

6L01496

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS

ESTUDIO AEROMAGNETICO REGIONAL DEL SE DE NAYARIT.
(EL CEBORUCO-SAN PEDRO-TEPETILTIC)
-PROCESAMIENTO DIGITAL Y DESCRIPCION CUALITATIVA-

INFORME 15/91

OCT./91

POR: Fís. GERARDO HÉCTOR GARCÍA ESTRADA

I N D I C E

RESUMEN

OBJETIVO

ANTECEDENTES

DIGITALIZACION Y PROCESAMIENTO

INTERPRETACION CUALITATIVA

 LINEAMIENTOS MAGNÉTICOS

 REDUCCIÓN AL POLO

 INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LINEAMIENTOS

 PROCESAMIENTO ADICIONAL

 ISOTERMA DE CURIE

RECOMENDACIONES

OBSERVACIONES

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

RELACION DE FIGURAS

TODAS TIENEN ESCALA 1:300 000 Ó 1:250 000 Y CONTORNOS EN GAMMAS, GAMMAS/KM Y GAMMAS/KM², SEGÚN SEA EL CASO.

- 1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (PROVISIONAL ÉSC. - 1:300 000).
- 2 PLANO AEROMAGNÉTICO DE CAMPO TOTAL DEL SE DE NAYARIT.
- 3 LINEAMIENTOS MAGNÉTICOS INTERPRETADOS EN EL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 4 LOCALIZACIÓN DE PERFILES Y ZONAS DE POSIBLE DESMAGNETIZACIÓN.
- 5 PERFIL 1-1'.
- 6 PERFIL 2-2'.
- 7 PERFIL 3-3'.
- 8 REDUCCIÓN AL POLO DEL PLANO AEROMAGNÉTICO DEL SE DE NAYARIT.
- 9 LINEAMIENTOS MAGNÉTICOS INTERPRETADOS EN EL PLANO DE REDUCCIÓN AL POLO.
- 10 TENDENCIA POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.

- 11 RESIDUAL POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 12 TENDENCIA POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO DEL PLANO DE - CAMPO TOTAL.
- 13 RESIDUAL POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO DEL PLANO DE - - CAMPO TOTAL.
- 14 TENDENCIA POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.
- 15 RESIDUAL POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.
- 16 PRIMERA DERIVADA VERTICAL DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 17 SEGUNDA DERIVADA VERTICAL DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 18 REGIONAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE 0.25 KM, DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 19 REGIONAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 0.5 KM DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 20 RESIDUAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 0.5 KM DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 21 REGIONAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 1 KM.
- 22 RESIDUAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 1 KM.
- 23 REGIONAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 2 KM.

- 24 RESIDUAL POR CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 2 KM.
- 25 CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 0,5 KM DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.
- 26 REGIONAL POR FACTORIZACION ESPECTRAL CON $FC=0,12 \frac{\text{CICLOS}}{\text{KM}}$ DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 27 RESIDUAL POR FACTORIZACION ESPECTRAL CON $FC=0,12 \frac{\text{CICLOS}}{\text{KM}}$ DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 28 REGIONAL POR FACTORIZACIÓN ESPECTRAL CON $FC=0,12 \frac{\text{CICLOS}}{\text{KM}}$ DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.
- 29 RESIDUAL POR FACTORIZACIÓN ESPECTRAL CON $FC=0,12 \frac{\text{CICLOS}}{\text{KM}}$ DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.
- 30 LOGARITMO DEL ESPECTRO DE POTENCIAS DEL PLANO DE CAMPO TOTAL.
- 31 LOGARITMO DEL ESPECTRO DE POTENCIA DEL PLANO REDUCIDO AL POLO.

RESUMEN

Este trabajo, elaborado a lo largo de veinte días hábiles que incluyen desde la digitalización hasta la preparación de este manuscrito, presenta la interpretación regional cualitativa de un estudio aeromagnético que cubre el SE del Estado de Nayarit.

Con apoyo del procesamiento digital se identifican numerosos lineamientos individuales, muchos de los cuales tienen gran posibilidad de corresponder a fallas, no obstante que la mayoría de ellos no son geológicamente evidentes y nunca antes habían sido identificados.

Adicionalmente, se detectan varias zonas de respuesta magnética "irregular" de las cuales se recomienda hacer mayores estudios y modelado con apoyo de datos de susceptibilidad magnética. Los de mayor importancia se encuentran al N y W del Ceboruco y al E y S de la zona de San Pedro. Estas zonas son blanco obligado para estudios eléctricos regionales y posteriormente para pozos de gradiente térmico.

Este reporte descriptivo se preparó en ^{sapport} apoyo a la programación de los estudios regionales de resistividad, por lo que deberá completarse posteriormente con una interpretación más amplia -ya iniciada-, que se utilizó ^{Partially} parcialmente para su elaboración.

OBJETIVO

La finalidad de este trabajo es la determinación, desde el punto de vista magnético, de las localidades con mayores posibilidades de explotación geotérmica en la región comprendida entre las zonas volcánicas del Ceboruco, San Pedro y Caldera de Tepetiltic, ubicadas al SE del Estado de Nayarit (Figura 1).

Por el carácter regional del estudio, las zonas determinadas deberán estudiarse con sondeos eléctricos regionales, antes de proceder a la realización de perforaciones exploratorias.

ANTECEDENTES

Desde el punto de vista geológico, las tres zonas antes mencionadas y las localidades adyacentes son de atractivo geotérmico, tanto por la edad y composición del volcanismo, como por la presencia de anomalías térmicas de intensidad variable^{1-7*}.

No obstante, hasta la fecha no ha sido localizada una zona con características suficientes para iniciar las perforaciones exploratorias, no obstante que se han realizado estudios geofísicos de detalle en algunos sectores del Volcán Ceboruco^{8,9}; además de otro al NW que se encuentra en proceso¹⁰.

La información disponible para este trabajo consta de cinco cartas escala 1:50,000¹¹, elaboradas por el Consejo de Recursos Minerales. En ellas se presentan las -

*Referencias al final del texto.

configuraciones de campo total resultantes de vuelos aeromagnéticos hechos a una altura media de 300 m sobre el nivel del terreno, con datos adquiridos a lo largo de líneas de vuelo - con orientación NE-SW y separación de 1 Km.

El primer problema por resolver fue la digitalización de los datos con el fin de efectuar su procesamiento digital. Esta actividad resultó indispensable, además, por la necesidad de formar un solo plano en escala conveniente -- con toda la información disponible y así, tener una visión si nóptica, que de otra forma, hubiera sido muy difícil de lo- -
grar.

DIGITALIZACION Y PROCESAMIENTO

La necesidad de realizar este estudio coincidió con la conclusión del proyecto de implantación de programas para el procesamiento de datos magnéticos, así como con la adquisición de equipo periférico como digitalizador y graficadores.

La digitalización fue hecha por F. Durán utilizando un programa preparado por el autor, para el uso de una tableta digitalizadora HIPAD de Houston Instruments. El proceso se realizó muestreando los contornos en puntos elegidos a discreción, pero con especial énfasis en las inflexiones y en puntos dados sobre las líneas de vuelo. Como resultado de este proceso se tuvo un total aproximado de 3000 tiradas de datos por plano, que se remuestrearon para tener un total de poco menos de 10 000 datos en toda el área. Este proceso fue necesario por limitantes en el algoritmo de interpolación del paquete SURFER. No obstante, la calidad general de la digitalización permaneció inalterable, pues solo se eliminaron puntos que estuvieran por debajo del nivel de resolución espacial de las líneas de vuelo. Esto significó, sin embargo, - disminuir un poco el parecido detallado entre las configuraciones automáticas que se hicieron posteriormente, y los contornos de los planos originales.

Tomando en cuenta la separación de las líneas y el objetivo regional del estudio, se formó una malla regular de valores de 1 Km por lado, utilizando el interpolador geoestadístico Kriging, con semivariograma lineal. Este procedimiento tuvo que hacerse por separado en dos sectores, debido a la irregularidad geométrica del área cubierta por los 5 planos, sin embargo, se tuvo especial cuidado en que los datos de traslape entre ambos fueran compatibles.

A partir de la rejilla generada, se produjeron planos de contornos del campo magnético total en escalas - - 1:500,000, 1:250,000, 1:200,000 y 1:100 000, de acuerdo con - el uso que se les daría (Figura 2).

No obstante que por cuestiones de presentación, las rejillas resultantes se unieron, su tratamiento digital posterior tuvo que hacerse por separado, ya que los algoritmos de transformada de Fourier disponibles así lo requieren. Esto generó, en algunos casos, pequeñas incompatibilidades en el traslape, lo que hace difícil su unificación posterior a los procesos.

La comparación visual de las configuraciones automáticas con las manuales, permitió comprobar la total corrección de los datos digitalizados e interpolados. Estos reproducen satisfactoriamente la información analógica original y unificados, permiten observar rasgos regionales imperceptibles en análisis hechos por hoja. Empero, algunos detalles pequeños (menores de 1 Km) se pierden, por lo que es recomendable, si se desean estudios más detallados, recalcular una rejilla con celdas menores en alguna zona, o mejor aún, digitalizar los datos por línea de vuelo para hacer interpretación bidimensional.

El procesamiento digital, incluyendo la formación de rejillas regulares a partir de los datos digitalizados, se realizó en un lapso de 8 días hábiles, a los que se sumaron tres más para la reimpresión en escalas grandes con graficador. El procesamiento comprendió: el cálculo de planos regionales y residuales mediante ajuste polinomial, la reducción al polo, continuaciones de campo, factorización especial y derivación vertical, además de la formación de tres perfiles del campo total. Algunos de estos procesos generan un efecto de borde que fue eliminado recortando la rejilla resultante.

INTERPRETACION CUALITATIVA

Antes de proceder a la descripción de los planos debe recordarse que el uso de la aeromagnetometría en zonas volcánicas permite detectar anomalías magnéticas causadas tanto por variaciones de la susceptibilidad magnética, como por la topografía de los edificios volcánicos.

El segundo efecto trata de disminuirse manteniendo una altura de vuelo constante sobre el terreno, pero la compensación de la topografía solo es parcial, por lo que su efecto subsiste filtrado en un grado desconocido.

Por otra parte, el uso de la magnetometría con objetivos geotérmicos tiene varios objetivos posibles: La identificación litológica burda mediante "estilos" magnéticos; la detección de rasgos lineales con posible carácter estructural; la identificación de zonas de relleno; y de zonas desmagnetizadas, bien sea por la alteración hidrotermal de la magnetita, que es el caso más común, o por la presencia de temperaturas superiores al punto de Curie, caso teórico cuya posibilidad de detección no se ha confirmado.

En el caso de la alteración por hidrotermalismo, este suele presentarse produciendo bajos magnéticos y/o disminuciones del gradiente horizontal. La detección de este tipo de zonas, así como la de rasgos lineales se considera prioritaria para el objetivo del estudio.

La interpretación geológica de los rasgos anómalos detectados se hizo superponiendo la información magnética, sobre la imagen SPOT del área en escala 1:100 000.

Lineamientos magnéticos

El plano aeromagnético de campo total permite observar un gran número de lineamientos evidentes de tipo regional con orientación NW-SE, correspondientes al sistema propio del Graben de Tepic-Chapala. Salvo por algunos sectores de los de mayor tamaño, la mayoría de ellos no son identificables en imágenes de satélite. No obstante, por la extraordinaria claridad de muchos de ellos en el plano magnético, se considera que son razonables y consecuentemente tienen un alto grado de certidumbre de corresponder con fallas de tipo regional. De particular interés se consideran las ubicadas en las inmediaciones de los tres centros volcánicos principales, aunque estos alineamientos no se limitan a ellos.

Además del alineamiento de los contornos, se identifican lineamientos de anomalías, que usualmente corresponden a edificios volcánicos detectables por su topografía, mas no por intrusiones asociadas.

Entre los lineamientos más importantes con esta dirección tenemos el de los volcanes Nexpa, Molcajete, Pochotero, Ceboruco, Molcajetillo y Tepetiltic. Volcanes que se ubican sobre una región con forma de cuña, que se extiende de NW a SE, limitada en sus flancos por sendos alineamientos observables topográficamente solo en tramos aislados (Figura 2).

Es interesante notar que en las coordenadas $(U, U) = (656\ 000, 2\ 325\ 000)$ se observa una anomalía positiva de intensidad comparable a la del Ceboruco, por lo que debe tratarse de rocas con gran susceptibilidad magnética o a importantes intrusivos en el subsuelo.

Si bien es muy conocida la existencia de un control estructural NW-SE, de este sector del Eje Neovolcánico, donde se ubica el Ceboruco, las imágenes de satélite solo permiten la identificación de unos pocos lineamientos individuales, por los que un aporte fundamental del estudio aeromagnético es la ubicación específica de un gran número de estos rasgos, muchos de los cuales parecen tener origen tectónico.

Además de los alineamientos de contornos y de anomalías positivas, se observa un alineamiento NW-SE de mínimos magnéticos en el flanco norte del Ceboruco - - - (552 000, 2 339 000). Este, corresponde a una zona de alteración hidrotermal, fenómeno que aparentemente provocó la desmagnetización de las rocas volcánicas de la zona. La hipótesis es apoyada por la existencia de bajos magnéticos incluso en áreas cubiertas por rocas andesíticas, lo que no es el comportamiento esperado. Al menos parcialmente, el valor magnético bajo se debe a que corresponde al sector N (negativo) de las anomalías dipolares provocadas por el alineamiento de volcanes, sin embargo, la magnitud del sector negativo es mayor a la esperada y subsiste después de la reducción al polo.

Con objeto de facilitar la visualización de los rasgos NW-SE se trazaron los tres perfiles siguientes (Figuras 4 a 7).

Perfil	Origen	Final
1	(530000, 2295000)	(558000, 2348000)
2	(518000, 2295000)	(554000, 2349000)
3	(507000, 2295000)	(533000, 2354000)

En ellos se observa de forma general el aumento de la intensidad magnética de SW a NE, alcanzando su máximo valor en la intersección con la faja de volcanismo cuaternario, sector en el que adicionalmente se producen mayores variaciones laterales.

No se considera adecuado intentar el modelado bidimensional completo de los perfiles, pues tal procedimiento implicaría la necesidad de utilizar valores geométricos y de susceptibilidad supuestos para toda su extensión, con muy pocas probabilidades de verificación, y al mismo tiempo invirtiendo una gran cantidad de trabajo que sería prácticamente inútil. No obstante, se considera conveniente realizar el modelado de sectores de interés en los que se pueda establecer un razonable control de los parámetros para el modelado, así como la identificación de dipolos específicos.

El siguiente orden de importancia por su extensión corresponde a los lineamientos NE-SW, que muestran longitudes individuales más pequeñas y flanquean por ambos lados a los centros volcánicos Ceboruco, San Pedro y Tepetitlic.

Estos lineamientos también son observables en el sector NW del plano, pero son evidentes solo después de hacer la reducción al polo o algunos otros procesos digitales. Es posible que esto se deba a que son de menor tamaño y su detección es más directa trabajando con planos residuales.

Esta orientación parece ejercer cierta influencia en la distribución del hidrotermalismo, al igual que las tendencias E-W que se describen a continuación.

El tercer sistema tiene orientación E-W y está constituido por rasgos individuales más pequeños, que afectan la estructura interna de los centros volcánicos citados. En conjunto podrían formar parte de lineamientos de carácter regional, pero su falta de continuidad dificulta la identificación. Esta orientación afecta, aparentemente, solo a las localidades volcánicas importantes, apareciendo desde el sur del Ceboruco hasta el Volcán Sanganguey. En algunos trabajos de fotointerpretación se han identificado solo los del sector norte, pero a pesar de que muchos de ellos no son observables en las imágenes de satélite, se considera que una buena cantidad de rasgos magnéticos E-W corresponden a estructuras que podrían estar ocultas.

Por su asociación con los centros volcánicos más recientes, se considera que puede tratarse del sistema estructural más joven y que controla el hidrotermalismo de algunas localidades.

Además de las tendencias ya descritas, existe otra con orientación casi N-S. Esta es extremadamente clara solo después de la reducción al Polo por lo que en un principio se temió que su aparición fuera causada por el procesamiento. No obstante, esta posibilidad fue descartada y una vez identificada se revisó nuevamente el -

plano de campo total, observándose que efectivamente existen sectores identificables de orientación casi N-S que unidos podrían corresponder a grandes rasgos regionales.

Estos rasgos aparecen al oeste de la coordenada $U = 540\ 000$, por lo que parecen asociarse con la orientación N-S de los edificios volcánicos en este extremo del Eje Neovolcánico. Algunos autores sugieren incluso la existencia de una fosa que controla su emplazamiento. Al igual que con otras orientaciones, quizás ésta también sea muy conocida, pero con la magnetometría se precisan muchos rasgos individuales que podrían formar parte de ella y que no han sido identificados por la geología.

Un poco dentro del campo de la especulación es posible que el desplazamiento de algunos rasgos N-S sea el resultado de movimientos laterales postulados por algunos autores.

Reducción al Polo

Con este plano (Figura 8) y la interpretación de alineamientos del mismo (Figura 9) puede comprobarse la gran importancia de las orientaciones N-S, E-W y NE-SW, que se hacen mucho más claras a costa de disminuir la NW-SE. Aunque esta última sigue observándose, no es tan clara como en el plano de campo total.

Por otra parte, muchas anomalías se centran sobre los edificios volcánicos que las originan y sus componentes negativas disminuyen considerablemente aunque no en su totalidad. Esto puede deberse a la existencia de cierto magnetismo remanente o a la omisión del armónico de frecuencia 0 en el plano.

