

A P E N D I C E "D"

=====

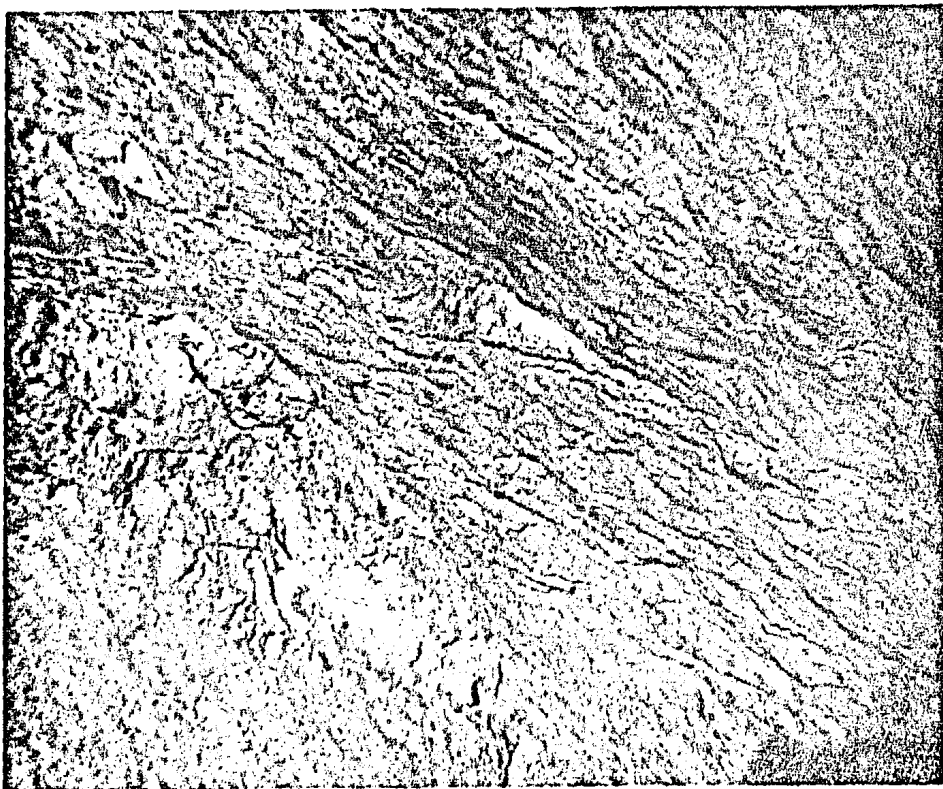


No. 1.- Personal de URAMEX, por tanto un cintilómetro GR-101A, en uno de los levantamientos -- Geológico- radiométricos.



No. 2.- Vista general del relieve de la zona, desde el Cerro de San Juan Viejo.