Los rasgos lineales interpretados tienen una alta probabilidad de corresponder a fallas reales, aunque actualmente no hayan sido identificadas por la geología, esto puede deberse a la dificultad de observar diferencias en el contenido de magnetita con base solo en muestras de mano.

Es interesante notar que los rasgos N-S más intensos son casi colineales con la Caldera de Tepetiltic - que parece ubicarse en la confluencia de alineamientos regionales NW-SE, N-S y NE-SW. En el brazo SE se encuentra el alineamiento volcánico del Ceboruco y conos asociados, en el SW los volcanes San Pedro y en el N el Volcán Sanganguey el cual podría estar controlado no solo en su ubicación por el sistema N-S, sino incluso en su morfología magnética interna.

Los rasgos de distinta orientación que convergen en Tepetiltic no se suspenden allí, sino que continúan con su misma orientación al otro lado de la caldera.

Interpretación geológica de lineamientos

Por el gran tamaño del área comprendida en este estudio, son muchos los rasgos lineales observados, -- sin embargo, es posible interpretar muchos más aún si se atiende a los posibles lineamientos locales o si se buscan rasgos que reflejen algún fenómeno geológico ya conocido, como por ejemplo la orientación de los ríos Tetiteco o Ameca, o algunos otros como alineamientos volcánicos de tamaño medio. Incluso desde el punto de vista geofísico, ésto puede lograrse repitiendo la interpretación de lineamientos usando planos procesados de distinto modo.

Como existe un infinito de combinaciones de procesamientos posibles, al igual que muchos objetivos geológicos, todos enfocados a la geotermia, es prácticamente imposible hacer una descripción detallada de todos ellos que satisfaga a un usuario particular.

Por tanto, baste decir que la infraestructura con que cuenta el Departamento de Exploración actualmente permite hacer el tratamiento específico requerido para un estudio con objetivos explícitos, en un lapso extremadamente corto, pero estos procesos exhaustivos solo son útiles una vez que se define el objetivo específico por alcanzar a petición del área usuaria.

Antes de presentar los procesos que se consideraron útiles para este estudio regional, puede mencionarse que también es importante disponer de planos en una escala que permita su superposición en información geológica, para estudios locales, o en imágenes de satélite para estudios regionales; lo que permite hacer una interpretación geológica inmediata de la magnetometría.

Personalmente se considera de mayor utilidad - la superposición con fotografías, puesto que en ellas se observan al mismo tiempo la topografía, la hidrología, - las estructuras y con algunas limitaciones también la litología, factores que pueden correlacionarse con los datos magnéticos. Por otra parte, es muy probable que en - un plano geológico no se haya atendido, por no haber sido su objetivo, el rasgo terrestre particular que explique - un rasgo geofísico recientemente observado.

No obstante, el apoyo geológico es invaluable por lo que respecta a la identificación litológica, ya - que, sobre todo para un estudio regional no se justifica la ejecución de un muestreo de susceptibilidades con objeto de modelado, por lo que hay que hacer la interpretación cualitativa pensando en la susceptibilidad magnética lógica (alta, media o baja) de acuerdo al tipo litológico.

En las zonas de comportamiento inesperado, así como en las de interés específico, puede ser aconsejable un muestreo de susceptibilidades a fin de afinar la interpretación cualitativa, así como apoyar la interpretación cuantitativa, aunque la relevancia del muestreo dentro de esta última pudiera ser mínima, como suele ser el caso común.

Entre las zonas de comportamiento inesperado y al mismo tiempo de interés geotérmico se encuentran, además del mínimo NW-SE al N del Ceboruco, un mínimo intenso que se ubica en su flanco W, en $(U, U) = 546000, 2338000$. Este se encuentra en un área cubierta superficialmente - por pómez de la Formación Marquesado. Si bien esta unidad debe tener una susceptibilidad baja, no es probable que su espesor sea considerable, pues se trata de piroclastos de caída aérea depositados en una ladera. Aun si

su espesor fuera considerable, sería de interés investigar que control estructural pudo producir tal acumulación anómala. Por otra parte, posee un interés adicional, por encontrarse inmediatamente al N de las manifestaciones termales del derrame dacítico de 1870.

Otra zona de especial interés está constituida por el grupo de pequeños volcanes andesíticos ubicados inmediatamente al E del centro volcánico San Pedro. Estos, no obstante su composición se manifiestan como un mínimo magnético de forma triangular (U,U) = (533000, 2339000) de limitado por un lineamiento NW-SE al NE, otro N-S al E y uno E-W al S. Adicionalmente, la zona es cruzada por un lineamiento magnético NE-SW que parece controlar junto con las restantes, la distribución de puntos termales alejados a la región de las Cuevas.

Al N de los domos San Pedro existe otro mínimo con un control NW-SE (U,V) = 528000, 2345000, que puede relacionarse tanto con una zona de relleno aluvial como con rocas volcánicas ácidas (Domo los Ocotes, vitrófido riolítico). Aun cuando esta zona pueda ser de atractivo geotérmico, la interpretación magnética cualitativa no aporta información relevante, pues salvo por el aparente control estructural, su comportamiento es correspondiente al de su composición.

Para un estudio más detallado se recomienda modelar la anomalía, a fin de estimar si su valor es compatible con las características normales de la roca. Este mismo tipo de comportamiento se observa en anomalías negativas "lógicas" en zonas de volcanismo ácido o de relleno aluvial tanto al W del centro volcánico San Pedro (U,U) = 514000, 2339000 y 520000, 2338000 como al SW de Tepetitlic 535000, 2346000 y 539000, 2346000, todas ellas con un control estructural NE-SW y posiblemente también N-S en la última de ellas.

Por lo que respecta a la anomalía NW-SE al N del Ceboruco, ésta es indiscutiblemente de gran atractivo geotérmico, pues además de producirse en una zona de derrames andesíticos tiene una magnitud considerable. Aun cuando existiera algún relleno piroclástico, favorecido por la falla NW-SE éste tendría que ser de espesor consi-

derable o estar formando parte de toda una franja desmagnetizada, posiblemente por hidrotermalismo.

El efecto topográfico conjunto del escarpe NW-SE, junto con la prominencia volcánica del Ceboruco, seguramente son causa parcial de la respuesta observada de este sector intermedio, que constituye una zona topográfica deprimida. Por tal motivo es aconsejable efectuar el modelado de la topografía utilizando datos de susceptibilidad, a fin de acotar el orden de magnitud de su contribución. No obstante, de antemano se considera poco probable que esta causa explique totalmente el rasgo anómalo, pues al parecer se extiende más al N del escarpe de falla, según se observa en el plano de reducción al polo.

Si bien la topografía es un factor que dificulta la correlación de mínimos magnéticos con zonas desmagnetizadas, esta puede tener un efecto favorable para identificar cuerpos volcánicos o alineamientos morfológicos o estructurales, pero debe tenerse presente el origen de la detección para apreciar correctamente su importancia y significado geológico. Frecuentemente las implicaciones estructurales de los rasgos topográficos pueden ser apreciados directamente por el geólogo sin ayuda de la magnetometría, pero es en ausencia de tales evidencias donde la geofísica puede tener un mayor aporte. Este se produce cuando la detección se logra merced a cambios laterales de susceptibilidad magnética, y su magnitud se estima a partir de que tan grande sea el contraste entre rocas contiguas y no por el efecto topográfico (contraste de susceptibilidad roca-aire).

El análisis de posibles zonas magnéticas "irregulares" en el sector NW del plano se realizó solo con el apoyo de la carta geológica del INEGI. No se detectó ningún comportamiento anómalo pues los mínimos locales están relacionados con zonas de relleno con posible control estructural N-S y NW-SE (518000, 2368000 y 528000, 2365000), y zonas de volcanismo ácido (524000, 2357000), (504000, -2353000).

Con la información ya disponible puede hacerse un análisis más detallado en algunas localidades si el geólogo de campo lo considerara necesario, a fin de estudiar un rasgo específico. Por el momento la interpreta-

ción regional se limitó a la detección de tendencias no evidentes en la carta geológica así como de algunos lineamientos específicos.

Procesamiento Adicional

Además de la reducción al polo, se efectuaron diversos procesos adicionales que facilitan la observación de diferentes características del plano original. No todos son igualmente útiles pero todos aportan enfoques de interés, pues permiten observar los rasgos desde distintos puntos de vista y con distintos criterios. Por otra parte, su producción resulta casi trivial una vez que se dispone de los datos digitalizados. Una interpretación exhaustiva de cada uno sería impensable, ni siquiera de forma cualitativa, por lo que solo se describen los aportes relevantes. Baste mencionar en su defensa que muchos de los rasgos marcados en los planos de campo total y reducción al polo que en ellas son cuestionables, se observan con mayor claridad con el procesado adicional. Entre los procesos realizados se encuentran; para el campo total:

Resta de tendencias generales polinómicas -- de primero y segundo grado, derivación vertical de primero y segundo orden, cálculo de efectos regionales por continuación ascendente a .25, .5, 1 y 2 Km, análisis espectral y factorización con frecuencia de corte $f_c = .12$ ciclos/Km.

Para la reducción al polo se realizaron los siguientes: análisis espectral y factorización con frecuencia de corte $f_c = .12$ ciclos/Km, continuación ascendente a .25 Km, análisis regional-residual por ajuste de un polinomio de primer grado y factorización del residual de primer grado con $f_c = .12$ ciclos/Km.

Si bien se considera interesante el aporte del procesamiento adicional, se considera de mayor importancia la interpretación cuidadosa de los planos de campo -

total y reducción al polo por superposición en información de apoyo y basada en una comprensión cualitativa profunda de los fundamentos físicos de la magnetometría. Esta posición técnica se ve reforzada por la posibilidad de hacer el tratamiento digital deseado en los casos que se juzgue conveniente, con el conocimiento matemático involucrado en la elaboración de los programas para el procesamiento.

El polinomio regional de primer grado (Figura 11) exhibe un incremento del campo total en dirección NE a razón de unas 15 gammas/Km. Esta tendencia en el plano reducido al polo (Figura 14) se orienta un poco más hacia el E y disminuye su pendiente a solo 10 gammas/Km. La tendencia polinomial de 2º grado (Figura 13) demuestra que el comportamiento regional de incremento sufre una desaceleración de SW a NE, variando de unos 35 gammas/Km, a solo 4 gammas/Km en el NE, y alcanza un valor mínimo con orientación E-W justo en la faja de volcanismo cuaternario.

Los planos residuales correspondientes (Figuras 12 y 14) acentúan los rasgos de menor tamaño individual, conforme aumenta el grado del polinomio restado, estos son los E-W en el campo total, y N-S y E-W en la reducción al polo (Figura 15).

La primera derivada vertical (Figura 16) enfatiza las protuberancias y depresiones magnéticas, facilitando la identificación de dipolos, y la segunda derivada vertical (Figura 17) tiende a delinear con su contorno $\text{e}^{-\gamma}$ gammas/Km², a los posibles límites de unidades magnéticas, por ejemplo, las que conforman al cuerpo volcánico del Ceboruco.

Las continuaciones ascendentes (Figuras 18 a 25) permiten eliminar rasgos de tamaño creciente a medida que se aumenta la altura, produciendo una visión sinóptica, por bloques cada vez más grandes, método tan caro a geólogos regionalistas. Es notable que por tratarse de un campo dipolar el suavizamiento de los rasgos con el aumento de la distancia es muy notorio, así, se considera que las alturas de continuación más adecuadas para el trabajo geotérmico son, por el detalle requerido, de .25 a .5 Km y mayor solo para estudios de tectónica regional.

Notese por ejemplo la interacción de bloques NW-SE, E-W y NE-SW en la continuación ascendente a .25 Km (Figura 18) en el triángulo comprendido entre los centros volcánicos Ceboruco, San Pedro y Tepetitlic. Ocasionalmente se facilita la identificación de algunos rasgos lineales, como el del Río Ameca, que a veces se pierden por la abundancia de rasgos de pequeña escala.

Por su parte los residuales por continuación de baja altura (Figuras 20, 22 y 24) permiten la identificación de los rasgos anómalos más intensos de todos, facilitando en algunos casos tener una asociación más directa con los cuerpos geológicos causantes (por ejemplo la anomalía en 533000, 2338000).

La factorización espectral facilita el modelado de grandes bloques (Figuras 26 y 28) pues elimina totalmente los rasgos de alta frecuencia, permitiendo la identificación de grandes dipolos. Los dipolos pequeños, a su vez, son detectables en el plano residual (Figuras 27 y 29), así como muchos rasgos lineales de tamaño pequeño. Personalmente se considera que este plano es el mejor con este último objetivo.

En la reducción al polo su utilidad es menor y tiende a individualizar los rasgos que en otros planos se manifiestan como inflexiones de los contornos (contrafuerzas) aunque su sentido físico no es claro.

Los planos citados se incluyen como parte de este reporte para que sirvan como material de apoyo a los diferentes usuarios que recurran a esta información magnética con distintos objetivos.

Isoterma de Curie

Por lo que respecta a la determinación de la isoterma de Curie y de profundidades espectrales de "tapas" de cuerpos. Esto es posible haciendo uso de las -

gráficas logarítmicas de potencia espectral promediada -- por intervalos de frecuencia (la misma utilizada para la factorización espectral). Sin embargo, se trata de estimaciones matemáticas no verificables y sin punto de atribución, por lo que carecen de valor práctico. Si fuera posible realizarlas sin un error matemático tan grande, podrían ayudar en la ubicación de una posible cámara magnética, sin embargo, ese no es el recurso geotérmico explotable sino solo la fuente de calor, que puede ubicarse con la misma incertidumbre mediante el estudio del magnetismo superficial.

Como puede verse en el espectro de la reducción al polo (Figura 31), la selección matemática de la pendiente es simple solo para los cuerpos más someros, en tanto que para los profundos (baja frecuencia) la variabilidad es tal que carece de utilidad. Por otra parte el máximo producido en la baja frecuencia está definido por un solo punto y su valor y claridad depende del modo en que se haga la promediación radial.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar muestreos de susceptibilidad magnética y modelado (Talwani en 2-D y 3-D), en localidades de interés específico por su respuesta magnética "irregular", incluyendo una estimación del efecto topográfico de rasgos típicos.

Se considera conveniente la prueba del método de desconvolución Werner en perfiles de interés, con objeto de tener una idea gruesa del comportamiento del subsuelo.

Se recomienda completar el plano magnético regional mediante la inclusión de la carta magnética F13-D22 y repetir los procesos más importantes para la nueva cobertura. Probablemente ésta tendría que hacerse con el equipo Cyber ante la contingencia de que se exceda la capacidad de memoria -

de los equipos pequeños de cómputo.

Se recomienda continuar la interpretación cuantitativa regional del siguiente modo:

- 1.- Modelado de zonas de comportamiento magnético "irregular" con el apoyo de datos de susceptibilidad.
- 2.- Marcado de zonas de mínimos magnéticos y/o bajo gradiente lateral en el plano reducido al polo.
- 3.- Selección de nuevas zonas de comportamiento magnético "irregular" de acuerdo con la composición de las rocas aflorantes.
- 4.- Modelado de nuevas zonas de comportamiento magnético irregular.
- 5.- Clasificación de mínimos magnéticos "normales", por la litología aflorante, en anomalías de magnetismo por relleno aluvial y anomalías de magnetismo por volcanismo ácido.
- 6.- Clasificación de mínimos magnéticos "normales" por la litología aflorante, en mínimos con control estructural y mínimos sin control estructural (de acuerdo con los lineamientos magnéticos).
- 7.- *prioritization/hierarchy*
Jerarquización de los mínimos magnéticos en: -
Mínimos con volcanismo ácido y control estructural.
Mínimos con volcanismo ácido sin control estructural.
Mínimos con volcanismo ácido.
Mínimos sin control estructural y sin volcanismo ácido.

- 8.- Con apoyo del plano de focos termales y de la clasificación de anomalías magnéticas, elegir zonas para realizar:
 - Pozos de gradiente.
 - Estudios de Resistividad
 - Magnetometría Terrestre
 - Geología de detalleen orden de importancia geotérmica decreciente.

- 9.- De acuerdo con los resultados del modelado de zonas magnéticas "irregulares", adoptar alguna de las siguientes decisiones:
 - Abandonar la zona
 - Hacer magnetometría de detalle
 - Estudiar con resistividad
 - Estudiar con pozos de gradiente.según el grado de interés.

Se recomienda hacer una fotointerpretación cuidadosa de rasgos lineales en la imagen SPOT de escala 1:100 000.

Hacer un estudio regional de resistividad con sondeos someros (2000 m) espaciados 1 Km, a lo largo de líneas poligonales que crucen las zonas de respuesta magnética irregular (Figura 4), particularmente las ubicadas inmediatamente al E del centro volcánico San Pedro y al W, N y NW del Ceboruco, mismas en que se recomienda el muestreo de susceptibilidad y modelado.

Definir con base en el estudio regional de resistividad nuevas áreas que justifiquen la reinterpretación detallada de los datos aeromagnéticos, enrejillados con una malla más fina o por perfiles, según resulte más conveniente, en zonas selectas.

Continuar con el desarrollo de métodos de procesamiento particularmente con la determinación automática de gradientes horizontales en planos pseudogravimétricos.

Concluir el análisis espectral y hacer pruebas con modelos sintéticos a fin de demostrar algunas características y limitantes prácticas del método en forma cuantitativa.

Limitar el uso de la magnetometría terrestre - para el estudio o detección de cuerpos o estructuras específicas mas no como método de exploración superficial (en planta).

Efectuar estudios aeromagnéticos regionales en otras áreas de interés utilizando información ya existente y contratando los estudios para zonas en exploración cuando esto sea necesario.