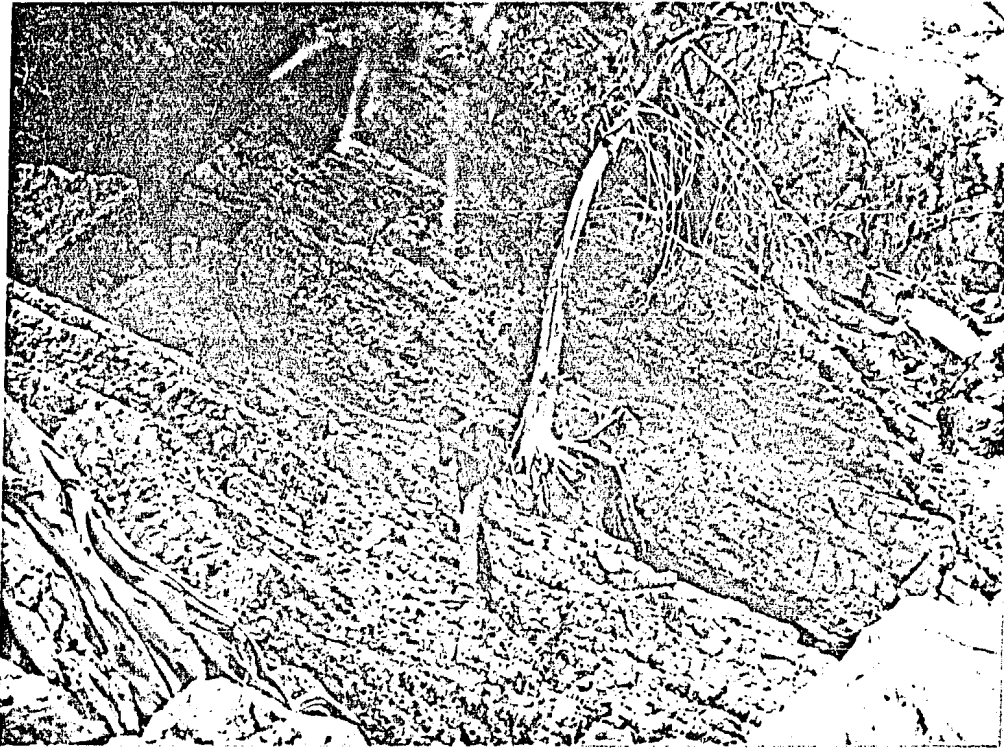




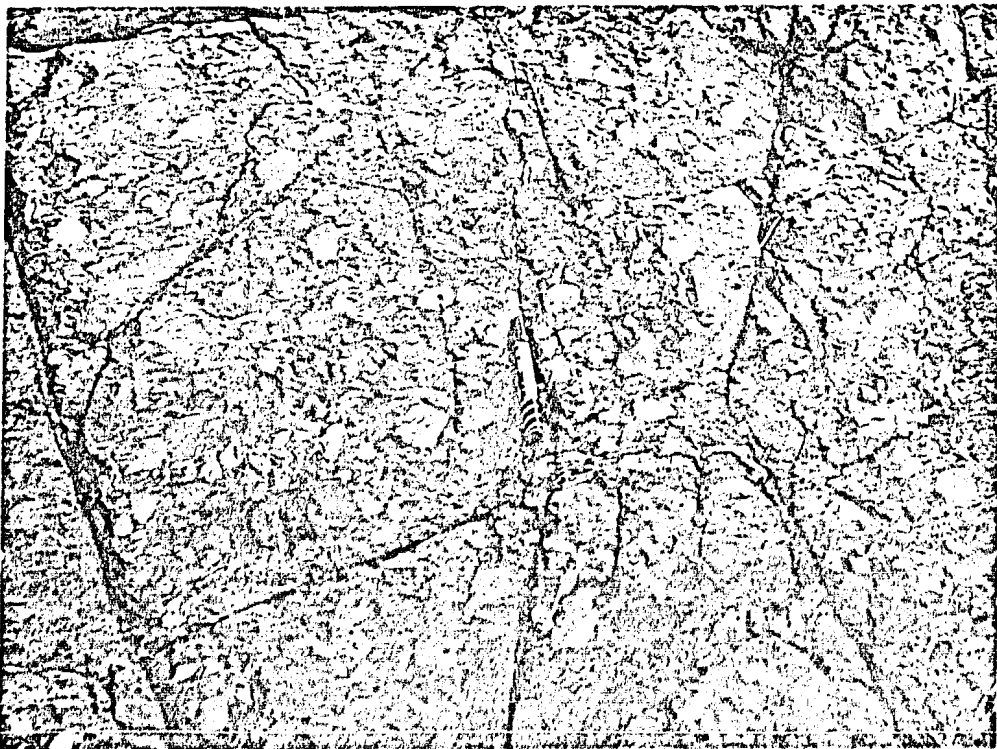
No. 3.- Esquistos y micaesquistos del Complejo Acatlán, en el camino que va a Silacayoapilla.



No. 4.- Vista desde el camino, que va de Tonalá a San Marcos Arteaga; donde se observa la expresión fisiográfica de de las rocas metamórficas del Complejo Acatlán.



No. 5.- Conglomerado de rocas volcánicas andesíticas (Formación Rosario), en contacto transicional con el Conglomerado Cualac.



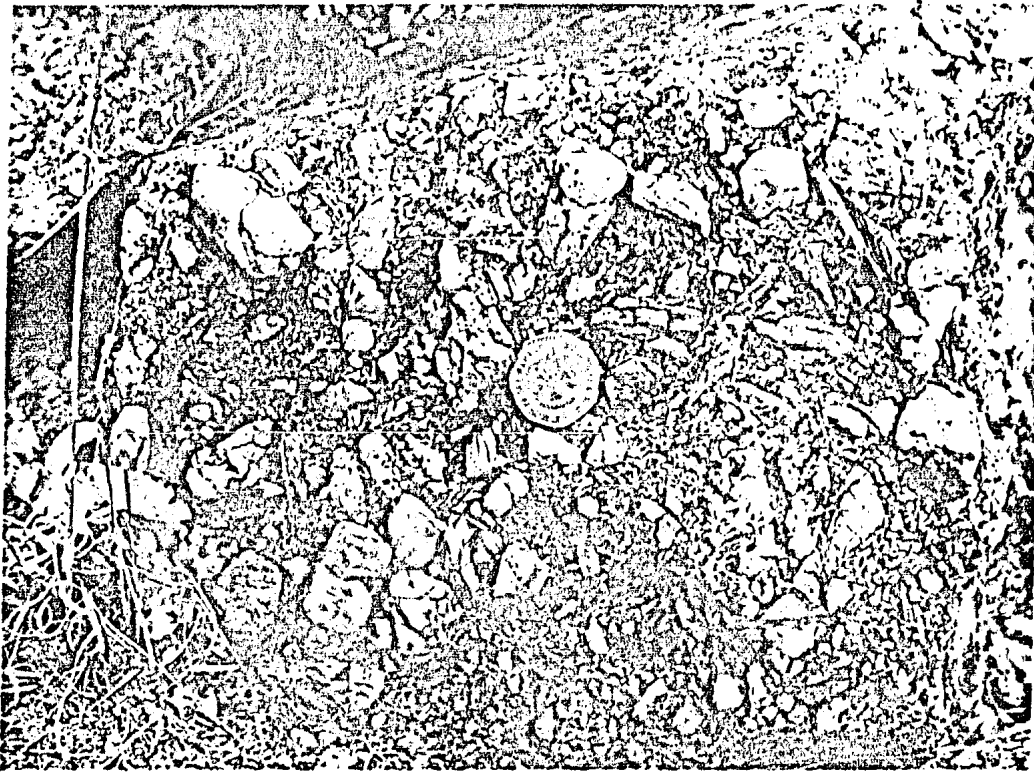
No. 6.- Conglomerado oligomictico, fragmentos de rocas ígneas de composición andesítica, que varían de 1 a 20 cm. de diámetro. (Formación Rosario).



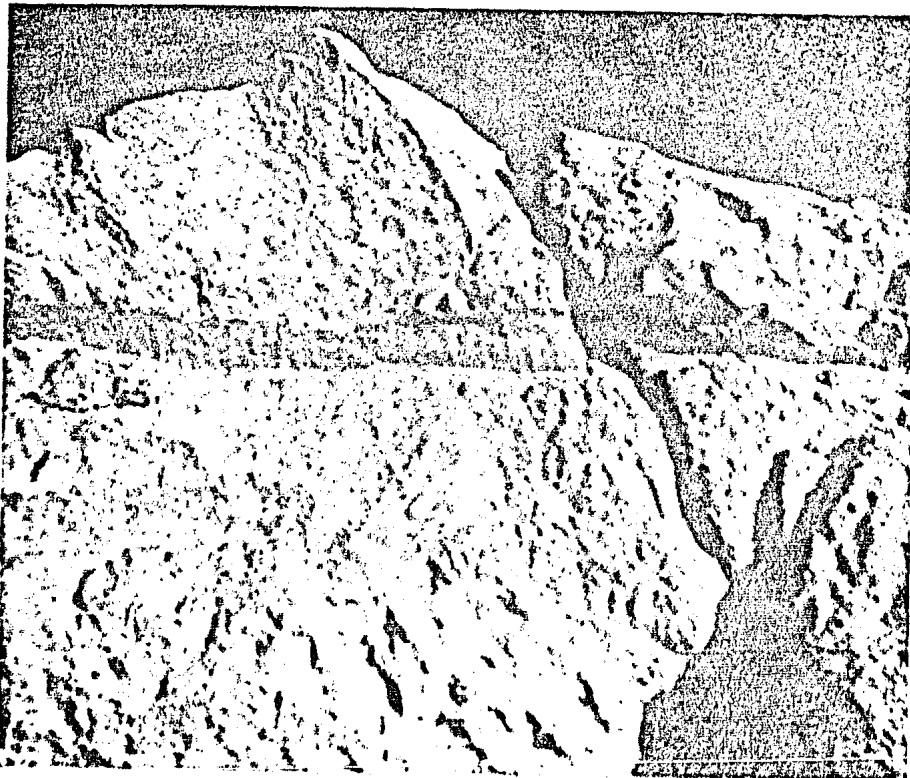
No. 7.- Estratos de la Formación Rosario, afectados por un intrusivo de tipo localítico.  
(Ver muestra EMM-246 en Apéndice "B").



No. 8.- Expresión Geomorfológica del Conglomerado Cualac, en el Anticlinorio Diquiyú.



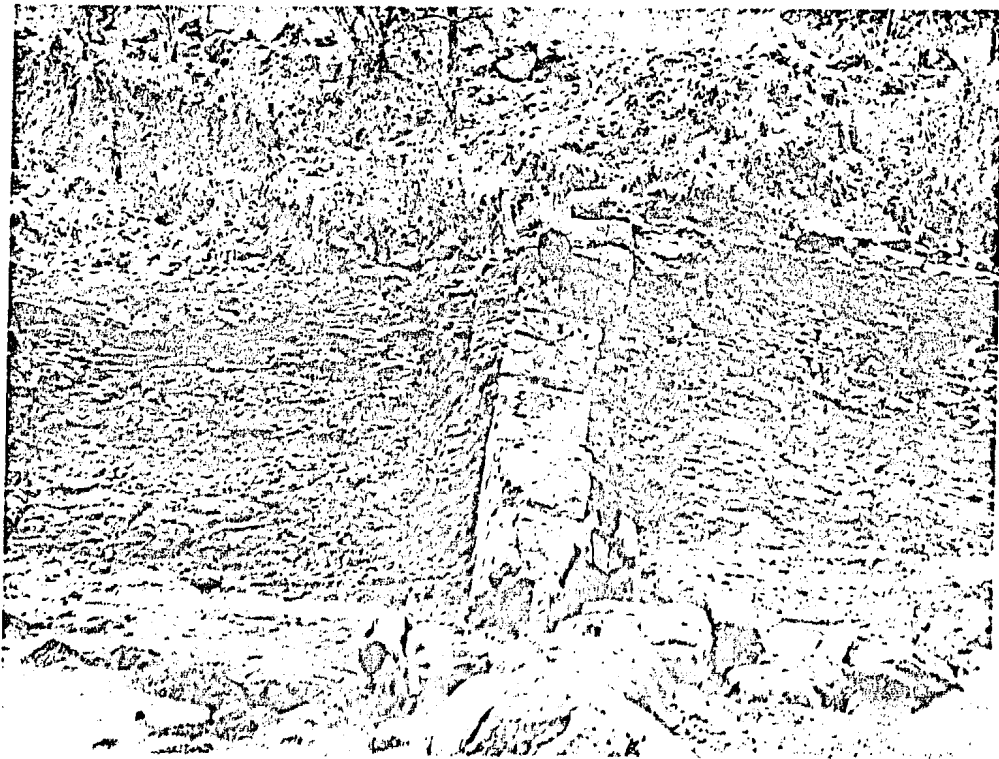
No. 9.- Conglomerado polimíctico del Conglomerado Cualac.



No. 10.- Areniscas compactas con restos de plantas terrestres, que constituyen la base de la Formación Zorrillo.