Transferir información y metodología para el - procesamiento de datos al área usuaria.

Impartir cursos de capacitación sobre interpretación a geólogos y geofísicos de las residencias a fin de - que se hagan cargo del trabajo de sus propias áreas.

Hacer medidas de temperatura en pozos de uso - agrícola abandonados.

Hacer cinco pozos de gradiente de 200 m de profundidad en las inmediaciones de los puntos 532000, 2334; - 536000, 2334000; 540000, 2344000; 547000, 2342000 y 546000, - 233700, pero solo si los datos de susceptibilidad y resistividad eléctrica confirman el interés potencial de esas zonas o de alguna otra.

OBSERVACIONES

El presente trabajo fue realizado en un lapso total de 20 días hábiles distribuidos de la siguiente forma:

Actividad	Días hábiles
Digitalización	5
Depuración y enrejillado	2
Procesamiento e impresión	6

Actividad	Días hábiles
Graficación en escala grande	3
Discusión y lecturas de apoyo	1
Elaboración del informe	3

La rapidez de su ejecución fue posible gracias a la conjunción de una serie de circunstancias que han sido - fruto de una árdua labor de preparación iniciada en 1986, teniendo a dotar de una infraestructura eficiente para la realización de trabajos de procesamiento al Departamento de Exploración. Así, la disponibilidad de programas y equipos de - cómputo, de planos geológicos e información cartográfica en - general y de la imagen SPOT, son un claro ejemplo de los logros que puede alcanzarse gracias al trabajo de base que ya - fue realizado.

CONCLUSIONES

El procesamiento digital de 5 cartas aeromagnéticas de campo total con altura de vuelo de 300 m sobre el terreno y líneas con espaciamiento promedio de 1 Km permite confirmar las tendencias estructurales postuladas por diversos - autores a partir de la fotointerpretación de imágenes de satélite, en el sector occidental del Eje Neovolcánico. Estas - son por orden de importancia las orientaciones NW-SE, NE-SW, N-S y E-W. Sin embargo, la utilidad del plano aeromagnético no se limita a confirmar las tendencias sino que además permite la interpretación de numerosos rasgos lineales específicos, muchos de los cuales tienen gran probabilidad de corresponder a fallas geológicas, no obstante que un porcentaje elevado de ellos carece de evidencias morfológicas o litológicas que permitan su identificación fotogeológica o de campo.

Resultan de particular interés los rasgos de - orientación E-W que se observan predominantemente en las zonas de volcanismo reciente. Estas son de pequeña extensión -

individual pero podrían constituir segmentos de rasgos mucho mayores.

Los lineamientos N-S son de mayor extensión individual y se hacen evidentes mediante la reducción al polo, aparecen sobre todo en el sector occidental del plano y pueden corresponder a sectores que conforman el control estructural del volcanismo de Tepetitlic, Sanganguey y otros.

La tendencia NE-SW aparece sobre todo en los flancos de las zonas volcánicas y posiblemente controlando algunas corrientes fluviales, como sectores de los ríos Ameca y Tetiteco.

La comparación de las anomalías magnéticas con la litología permite identificar algunas zonas de comportamiento "irregular" que pueden estar relacionadas con procesos de alteración hidrotermal. Consecuentemente se recomienda hacer un estudio más detallado de ellas con el apoyo de datos de susceptibilidad magnética y modelado, así como utilizarlas como áreas propicias para la realización de estudios regionales de resistividad y electromagnéticos, en caso de que se juzguen convenientes.

A reserva de los resultados que se obtengan con los estudios de resistividad, se propone la realización de 5 pozos de gradiente de 200 m de profundidad con objeto de comprobar la termalidad del subsuelo. Se considera que los pozos con mayor probabilidad de éxito son los que se ubican en los puntos (U,U) = (546000, 2337000) y (547000, 2342000).

De contarse con recursos mayores se recomienda ubicar pozos de gradiente en otras localizaciones, pero siempre dentro de zonas magnéticas "irregulares" y buscando el apoyo de los estudios eléctricos o electromagnéticos.

Debido a la considerable extensión del área cubierta se considera que el estudio detallado solo debe efectuarse para localidades específicas, identificadas en este trabajo o por algún otro método de exploración.

Se concluye que el procesamiento digital si -- bien es importante, es solo un medio de apoyo para la interpretación, que debe estar fundamentada en un sólido conocimiento de los principios físicos del método aplicado.

Finalmente, se señalan los avances metodológicos que han permitido la realización eficiente de este trabajo.

Por lo que concierne a la continuación del estudio regional, ésta deberá hacerse de acuerdo con el plan de lineado en el inciso de recomendaciones.

Cabe señalar que la interpretación cualitativa hecha hasta el momento, se restringió esencialmente al área comprendida entre los centros volcánicos Ceboruco, San Pedro y Tepetiltic.

REFERENCIAS

- 1 Cedillo, R.F. y Lira, H.H., 1985. Reconocimiento y evaluación geológica de los recursos geotérmicos del Estado de Nayarit. Informe interno 49/85. GPG, Comisión Federal de Electricidad.
- 11 Consejo de Recursos Minerales, 1983. Levantamiento aeromagnético-Proyecto Batolito de Jalisco. Cartas aeromagnéticas F13-D31, F13-D41, F13-D51, F13-D42 y F13-D52, Esc. 1:50 000.
- 5 De la Cruz, M.V. y Castillo, H.D., 1986. Interpretación foto geológica de la zona termal de Tetitlán-Vallé Verde, Nay. Reporte interno GG 11/86, 9 pp, GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.
- 2 Díaz, O.A. y De la Cruz, M.V., 1984. Interpretación fotogeológica de la zona geotérmica de El Ceboruco, Nay. - Reporte interno GG 12/84, 6 pp, GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.
- 3 Díaz, O.A. y De la Cruz, M.V., 1985. Estudio geológico a semidetalle de la zona geotérmica del Volcán Ceboruco. Informe interno 15/85. GPG, Comisión Federal de Electricidad.
- 9 García, E.G.H., 1985. Estudio termométrico de la zona geotérmica del Volcán Ceboruco. Informe interno 44/85. - GPG, Comisión Federal de Electricidad, 45 pp.
- 4 Nelson, S.A., 1980. Geology and petrology of Volcan Ceboruco, Nayarit, Mexico. Geol. Soc. Amer. Bull., Part. II, V. 91, pp. 2290-2431.
- 8 Palma, G.S.H., 1985. Estudio de resistividad del Ceboruco. - Informe interno /85. GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.

- 10 Palma, G.S.H., 1990. Estudio de resistividad eléctrica al NW del Ceboruco, Nay. Informe interno en elaboración. GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.
- 6 Quijano, L.J.L. y Chacón, F.M., 1985. Evaluación geoquímica de la zona geotérmica del Ceboruco, Nayarit. Informe interno 1/85. GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.
- 7 Tello, H.E., 1985. Reconocimiento y evaluación geoquímica de zonas termales del Estado de Nayarit. Informe interno 53/85. GPG, Comisión Federal de Electricidad, Morelia.

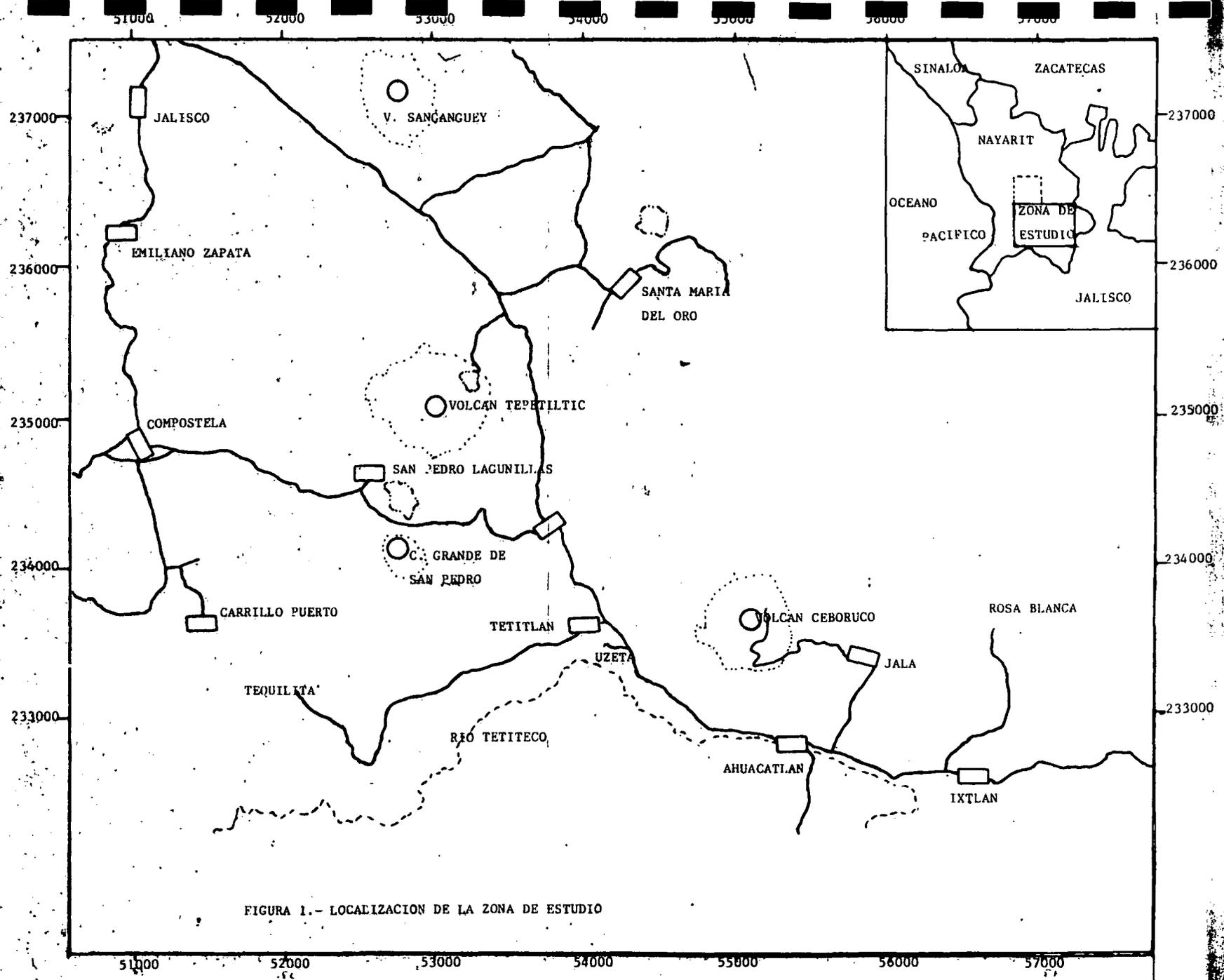
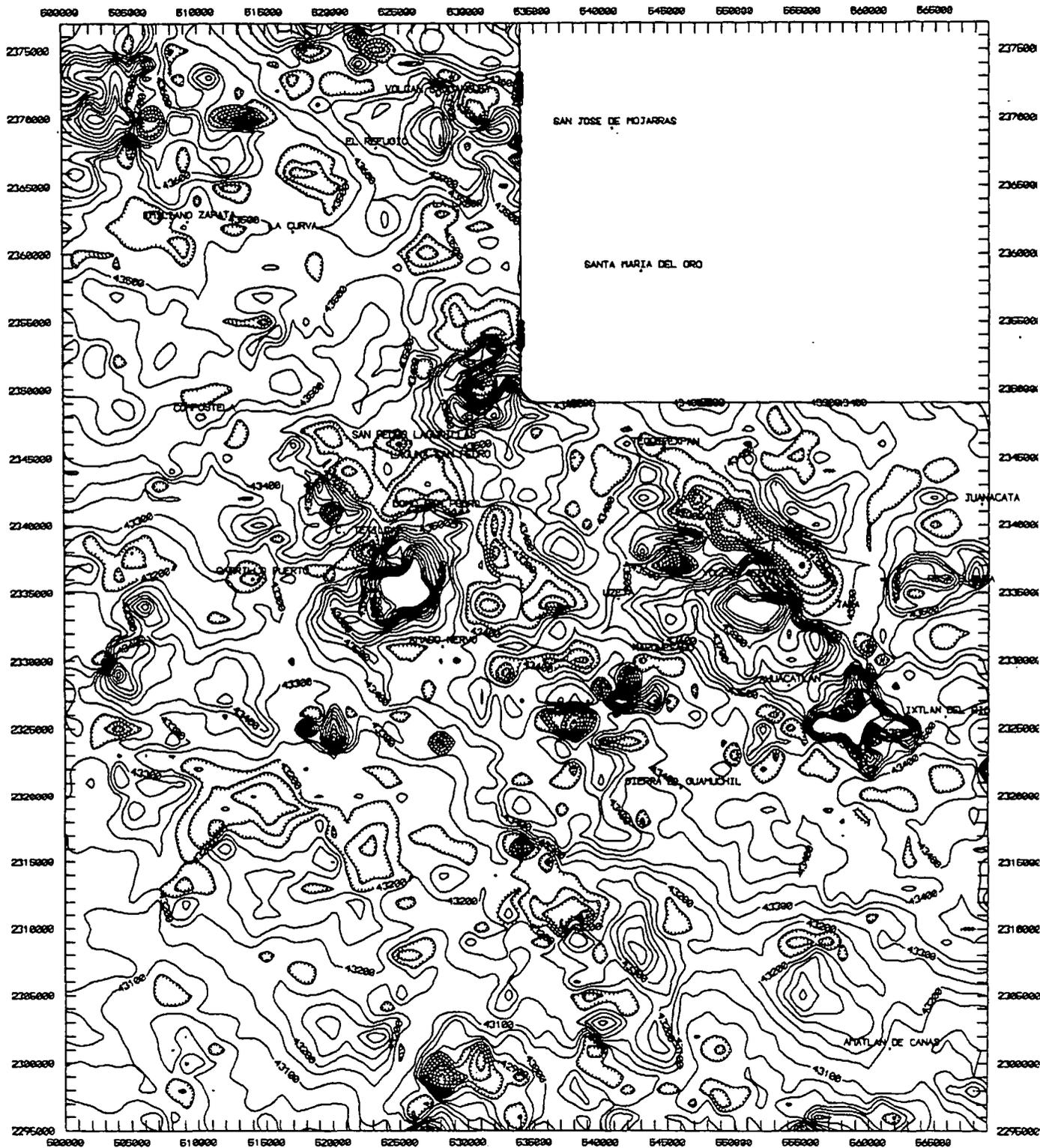


FIGURA 1.- LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

FIGURA 2.- PLANO AEROMAGNETICO DE CAMPO TOTAL DEL SE DE NAYARIT



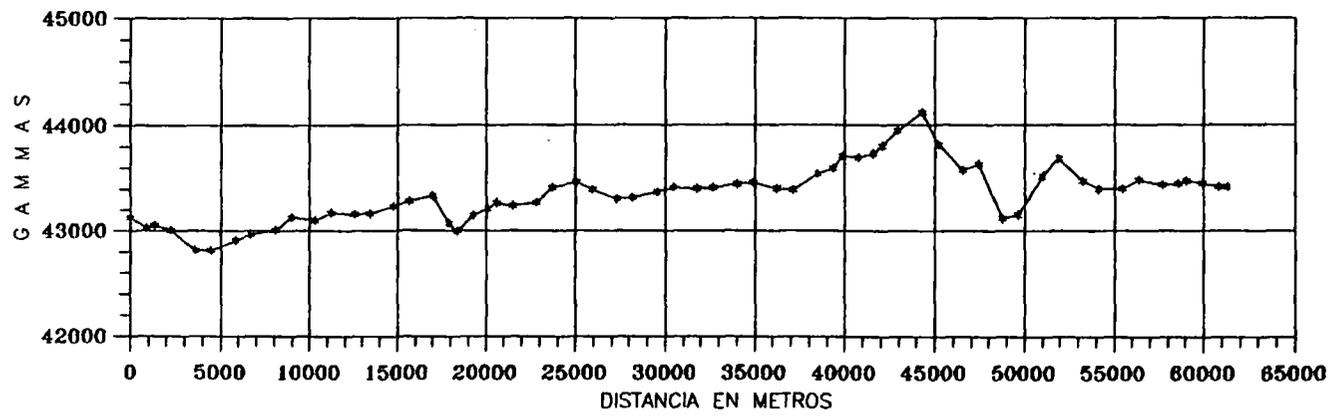


FIGURA 5.- PERFIL AEROMAGNETICO 1-1'

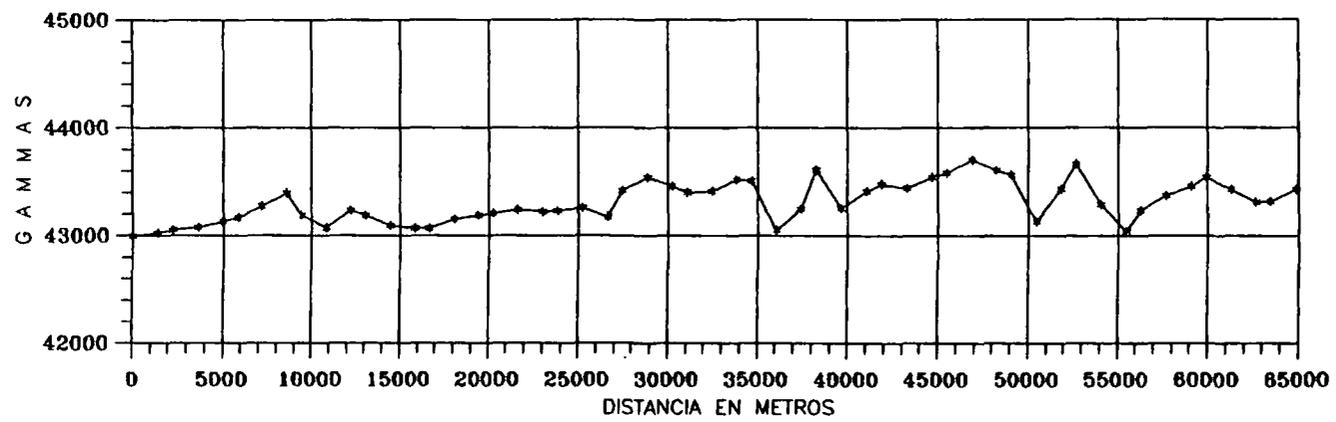


FIGURA 6.- PERFIL AEROMAGNETICO 2-2'

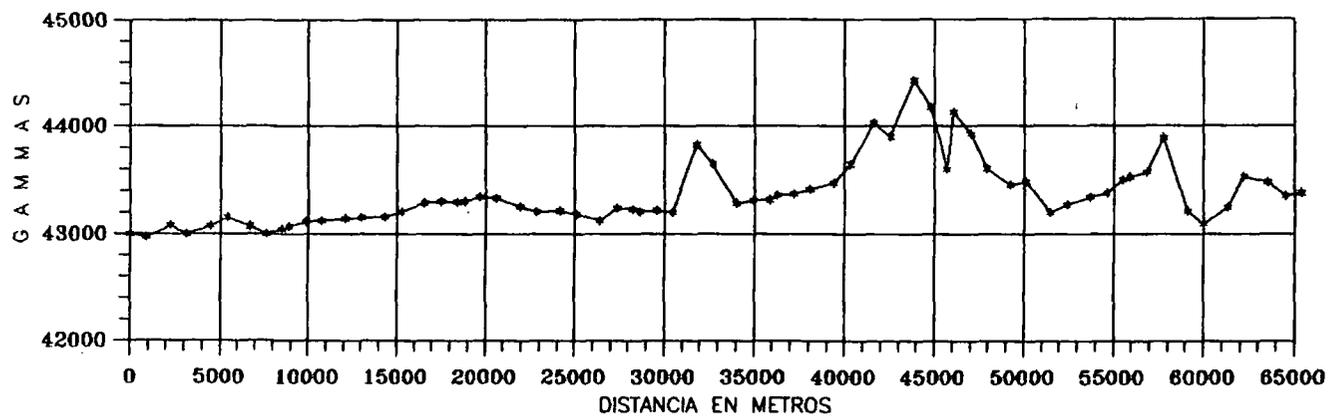


FIGURA 7.- PERFIL AEROMAGNETICO 3-3'

FIGURA 8.- REDUCCION AL POLO DEL PLANO AEROMAGNETICO DE NAYARIT

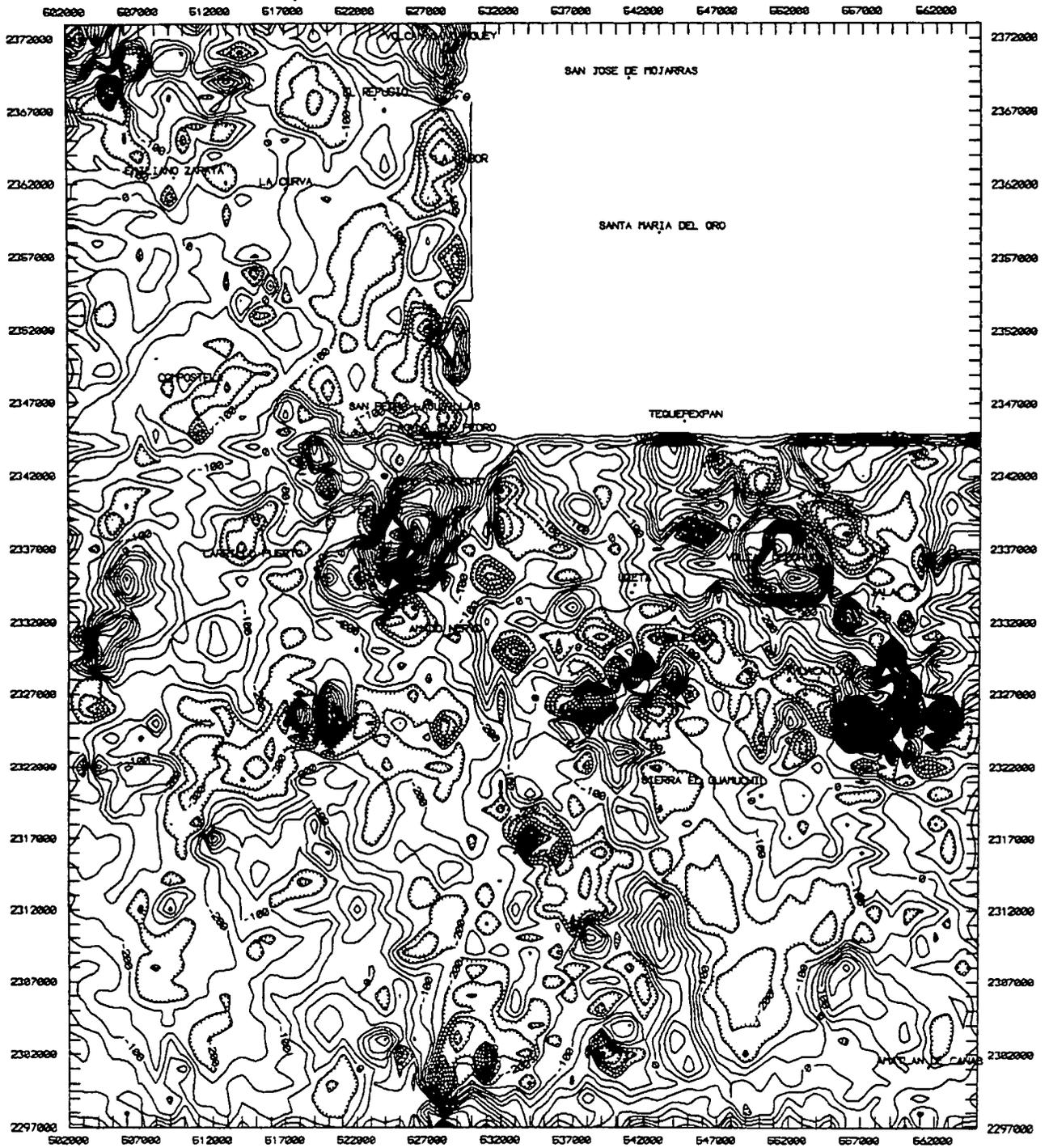


FIGURA 9.- LINEAMIENTOS MAGNETICOS INTERPRETADOS EN EL PLANO DE REDUCCION AL P.

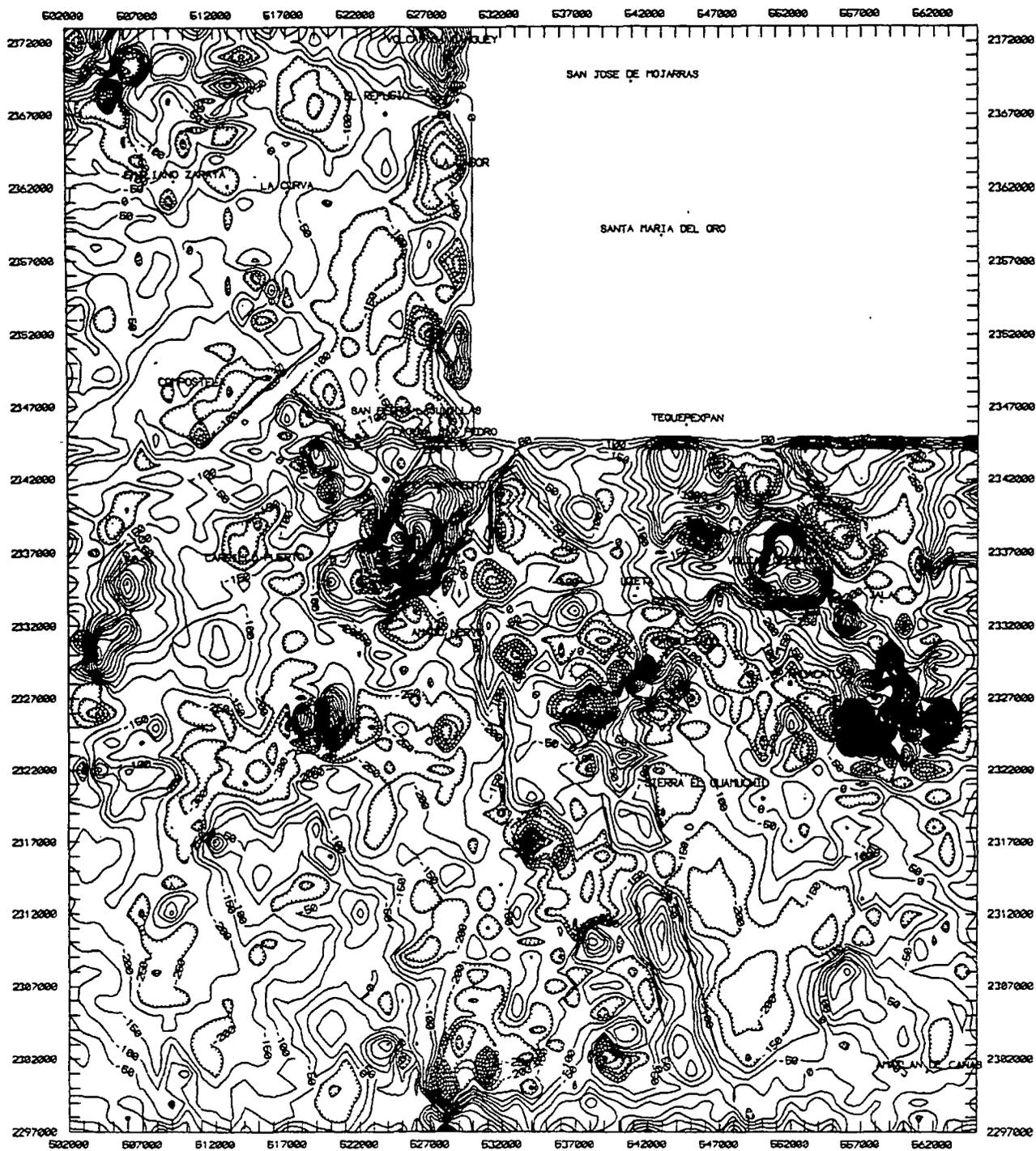


FIGURA 10.- TENDENCIA POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DEL CAMPO TOTAL

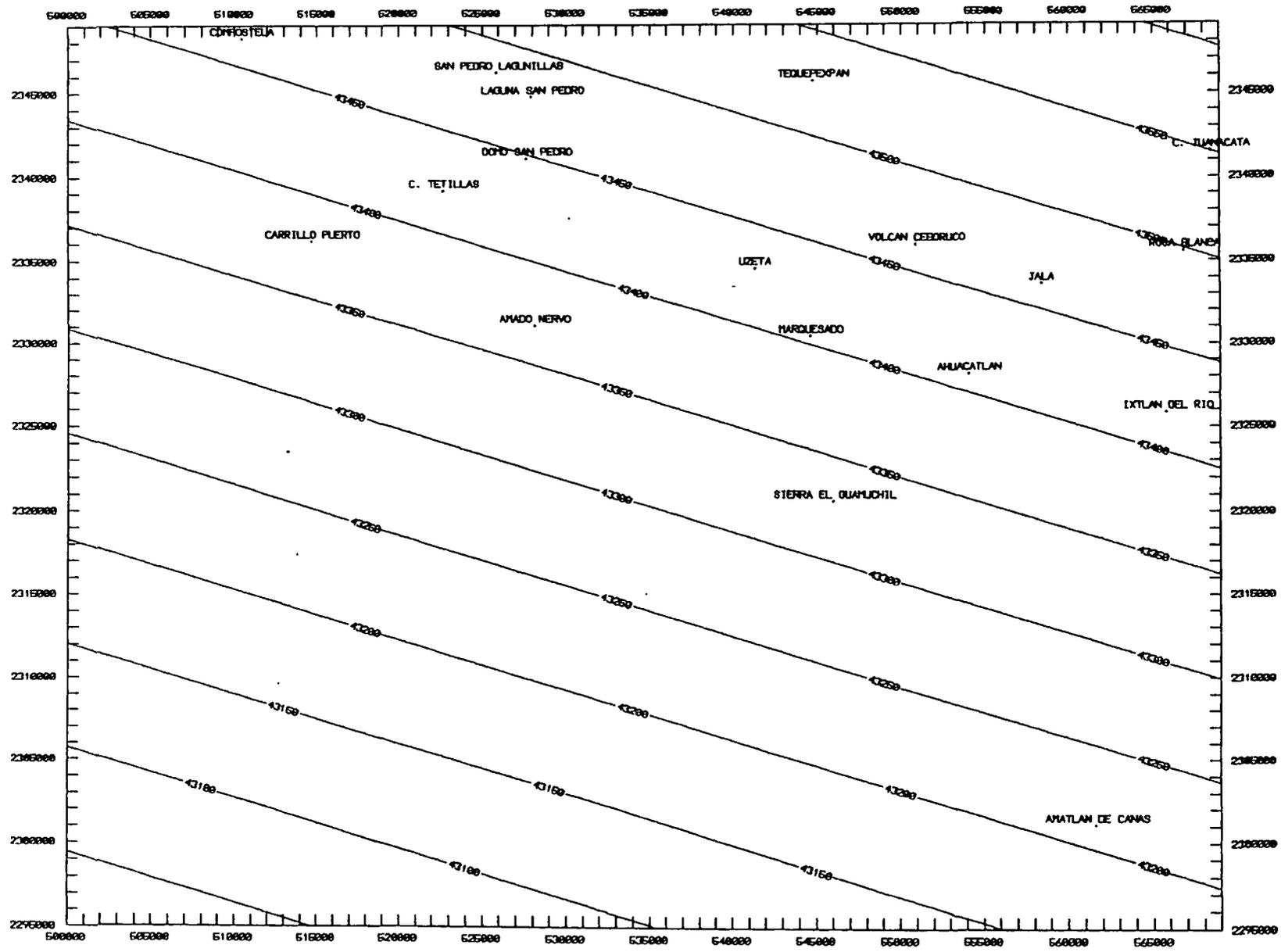


FIGURA 12.- TENDENCIA POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO DEL CAMPO TOTAL