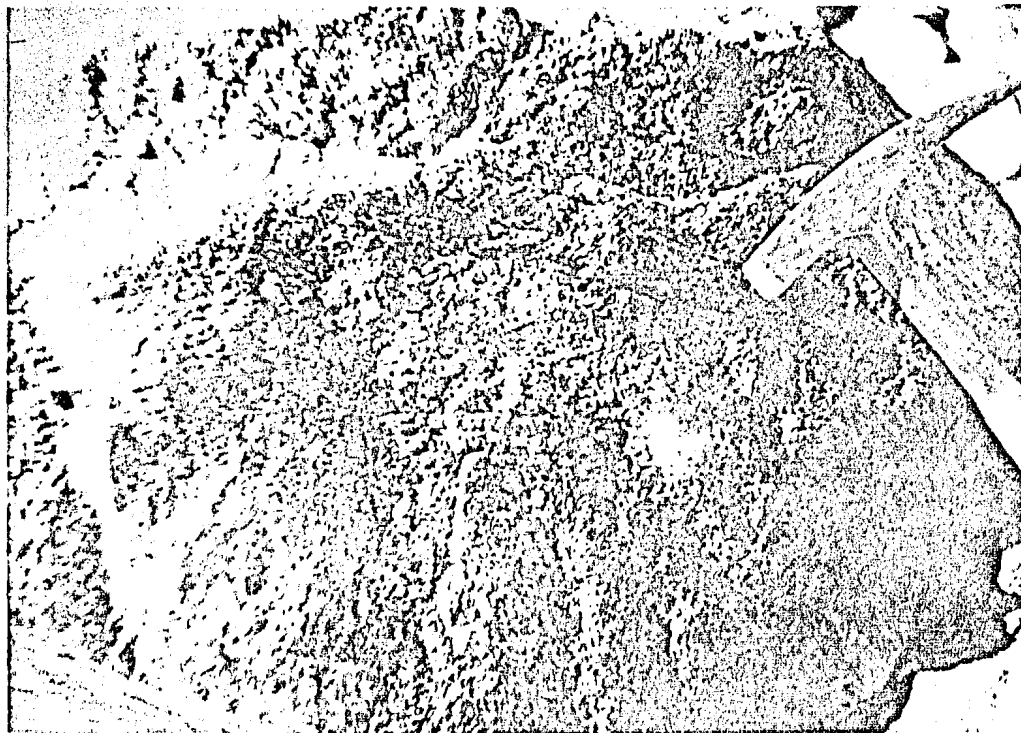
No. 11.- Concreciones calcáreo-hematíticas sobreyaciendo a lutitas carbonosas de la Formación Taberna.



No. 12.- Dique de composición andesítica, intrusionando a sedimentos clásticos de la Formación Taberna. Se encuentra muy intemperizado. (Ver muestra EMM-115-1 en Apéndice B).



No. 13.- Dique de composición basáltica, afectando capas clásticas de la Formación Taberna. (localidad: Arroyo Rosario. Ver muestra EMM-114-5 Apéndice B).



No. 14.- Arenisca cuarcítica de grano grueso, obsérvese la estratificación cruzada. Formación Simón, localidad: Arroyo Rosario.



No. 15.- Limolitas y lodolitas con abundantes pelecípodos; Formación Otatera localidad: camino a Diquiyú.



No. 16.- Areniscas y lutitas, con horizontes de coquinas y abundantes amonitas Reineckia; Formación Yucuñuti. Localidad: SW de Yucuquimi de Ocampo.

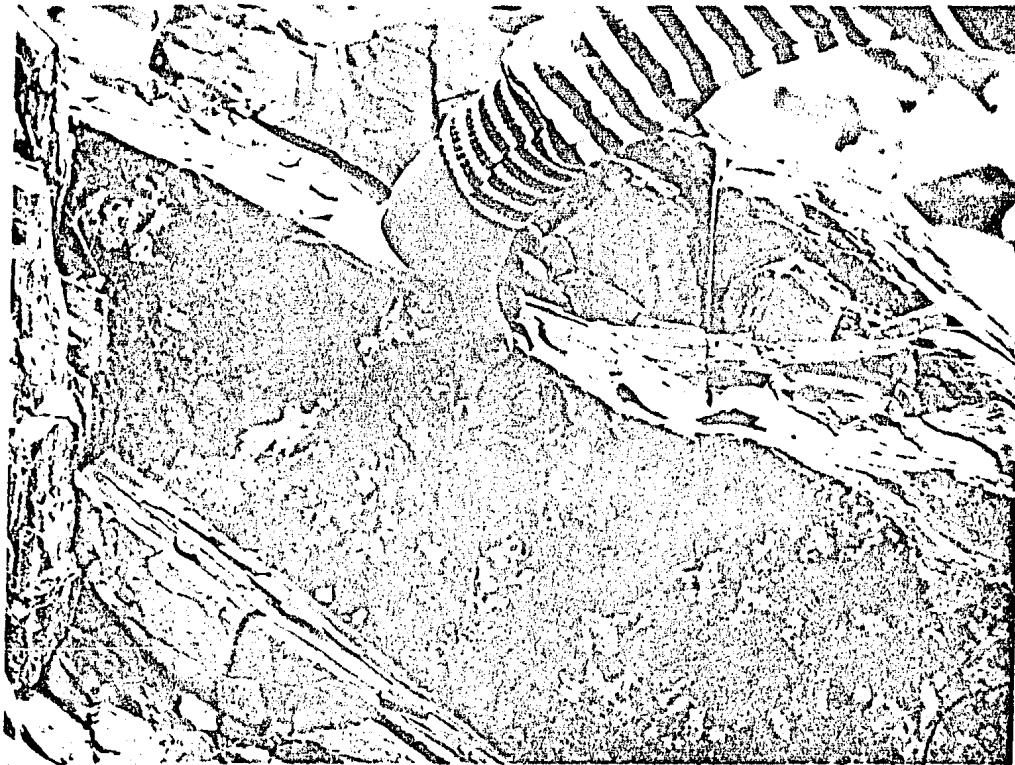




No. 17.- Margas y limolitas calcáreas, laminares, con abundantes amonitas y bivalvos (Inoceramus Mytiloides) sp. Corresponden al Grupo Sabinal. Localidad: camino a Papalutla, (Ver muestra EMM-267, Apéndice B).



No. 18.- Capas de mudstone y dolomías, plegadas disarmonicamente, corresponden al Grupo Sabinal. Localidad: Cañón de Tonalá.



D-10

No. 19.- Lutitas calcáreas, laminares y oscuras; que poseen abundantes amonitas mal conservadas, que dificultan su clasificación.  
Grupo Sabinal., localidad: Cañón de Tonalá



No. 20.- Secuencia de areniscas en estratos medianos y --delgados que alternan con lutitas gris-versosas y limolitas. Formación San Isidro, lo  
calidad: Cañón de Tonalá.

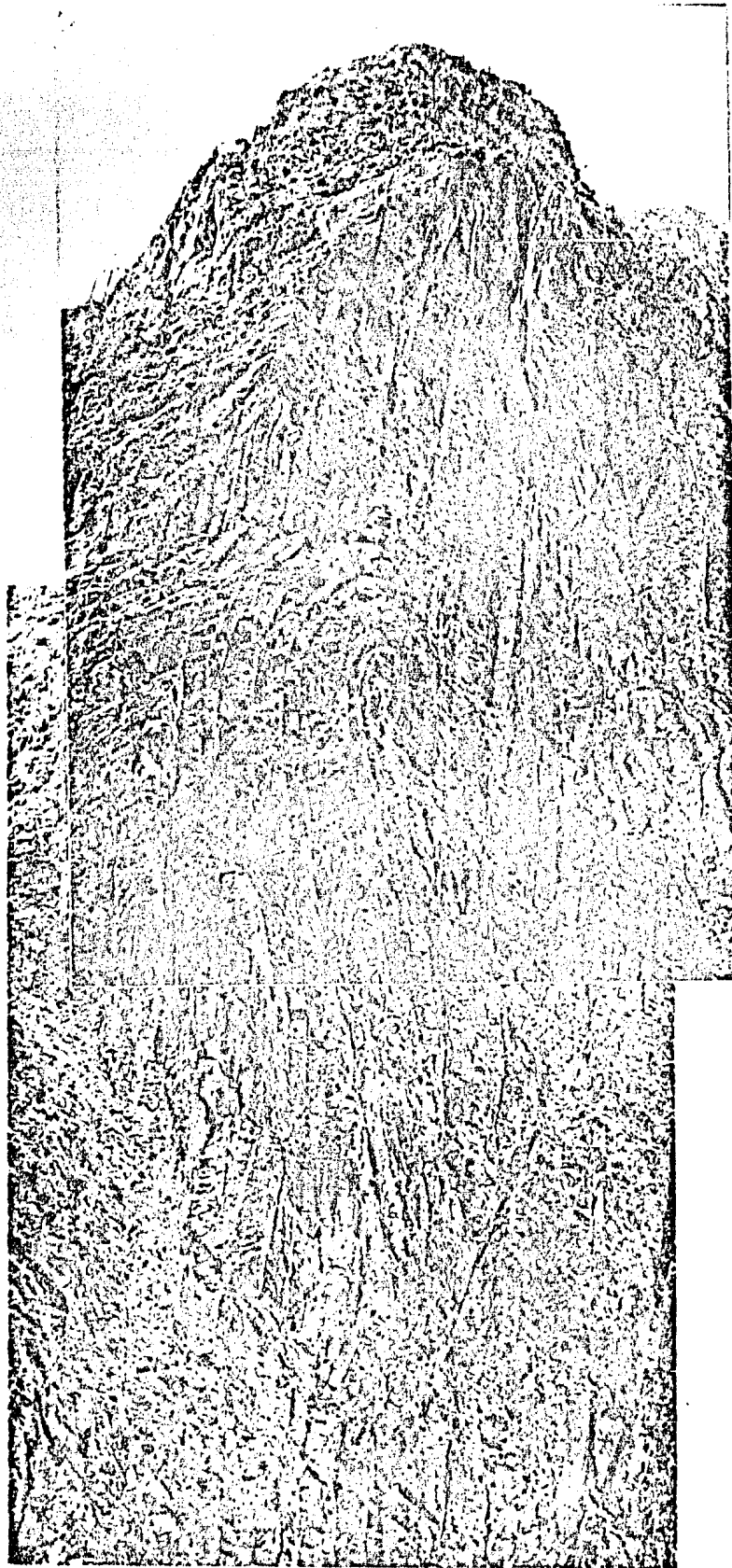


No. 21.- Areniscas calcáreas de grano fino y estratificación delgada, alternan lutitas laminares de color gris verdoso. Formación San Isidro, localidad: camino a San Vicente del Palmar.