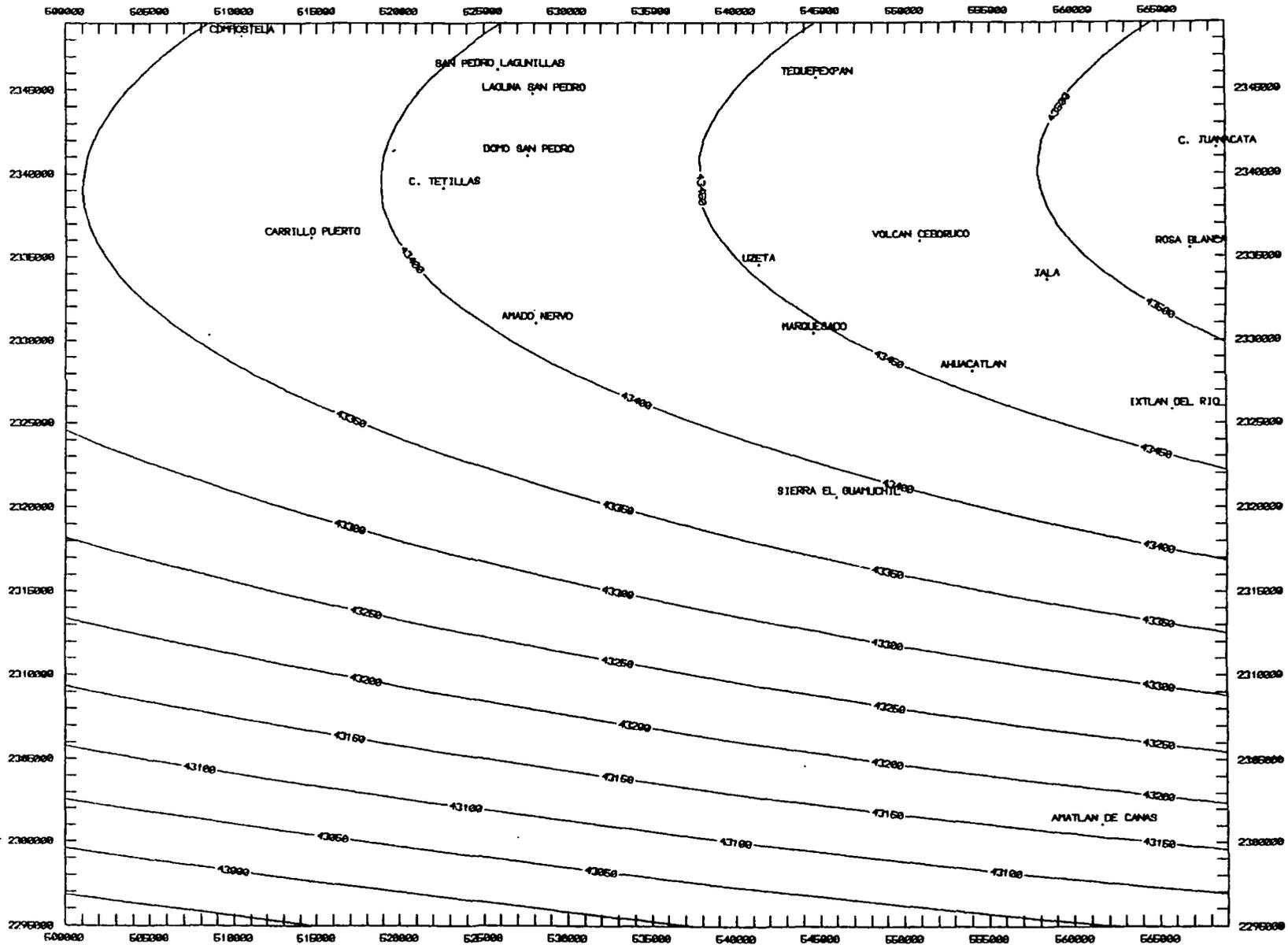


FIGURA 14.- TENDENCIA POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DE LA REDUCCION AL POLO

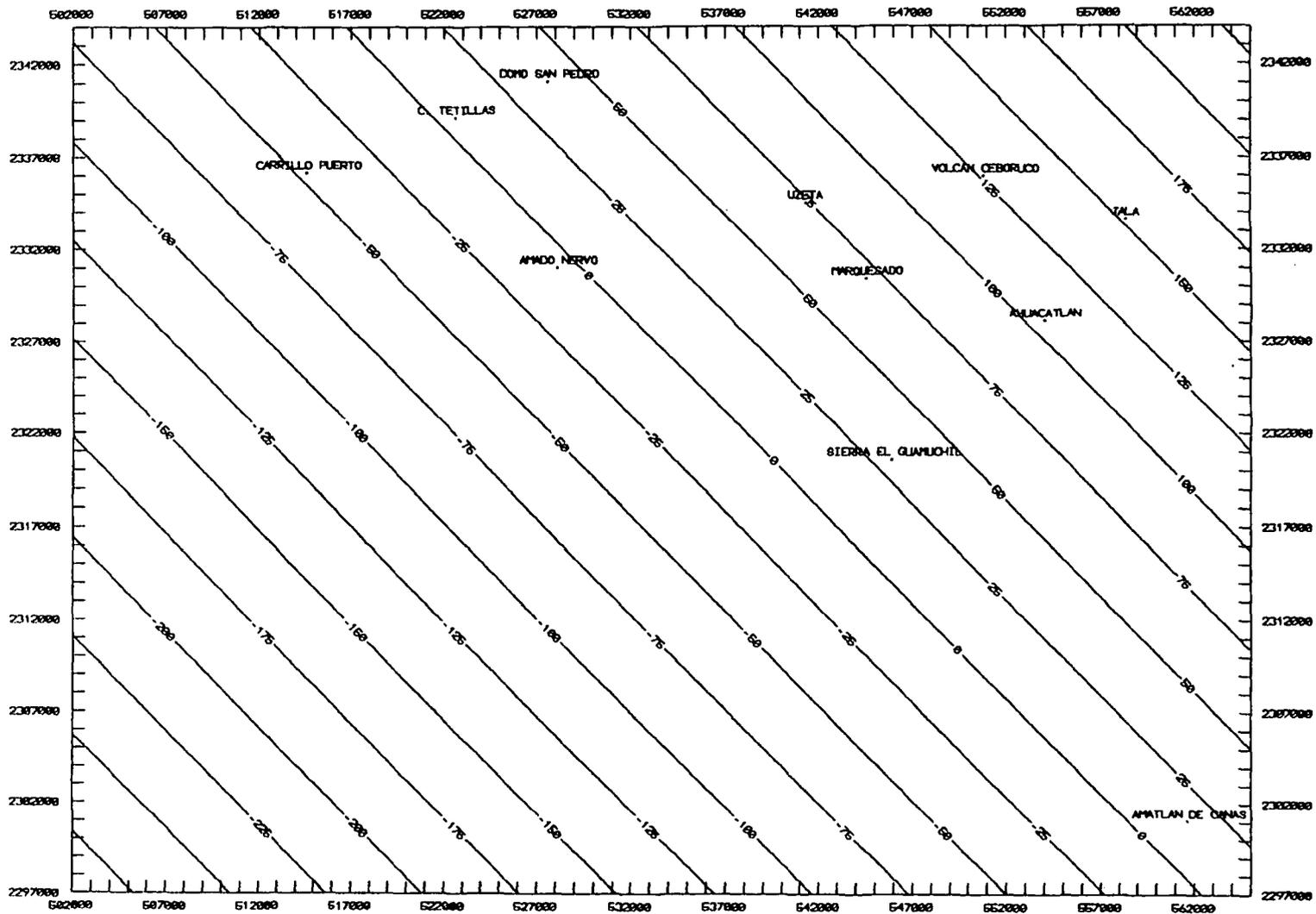


FIGURA 15.- RESIDUAL POLINOMIAL DE PRIMER GRADO DE LA REDUCCION AL POLO

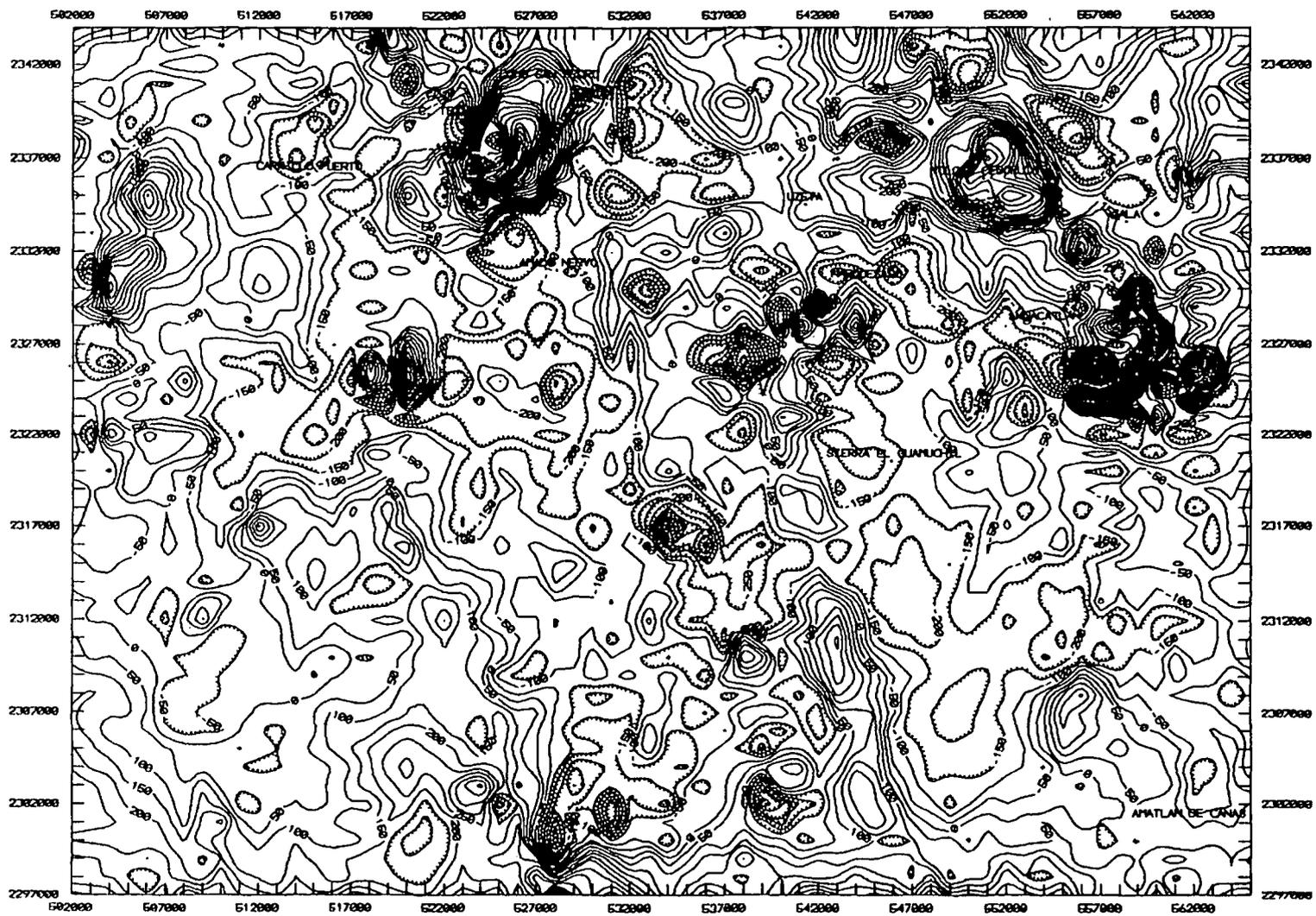


FIGURA 17.- SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CON FC= 0.3 C/KM, CAMPO TOTAL

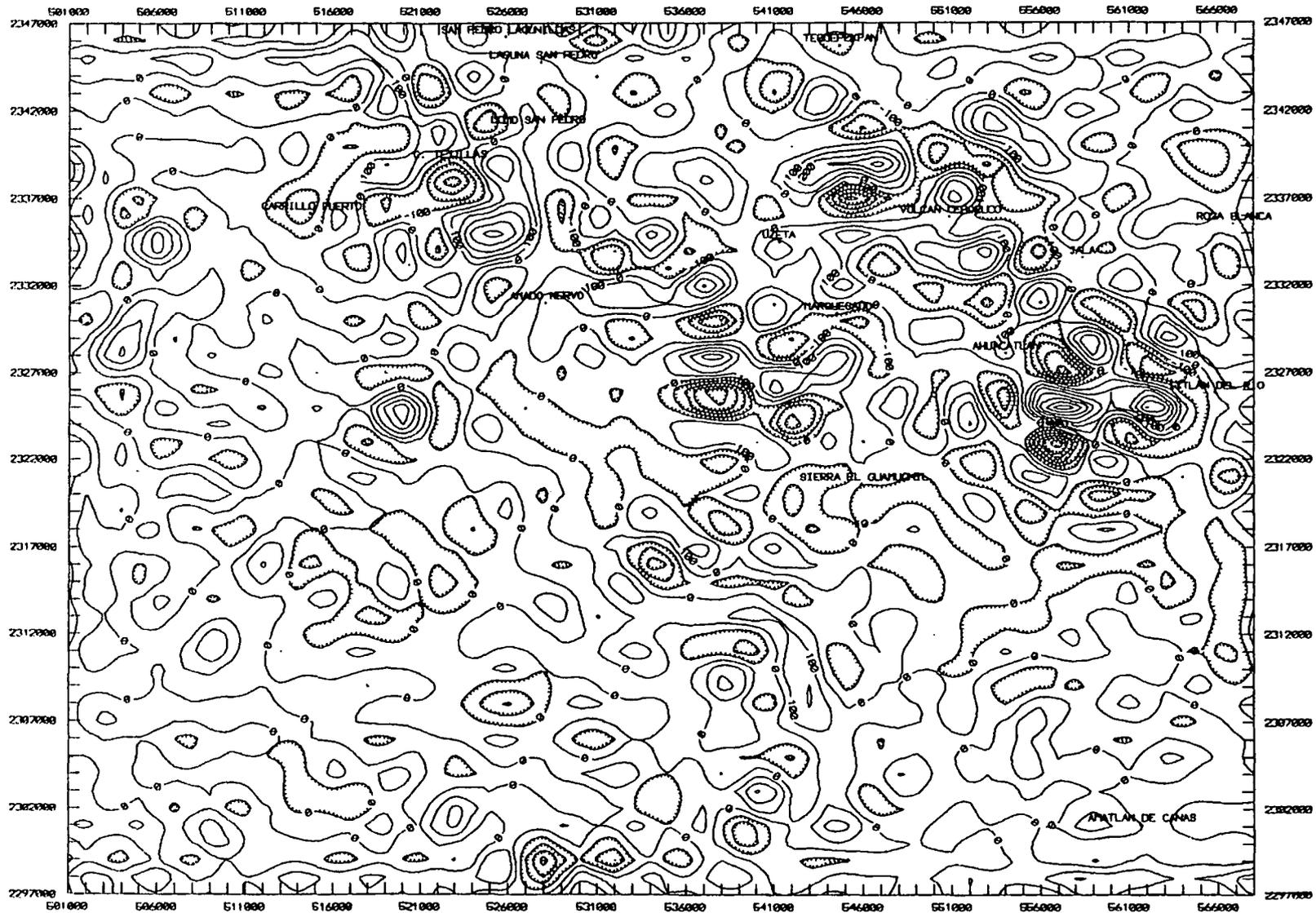


FIGURA 18.-REGIONAL POR CONTINUACION ASCENDENTE A 0.25 KM . CAMPO TOTAL

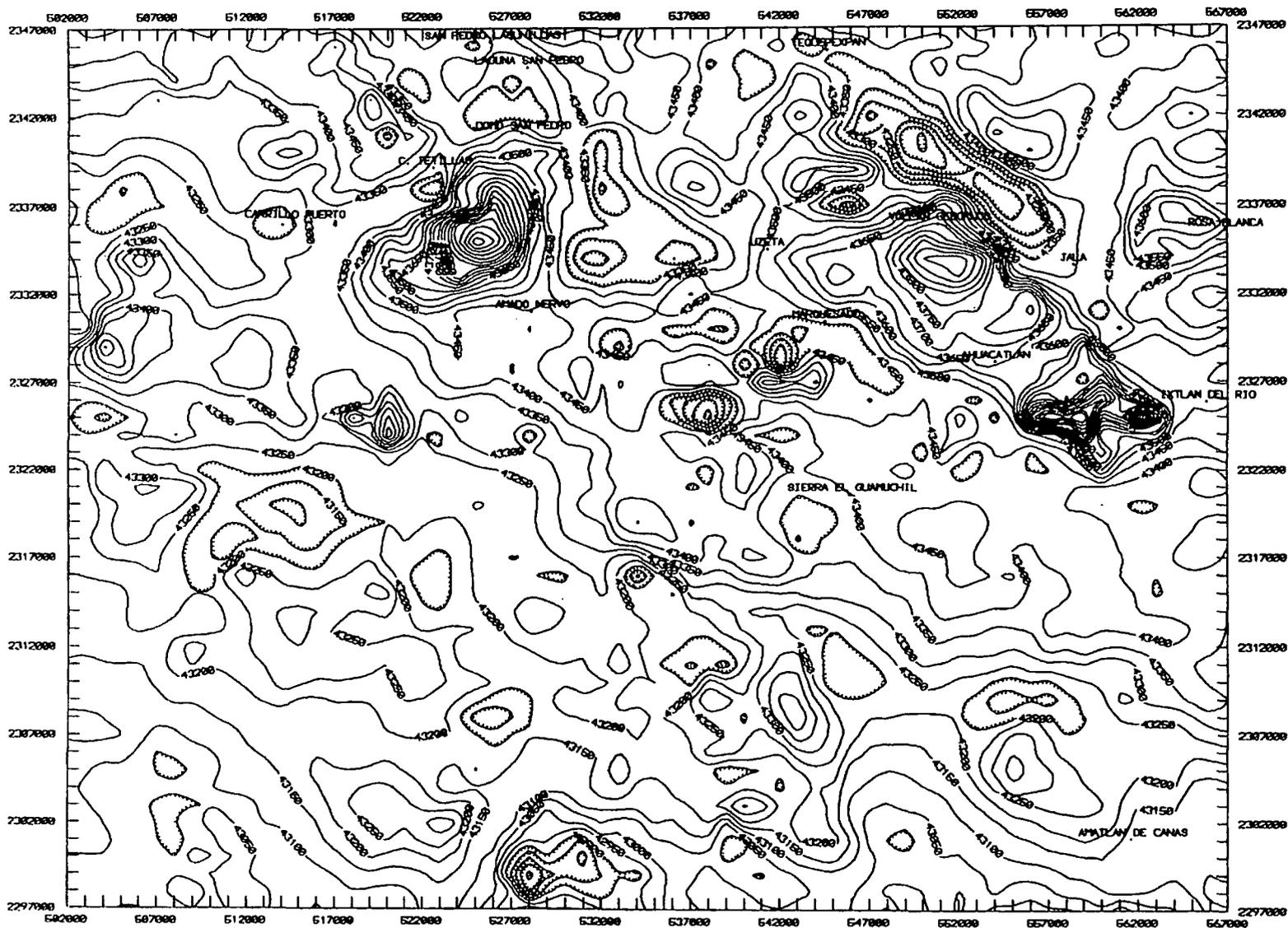


FIGURA 20.-RESIDUAL POR CONTINUACION ASCENDENTE A 0.50 KM . CAMPO TOTAL

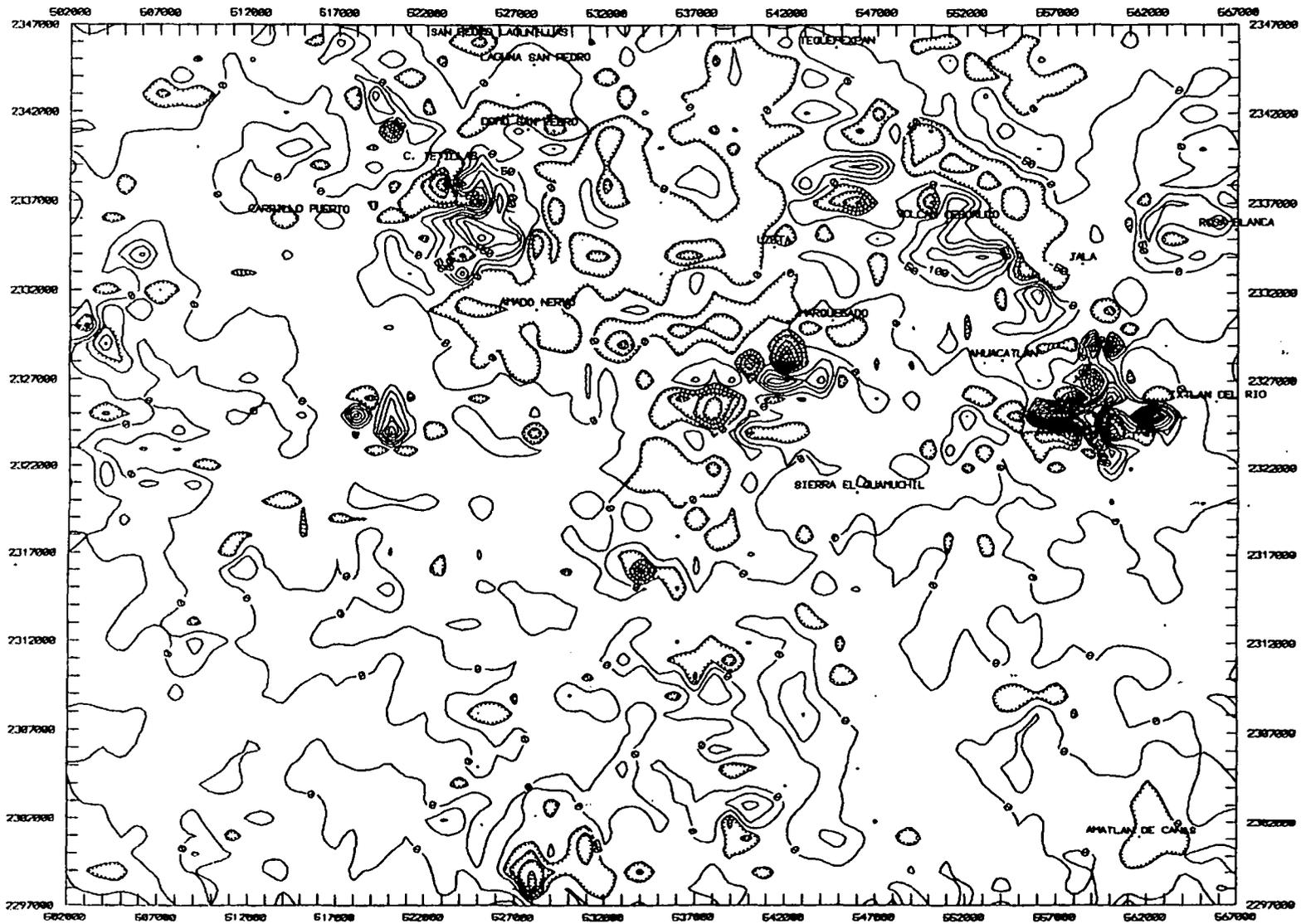


FIGURA 21.-REGIONAL POR CONTINUACION ASCENDENTE A 1.00 KM . CAMPO TOTAL

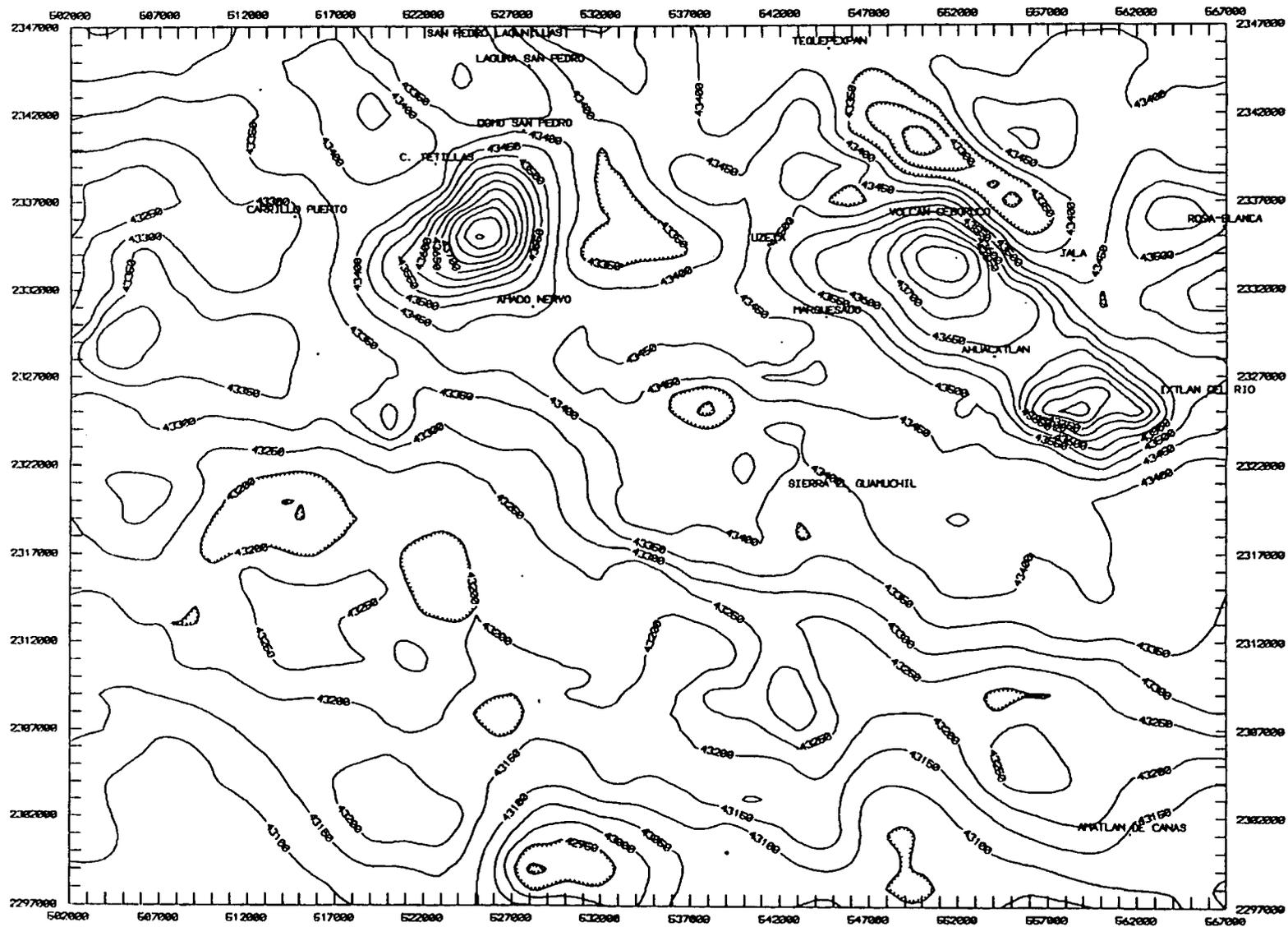


FIGURA 23.-REGIONAL POR CONTINUACION ASCENDENTE A 2.00 KM , CAMPO TOTAL

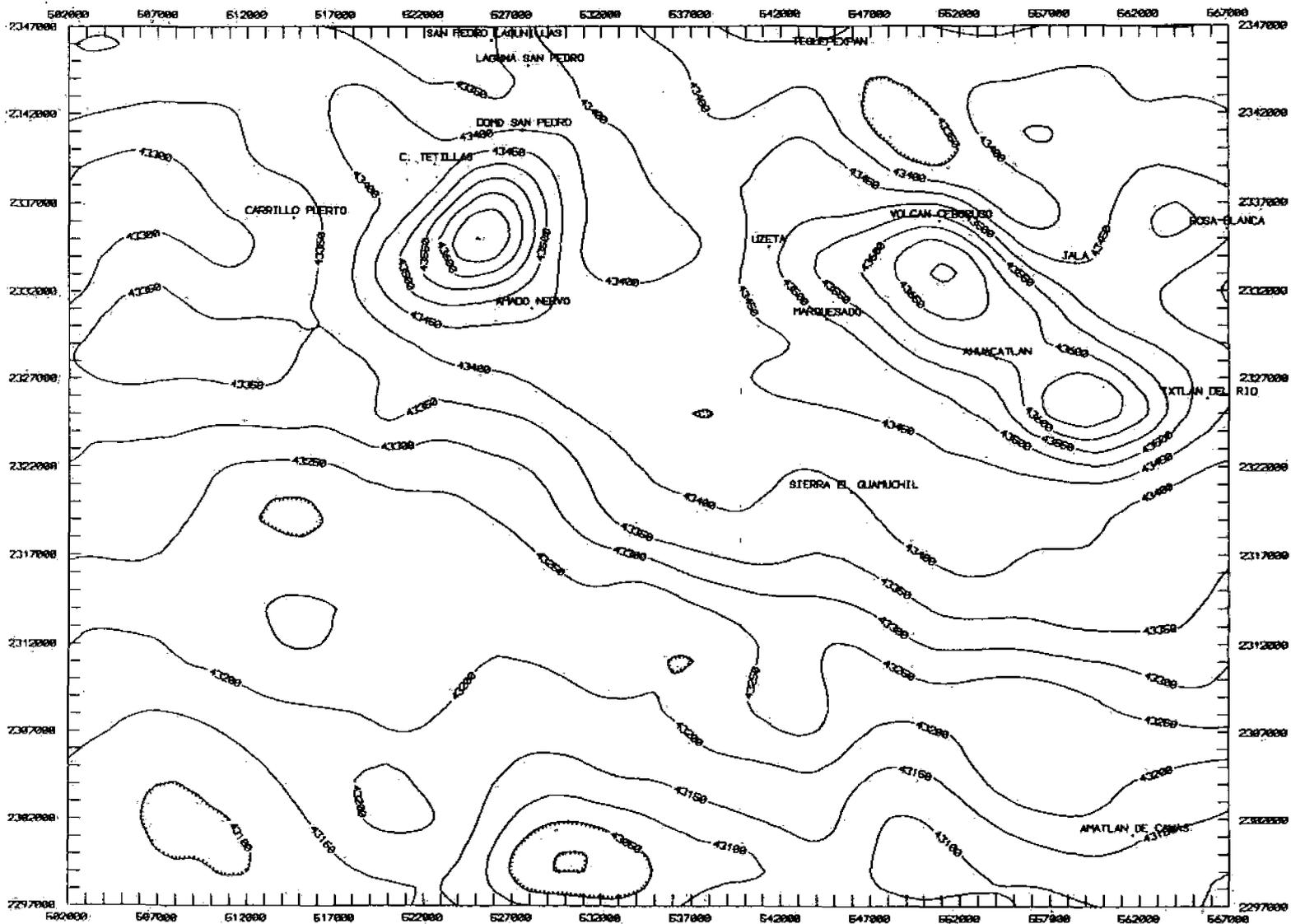


FIGURA 24.-RESIDUAL POR CONTINUACION ASCENDENTE A 2.00 KM , CAMPO TOTAL

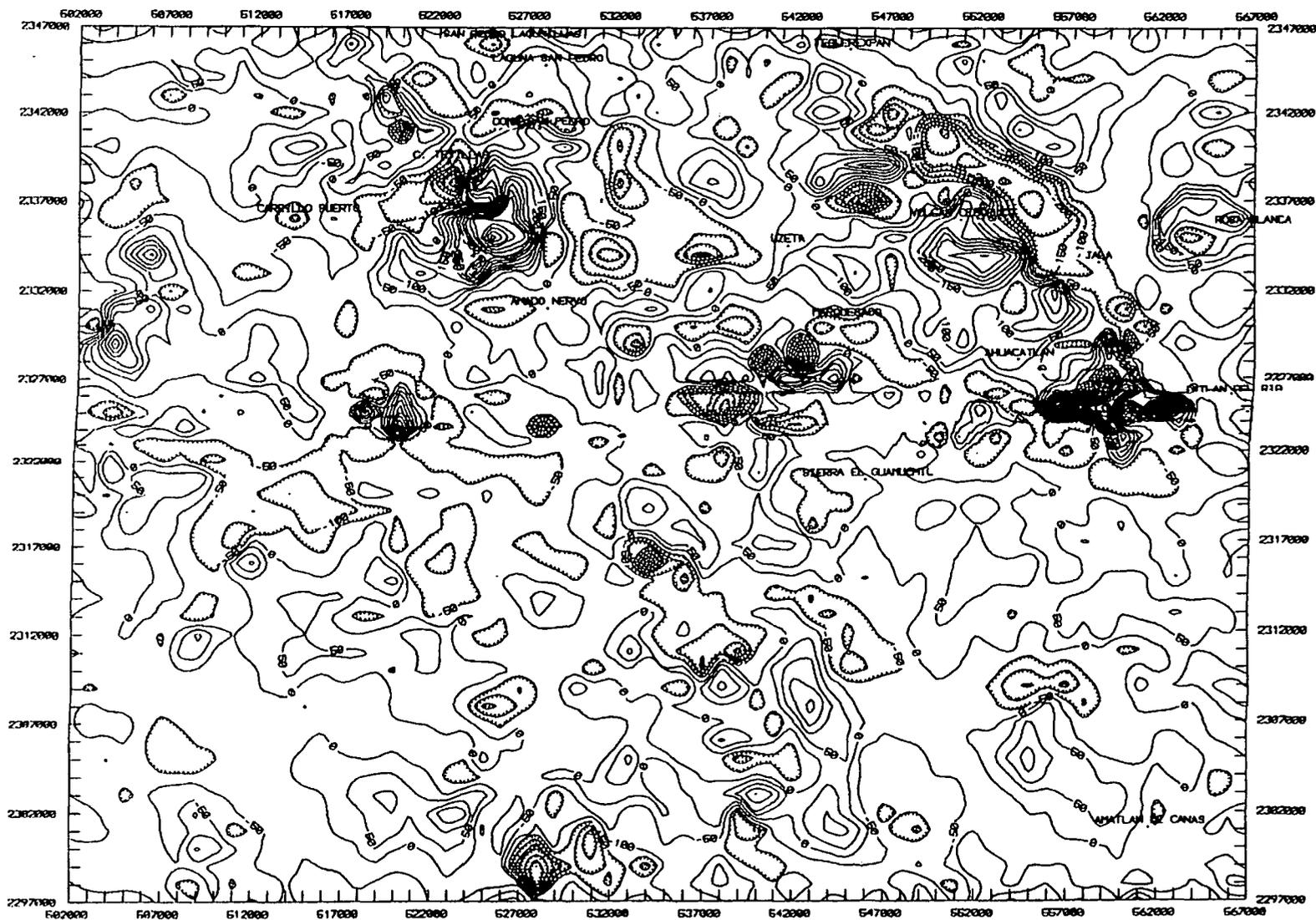