No. 22.- Conglomerado de cuarzo y rocas metamórficas, que alcanzan hasta 5 cm. de diámetro. Formación San Isidro, localidad: Rancho Solano.





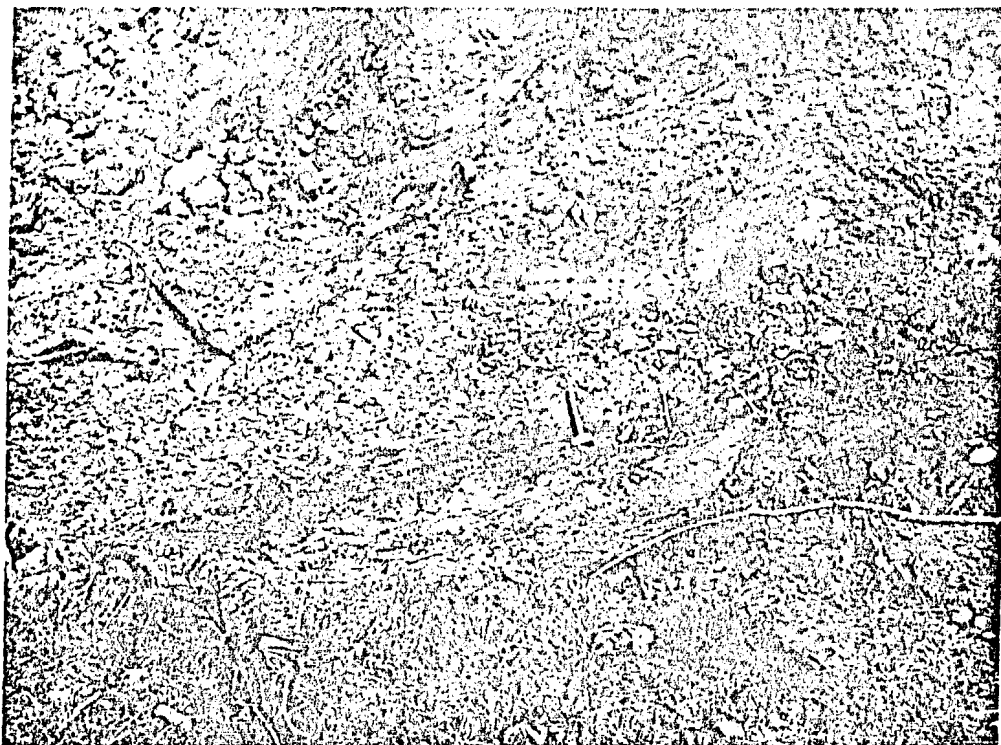
No. 23, - Caliza mudstone en estratos medianos a gruesos y masivos, sumamente plegados formando escarpes, Formación Teposcolula, localidad: Cañón de Tonalá,



No. 24.- Exposición de conglomerado color rosa, no bien consolidado, que constituye la parte media de la Formación Huajuapán, localidad: Camino de Tezoatlán a Yucuñuti.



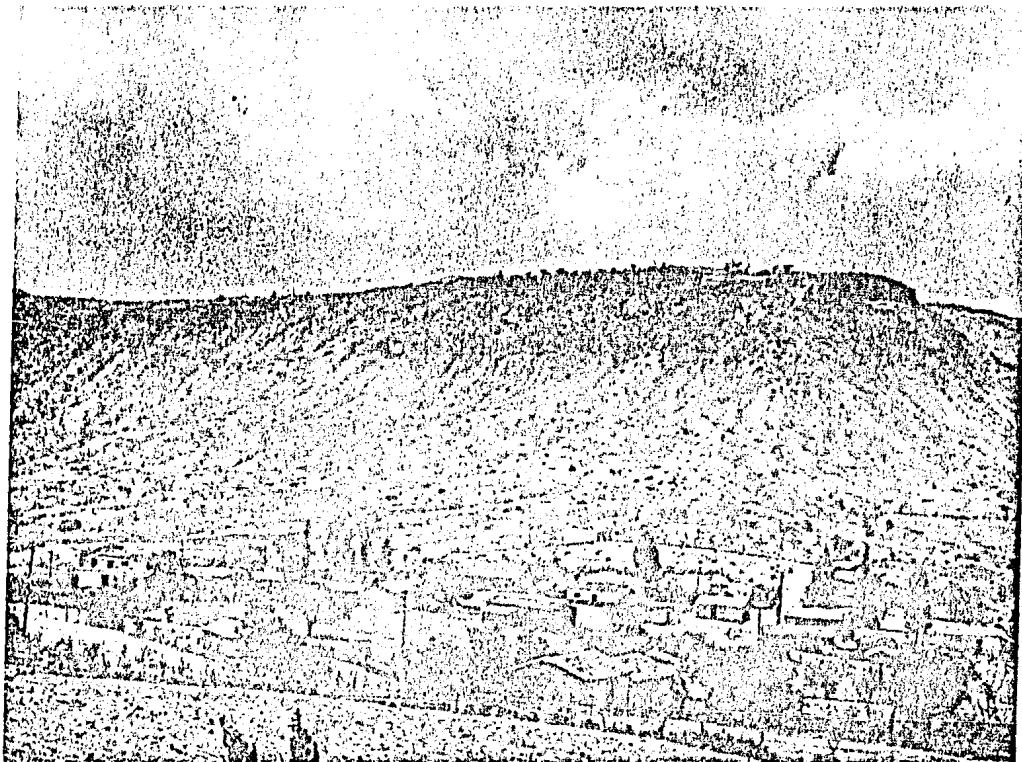
No. 25.- Rocas volcánicas con muchas alteraciones que presentan rasgos de fluidez, y se encuentran subyaciendo al conglomerado Rosario, localidad: Arroyo Rosario,



No. 26.- Tobas seudoestratificadas, ligeramente metamorfoseadas, en aparente interestratificación con capas de la Formación Rosario, localidad: Arroyo Rosario.