FIGURA 25.- CONTINUACION ASCENDENTE A 0.5 KM DEL PLANO REDUCIDO AL POLO

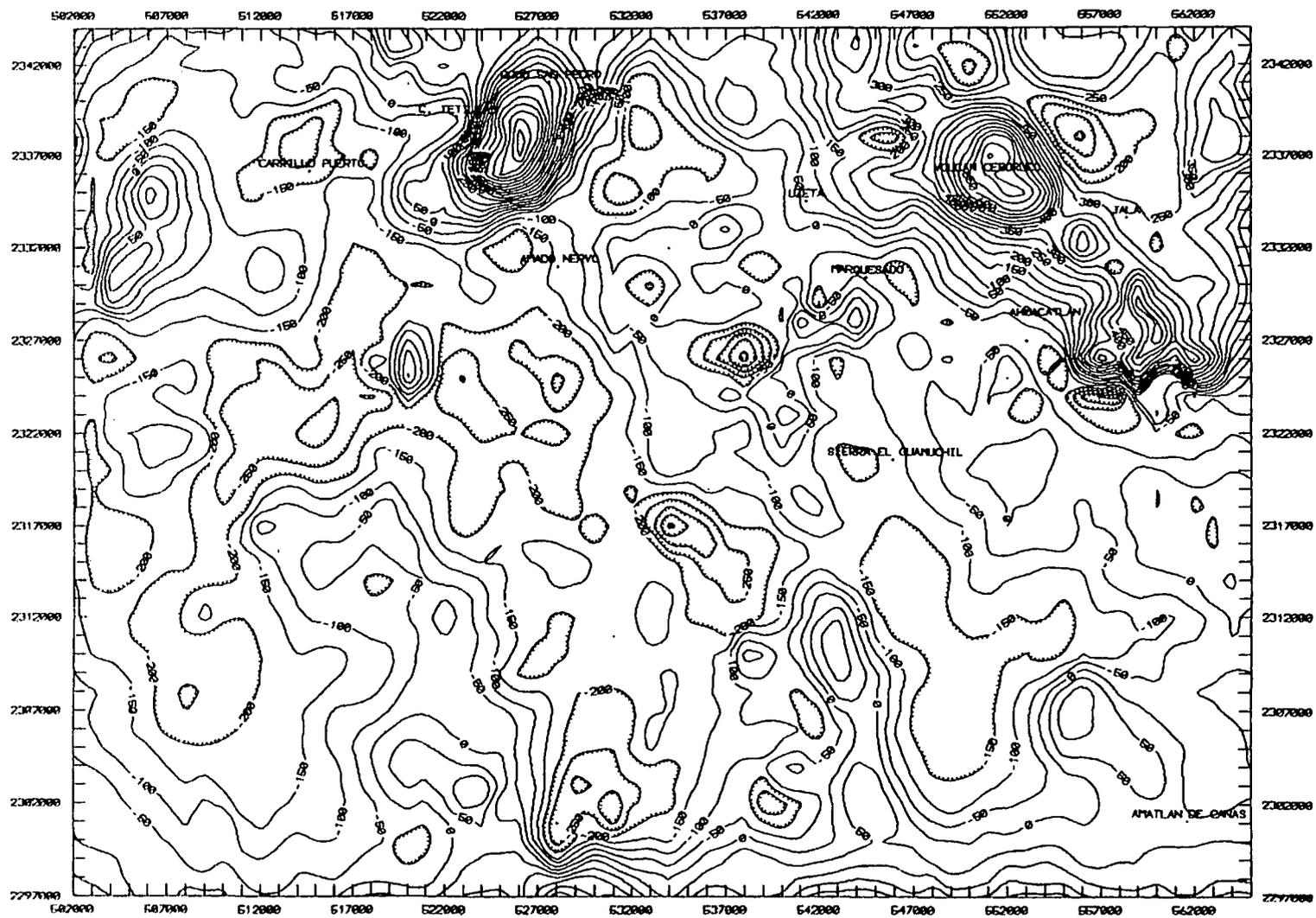


FIGURA 26.-REGIONAL POR FACTORIZACION ESPECTRAL CON FC= 0.12 CICLOS/KM

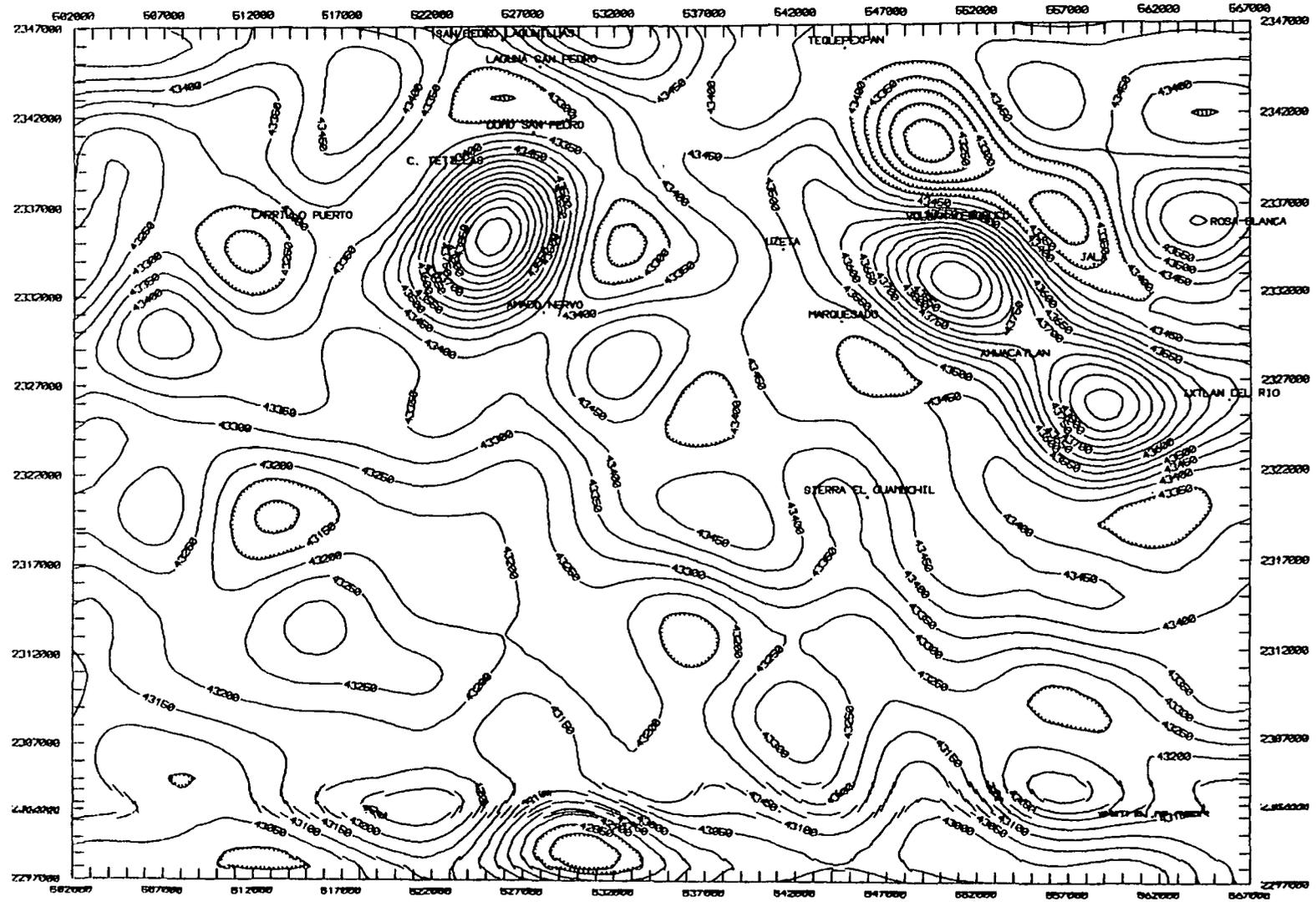


FIGURA 27.-RESIDUAL POR FACTORIZACION ESPECTRAL CON FC= 0.12 CICLOS/KM

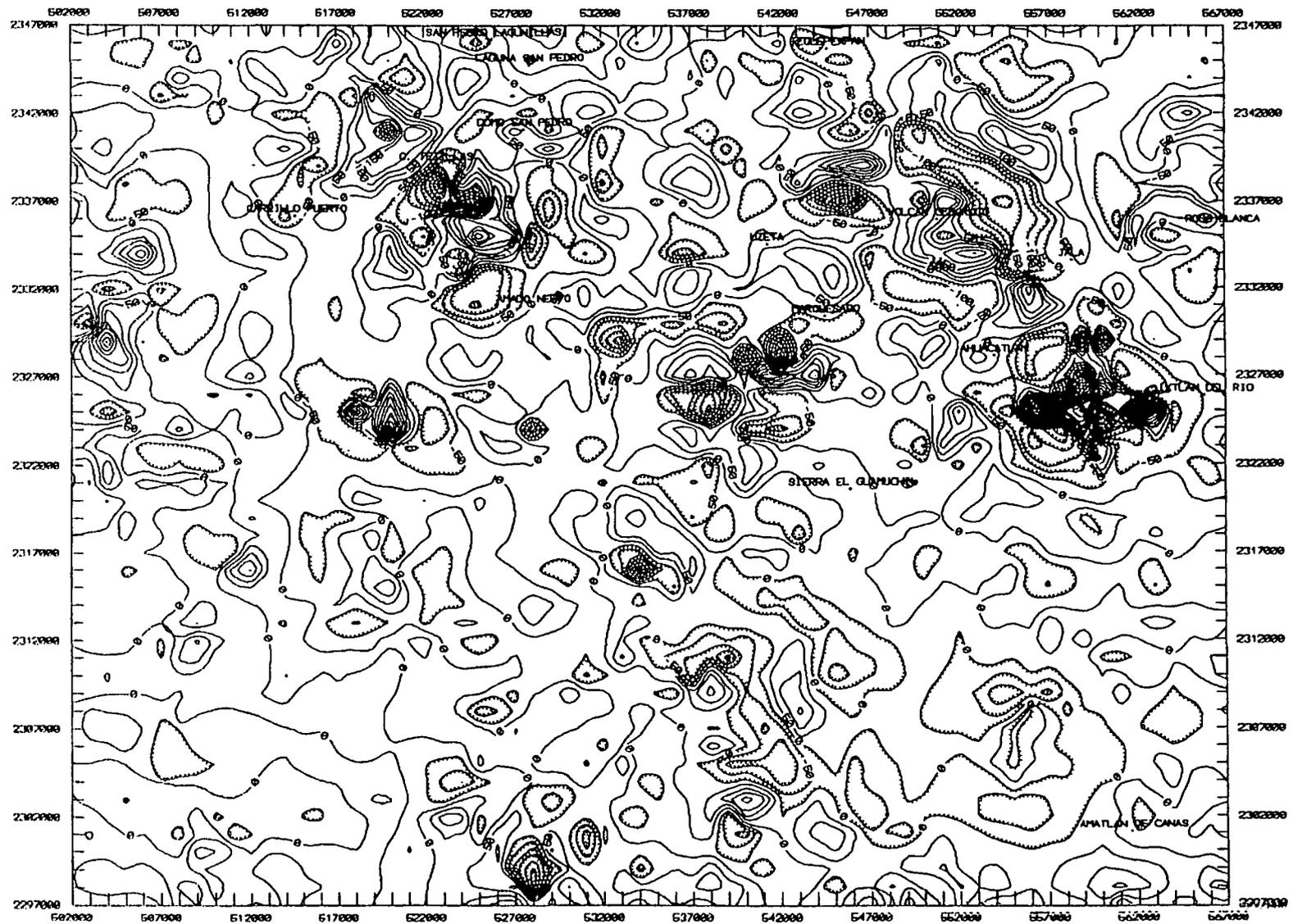


FIGURA 28.- REGIONAL POR FACTORIZACION CON $FC= 0.12$ C/KM DE LA REDUCCION AL P.

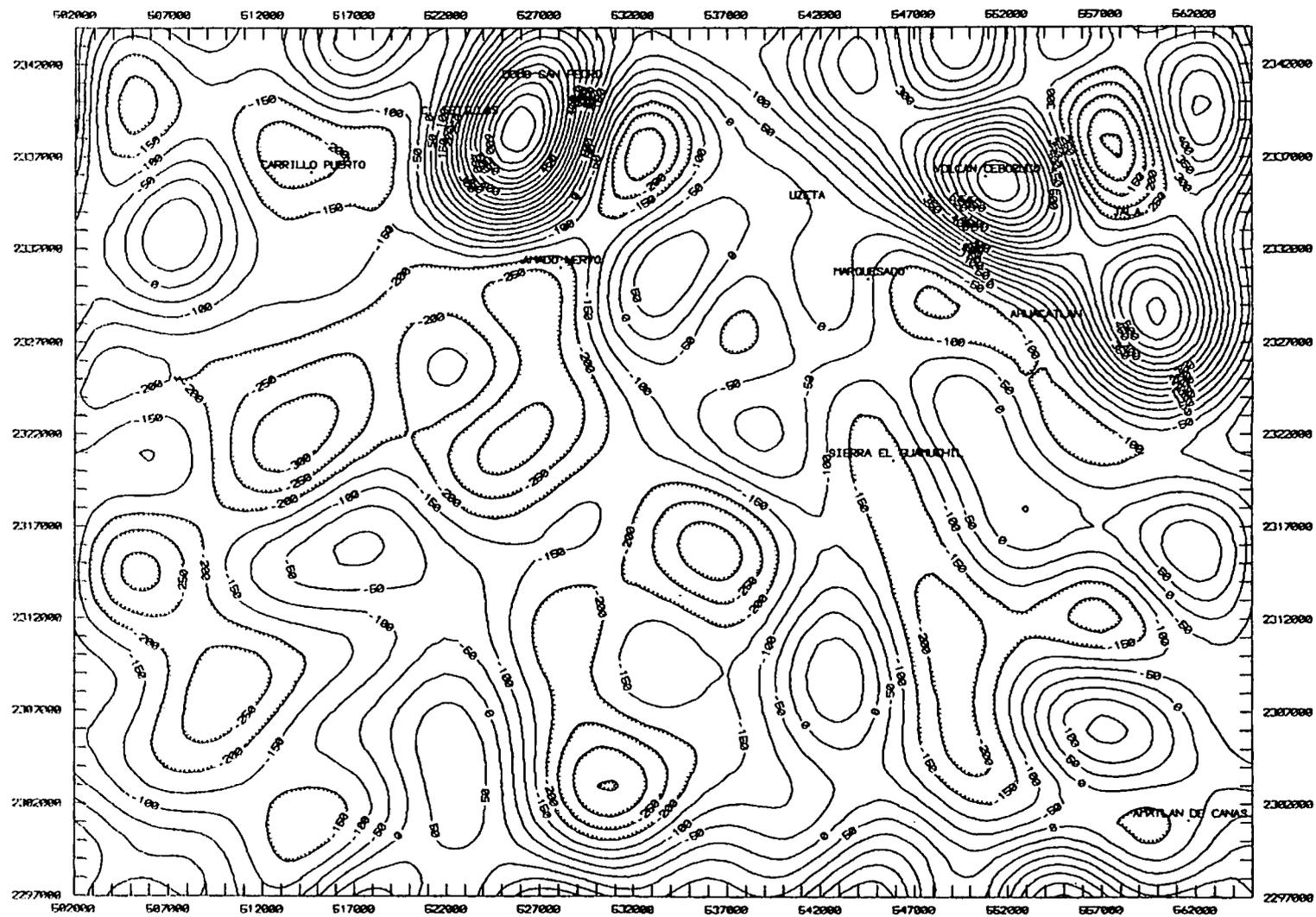
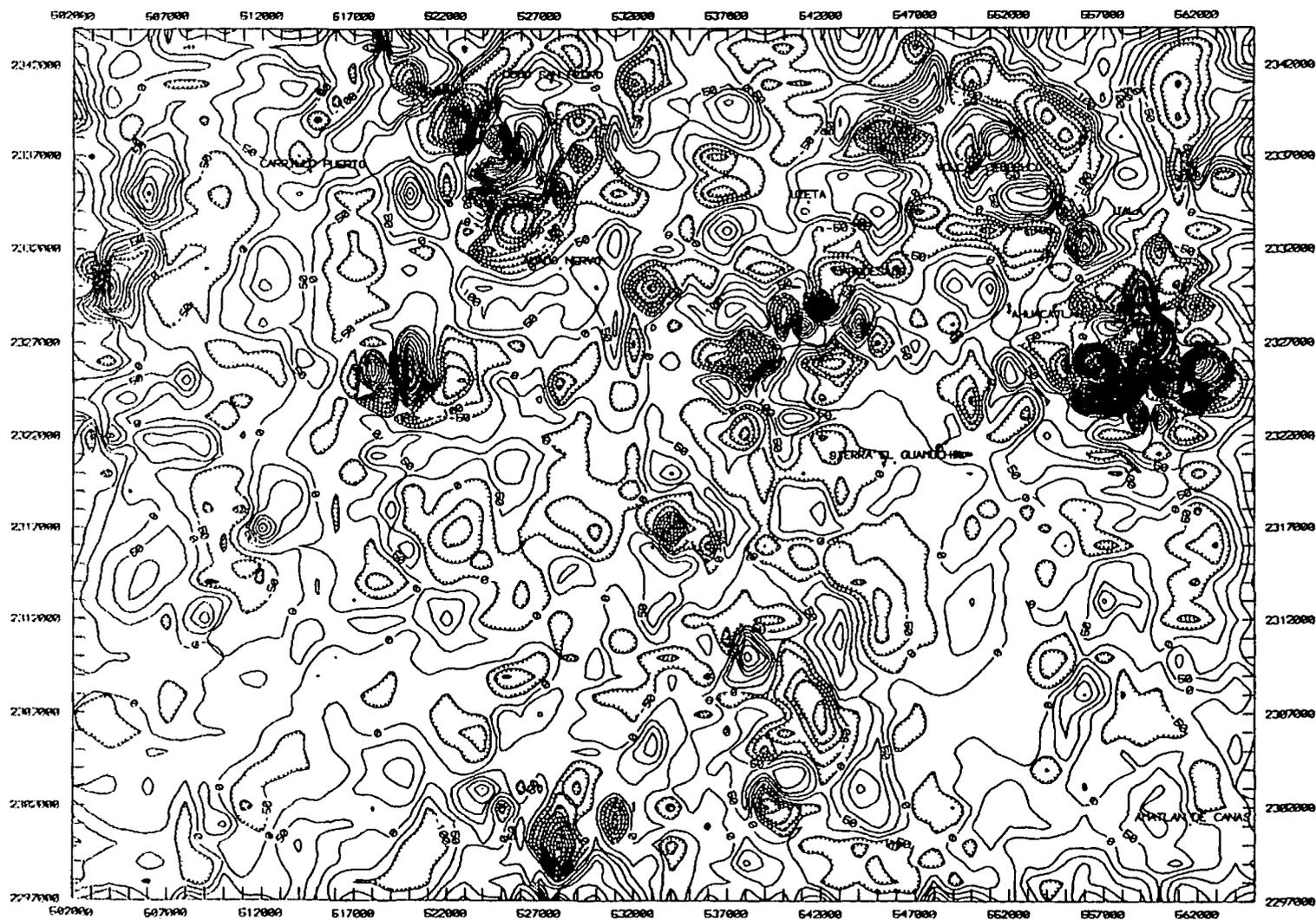


FIGURA 29.- RESIDUAL POR FACTORIZACION CON $FC = 0.12$ C/KM DE LA REDUCCION AL P.