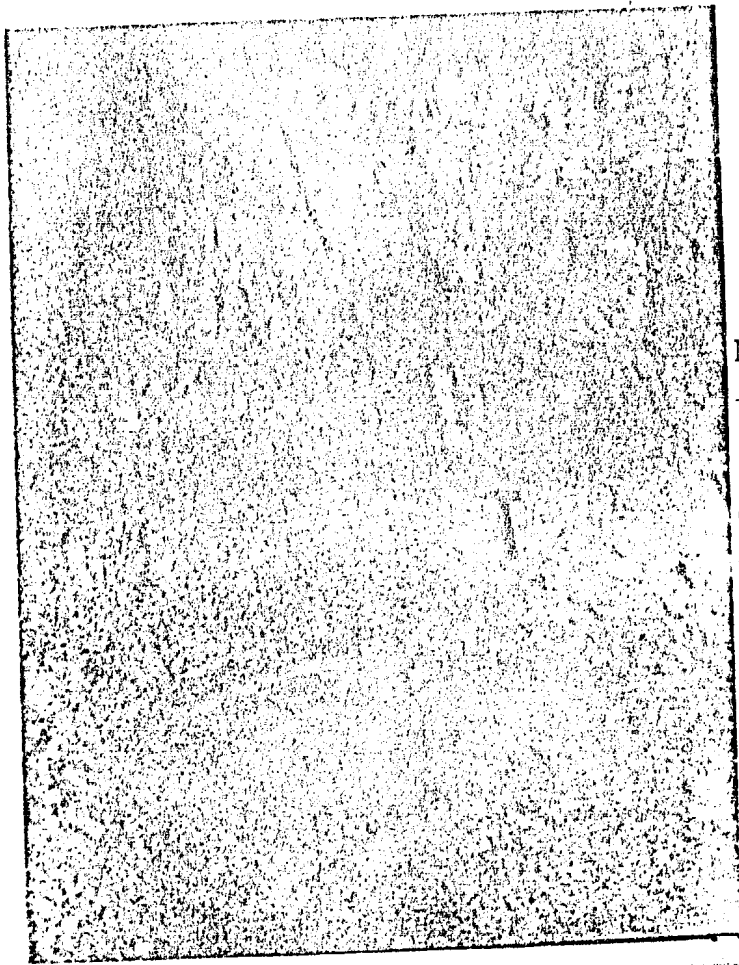
No. 27.- Tobas ignimbríticas con ligero metamorfismo y alteración hidrotermal, localizadas en el eje del Anticlinorio Diquiyú.



No. 28.- Tobas arenosas de colores variados, seudoestratificadas y se expresan en forma de mesas y cantiles, localidad: Santiago Cacaloxtepc.



No. 29.- Tobas soldadas que coronan a tobas de composición andesítica y riolítica, se muestra claramente la erosión diferencial característica en la región, localidad: al Oeste de Tezoatlán.

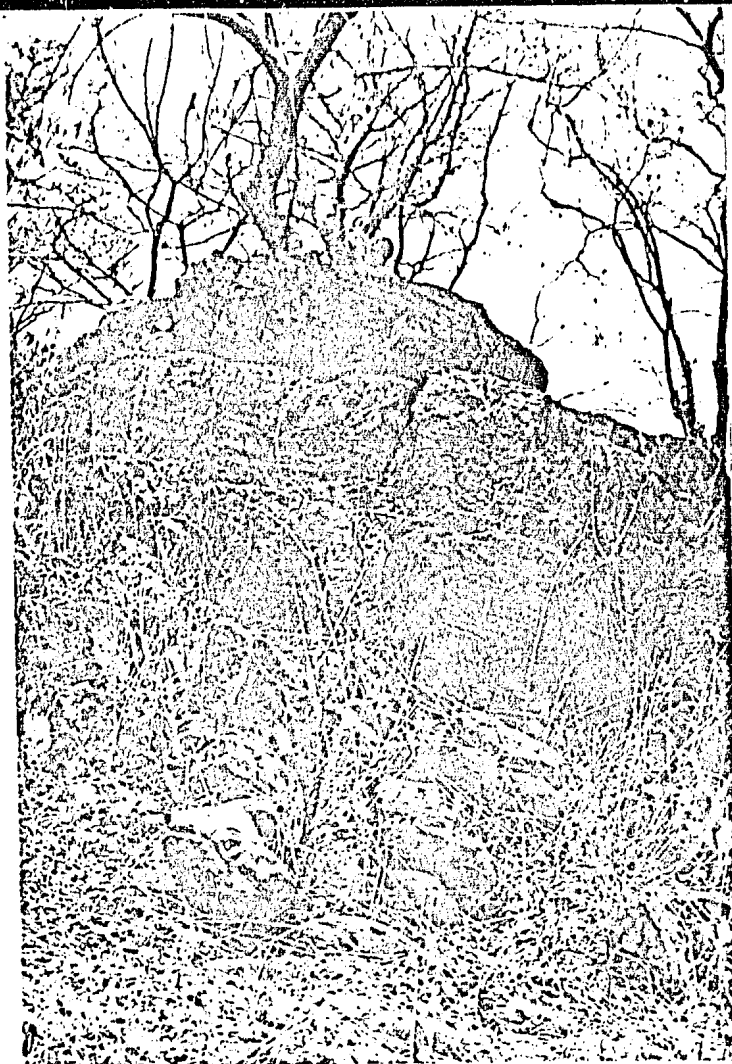


No. 30.- Tobas pseudoestratificadas de aspecto arenoso y seleccionado que indican que se acumularon en un medio acuático.

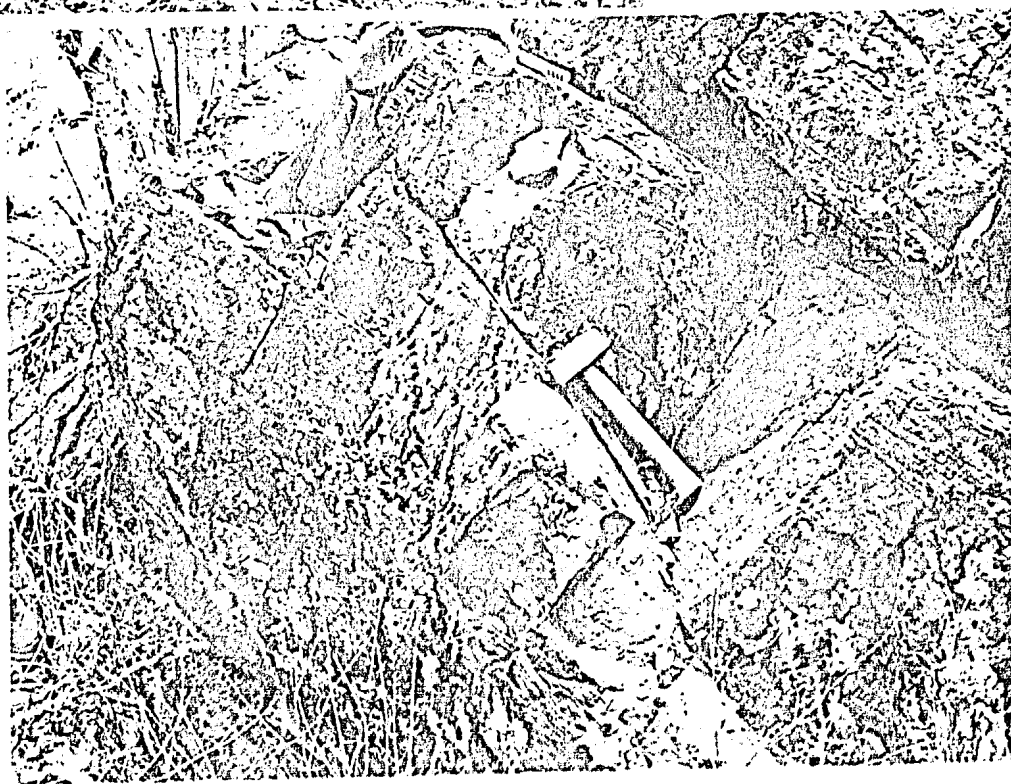


No. 31.- Derrames volcánicos de composición dacítica que sobreyacen a tobas, localidad: camino a San Juan Diquiyú, partiendo de Tezoatlán. (Ver muestra EMM-235, Apéndice B).





No. 32.- Horizonte radiactivo (Anomalía 10), consiste de areniscas de la Formación Ota-tera en transición con la For-mación Yucuñuti. Destaca topo-gráficamente 1 ó 1.5 m sobre el piso y contrasta con las -rocas adyacentes. Localidad: SW de Tezoatlán, (Ver muestra EMM-215 Apéndice B).



No. 33.- Anomalía 10: areniscas color gris-pardo rojizo y amarillento (oxidación e intemperismo) de grano fino a medio y excepcionalmente de aspecto conglomerático y aún de grano grueso, de estratificación graduada y cruzada; en estratos medianos y gruesos. Localidad: SW de Tezoatlán, (Ver muestra EMM-215, Apéndice B).



No. 34.- Rodado de arenisca radiactiva con valores de 400 a 500 cps. (GR-101-A) de más de 1 m, de diámetro, cuya fuente de origen es el afloramiento denominado Anomalía Pipi 1. Se aprecia la estratificación gradada y cruzada. Localidad: Arroyo Pipi, al oeste de Tezoatlán.



No. 35.- Horizonte radiactivo denominado Anomalía Pipi 1. Destaca en forma escarpada y consiste de arenisca de grano fino a medio, fuertemente oxidadas, lo que le imprime un color pardo-rojizo oscuro. Localidad: Oeste de Tezoatlán. (Ver muestra EMM-48, Apéndice B).



No. 36.- Lectura radiométrica del Horizonte radiactivo denominado Anomalía Pipi II (100-500 cps. GR-101-A). Localidad: Margen izquierda del Arroyo Pipi, al oeste de Tezoatlán.

No. 37.- Anomalía Pipi II, medición de fracturas en areniscas de grano fino a medio, en contacto al NE con coquinas y al SW con areniscas cuarzosas de grano medio y estratificación cruzada.