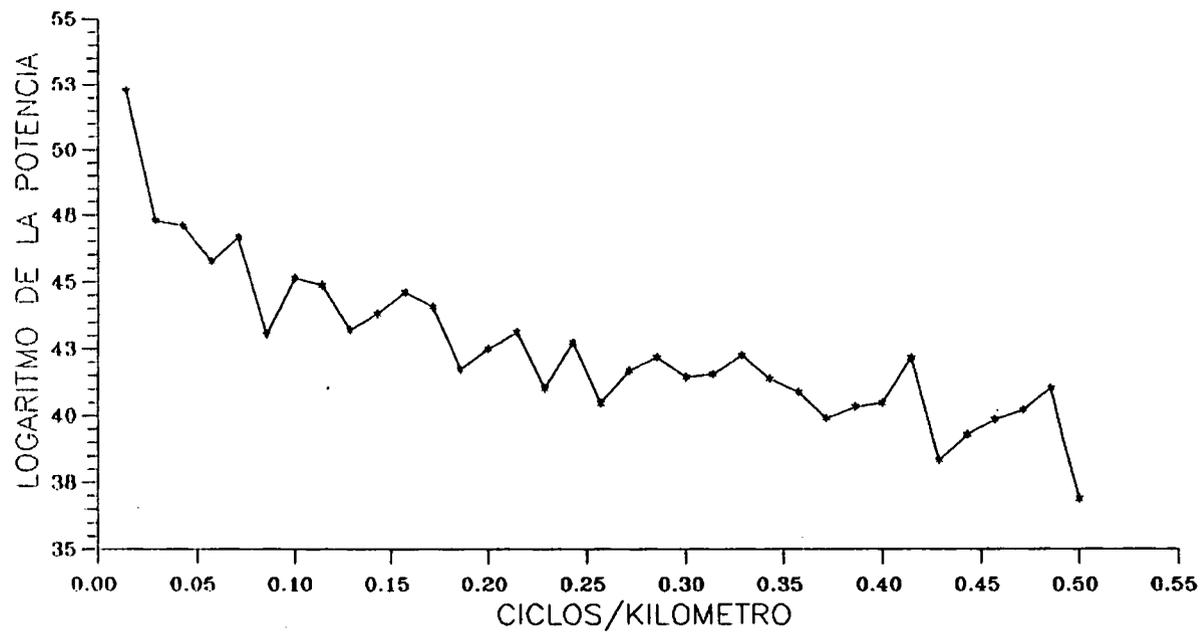


FIGURA 30.- LOGARITMO DEL ESPECTRO DE POTENCIAS, CAMPO TOTAL

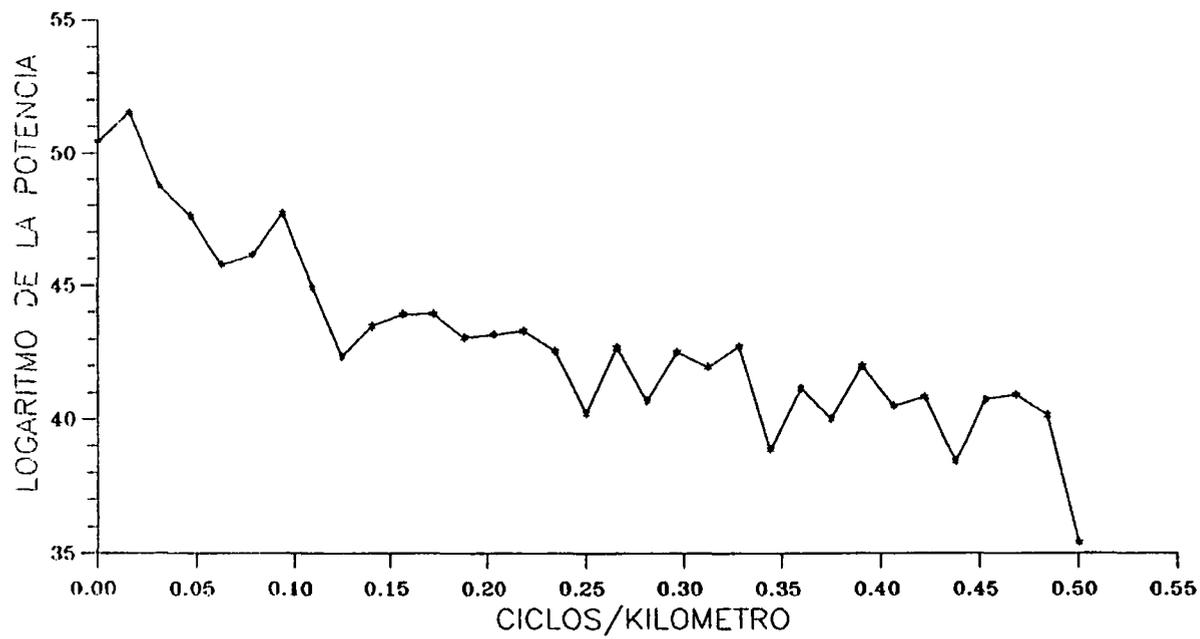


FIGURA 31.- LOGARITMO DEL ESPECTRO DE POTENCIAS, REDUCCION AL POLO

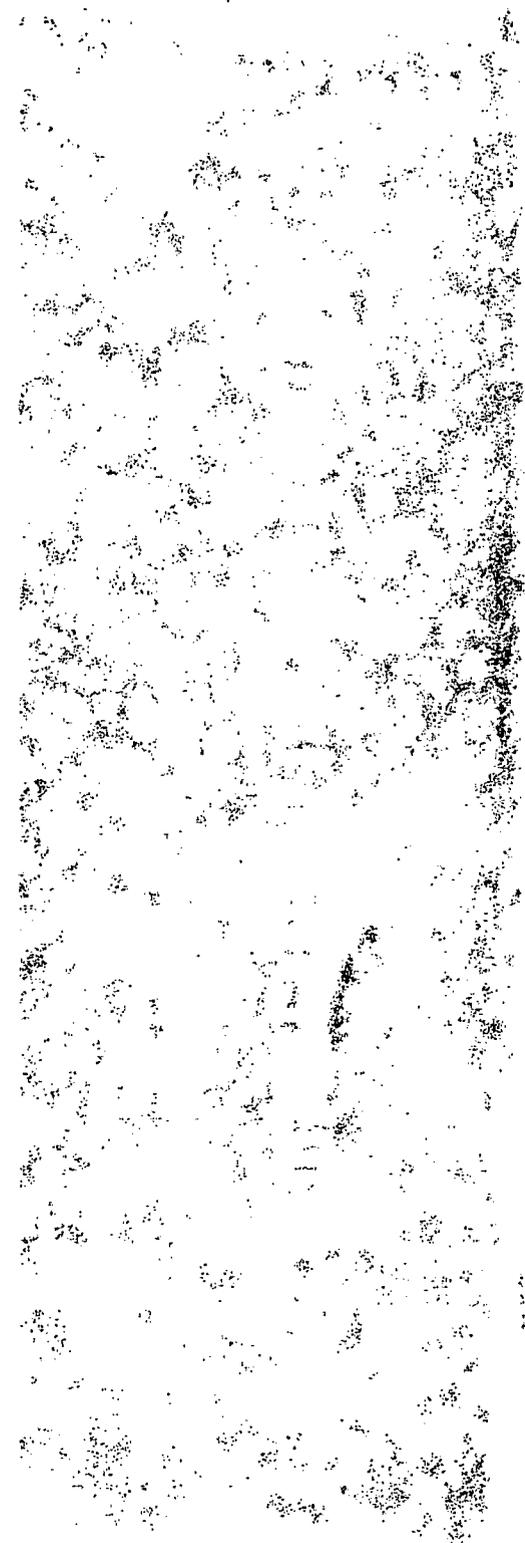


SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION
GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS
SUBGERENCIA DE EXPLORACION Y DESARROLLO

**GEOLOGIA REGIONAL DEL GRABEN
TEPIC - IXTLAN, NAY.**

INFOME 04/91

DEPARTAMENTO DE EXPLORACION



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS
SUBGERENCIA DE EXPLORACION Y DESARROLLO
DEPARTAMENTO DE EXPLORACION
OFICINA DE GEOLOGIA
RESIDENCIA EL CEBORUCO, NAY.

ESTUDIO GEOLOGICO REGIONAL DEL GRABEN DE TEPIC - IXTLAN, NAYARIT.

Informe 04 / 91

MARZO | 1991

Por Ing. Francisco Romero Rios
Ing. Ricardo Saucedo Girón
Ing. Abel Cortés Cortés

Supervisado por Ing. Saúl Venegas Salgado



C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION

- 1.1. Localización y vías de acceso
- 1.2. Objetivo del estudio
- 1.3. Método de trabajo

2. GEOMORFOLOGIA

- 2.1. Provincia de la Sierra Madre Occidental
- 2.2. Provincia del Eje Neovolcánico
- 2.3. Clima e Hidrografía

3. GEOLOGIA

- 3.1. Unidades Litológicas
 - 3.1.1. Secuencia Terciaria
 - 3.1.2. Secuencia Plio-Cuaternaria

4. TECTONICA

- 4.1. Algunas consideraciones

5. GEOTERMIA

- 5.1. Manifestaciones Hidrotermales
- 5.2. Alteración Hidrotermal
- 5.3. Relación entre la Actividad Hidrotermal y las Estructuras
- 5.4. Zonas de Interés Geotérmico

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

I L U S T R A C I O N E S

FIGURAS

1. Localización de La Región del Graben de Tepic - Ixtlán, Nay.
2. Mapa Geológico Simplificado del Eje Neovolcánico Transmexicano
3. Regiones Hidrológicas
4. Geología Regional de Tepic-Ixtlán del Río, Nay.
5. Secuencia Litológica del Terciario.
6. Secuencia Litológica del Plio-Cuaternario.
- 7 y 7A. Modelo y Movimientos de Bloques en la Región Volcánica de Tepic - Ixtlán, Nay.
8. Estadística del Fracturamiento en el Bloque II
9. Estadística del Fracturamiento en el Bloque III
10. Estadística del Fracturamiento en La Sierra El Guamuchil
11. Mapa Generalizado de México y el Basamento del Océano Pacífico Adyacente con Características Tectónicas.
12. Esquema del Juego de la Tectónica de Placas en la Generación del Vulcánismo Calco-Alcalino de la región de Tepic-Ixtlán del Río, Nay.
13. Bloque Diagramático de la Región de Tepic-Ixtlán del Río, Nay.

14. Modelo Tectónico de la Formación de la Cuenca Tensional donde se emplaza el Volcanismo Plio-Cuaternario del Volcán Ceboruco-Domo San Pedro.

15. Actividad Hidrotermal y Fracturamiento Principal.

TABLAS

1. Geocronología de la Región del Graben de Tepic - Ixtlán, Nay.
2. Análisis Químico del Sílice de las Rocas Volcánicas de la Región del Graben de Tepic - Ixtlán, Nayarit.
3. Epocas Vulcano-Tectónicas en la Región de Tepic-Ixtlán, Nayarit.

PLANOS

1. Geología de la region del Domo San Pedro - Tetitlan
2. Bloques de la Región del Graben de Tepic - Ixtlán
3. Geología del Area de Tequepexpan.

SECCIONES

1. Secciones Esquemáticas A y B
3. Secciones Geológicas NW-SE y NE-SW
5. Sección Geológica Domo San Pedro - Volcán Ceboruco.

RESUMEN

En 1987 la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), concluyó los estudios de prefactibilidad para la localización y perforación de pozos exploratorios en el volcán del Ceboruco, en el estado de Nayarit. Entre el 12 y 20 de mayo de 1990, en el marco del Convenio entre la C.F.E. y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), cuyo objetivo es la inversión de un fondo revolvente para la exploración geotérmica en la zona del volcán, para ello, se efectuó la misión del Prof. Giorgio Pasquare, Geólogo Vulcanólogo, para evaluar el estado de los estudios geológicos de la zona y programar estudios adicionales. Los resultados de la misión fueron:

- No existe la contundencia suficiente en los estudios hasta entonces realizados, que justifiquen la localización y perforación de un pozo en las partes altas del volcán.
- Por la alteración hidrotermal y ocurrencia del volcanismo reciente, se recomendó continuar los estudios hacia la zona NW del volcán (zona de El Cajón-Tequepexpan).
- Continuar con el estudio geológico-estructural en forma regional, para determinar las relaciones entre los sistemas de fracturamiento regional y la ocurrencia del volcanismo y los productos hidrotermales.

En el presente resumen se revisarán las partes esenciales de la geología, que podrían modificar las conclusiones del informe de 1990, en base a los trabajos realizados por C.F.E., y a los nuevos datos obtenidos a la fecha.

Los estudios geológicos adicionales, han afinado los conocimientos de detalle y han confirmado el esquema general del origen del volcanismo en la región, planteado durante la visita del Prof. Pasquare.

Los estudios recientes, confirmaron que los productos de la Sierra Madre Occidental, ignimbritas, riolitas y tobas; forman una serie de bloques basculados (en algunas áreas se observan rotados) y afallados desde el Río Grande de Santiago, hasta las Sierras Jolapa y Zapotán, las cuales pertenecen al bloque Jalisco. Aunque los datos estructurales recabados durante el recorrido de campo, no permiten definir el flanco suroeste del

graben Tepic-Chapala, en su porción Ixtlán del Río-Tepic, por la deformación que sufren las rocas de la SMO a causa de las intrusiones granodioríticas del Terciario, como las del Cerro Pijinto; por geomorfología bien podría tomarse como límites de este flanco los valles cuya orientación NW-SE separan una serie de bloques aislados, como la Sierra El Guamuchil, del bloque Jalisco; estos valles serían, el de Amatlán de Cañas y el de Compostela.

El rompimiento y basculamiento en bloques de la SMO, ocurre preferencialmente por el sistema tectónico regional que ha producido un sistema de fallas normales NW-SE con desplazamiento lateral desde el derecho, al nivel del Río Santiago, hasta el izquierdo, Sierras Jolapa y Zapotán. Este fracturamiento posiblemente produce una cuenca tensional donde se emplazó todo el volcanismo Pliocuaternario. Por otro lado, el cambio brusco en el rumbo de la red hidrogeográfica de la zona, como los Ríos Ameca, Tetiteco y Tetitlán, indican la presencia de fallas de orientación NE-SW, las cuales son de tipo normal y también con desplazamiento lateral. Hasta el momento, no se ha logrado definir la importancia o la relación genética que pudiera tener este último sistema estructural con el emplazamiento del volcanismo, debido sobre todo a que la mayoría de los centros eruptivos tienden a presentar un alineamiento NW-SE, y solo en la zona del Domo San Pedro (Tetitlán-Valle Verde), algunos centros parecen tener una orientación NE-SW. Sin embargo, a través de los datos de campo y de la literatura geológica de la zona, existe la certeza de que la mineralización y la alteración hidrotermal se emplaza en este último sistema estructural.

En conclusión se propone lo siguiente:

El esquema geológico-estructural del graben Tepic-Chapala, en su porción Ixtlán del Río-Tepic, parece corresponder a una cuenca tensional formada por un movimiento lateral derecho, cuyos límites serían el Río Grande de Santiago y el bloque Jalisco. Las fallas regionales NW-SE y NE-SW, desplazan la SMO en una serie de bloques y en el cruce de ellas parece estacionarse el magma que da origen al volcanismo en la región. El sistema geotérmico en la zona, debe estar relacionado con la formación de los productos más diferenciados (dacitas y riolitas) de la zona de Tetitlán-Valle Verde y los últimos derrames del Ceboruco. Desde el punto de vista térmico, el sistema geotérmico debe estar relacionado a las fallas NW-SE, como responsables de la circulación hidráulica, cruzadas por las fallas de rumbo NE-SW en la zona productiva, andesitas del Oligoceno (base de la SMO).

El modelo propuesto, tendrá que ser profundizado y afinado, con el conocimiento de una mayor cantidad de datos estructurales, dataciones radiométricas, geoquímica de rocas, etc.

1. INTRODUCCION

Continuando con el programa de exploración y desarrollo de zonas de interés geotérmico, la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos tomó la decisión de continuar con la exploración geológica regional del Graben Tepic-Chapala, en su porción Tepic-Ixtlán. EL objetivo fué definir los límites: del Graben, de las rocas de la Sierra Madre Occidental, del vulcanismo base del Eje Neovolcánico y el vulcanismo Cuaternario del mismo Eje; para con ello establecer un Modelo Vulcano-estructural de la región y su posible relación a la actividad hidrotermal reportada en la zona del Volcán Ceboruco-Domo San Pedro.

Fijados los objetiyos, el estudio consistió en cubrir una extensión de 8,800 Km²., en donde quedaron incluidas las zonas de alteración y zonas termales de Tequepexpan, Ceboruco, Valle Verde-Tetitlán, Amatlán de Cañas y Compostela.

Los resultados preliminares de este estudio permitieron establecer que en la zona existen dos sistemas estructurales de tipo regional de direcciones NW-SE y NE-SW, que producen fallas de tipo normal y de desplazamiento lateral. Observando que ambas juegan en el tiempo y en el espacio un importante papel en la evolución del vulcanismo de la región y de los procesos hidrotermales aflorantes en la misma. El mayor emplazamiento de vulcanismo se relaciona principalmente a través de las estructuras de rumbo NW-SE, no pudiendo definir la importancia en este aspecto de de las estructuras de orientación NE-SW. El vulcanismo de la zona del Ceboruco es de tipo calco-alcalino y en él no se ha observado una diferenciación a productos ácidos que pudieran indicar la formación de una cámara magmática somera. En tanto que en la zona del Domo San Pedro, los productos volcánicos tienden a ser más ácidos indicando con ello la posible existencia de una cámara magmática somera, cuya ubicación y volumen podrá ser definido con estudios vulcanológicos de mayor detalle.

En conclusión la actividad hidrotermal de la zona asociada al vulcanismo y a las estructuras observadas en el campo se pueden clasificar en orden de importancia de la siguiente manera, Domo San Pedro-Valle verde-Tetitlán (Las Cuevas); Domo San Pedro-Compostela; Ceboruco-Tequepexpan; Ceboruco-Pochotero y Amatlán de Cañas.

1.1. Localización y vías de acceso

La región estudiada se localiza en la parte SSW del Estado de Nayarit y en el límite NNW del de Jalisco. Políticamente la región se ubica en los municipios de Tepic,

Compostela, Santa María del Oro, San Pedro Lagunillas, Ahuacatlán, Ixtlán del Río, Amatlán de Cañas del Estado de Nayarit y en los de San Sebastián del Oeste, Etzatlán y La Yesca del Estado de Jalisco, quedando comprendida geográficamente entre los

paralelos 20° 45' a 21° 30' de latitud norte y los meridianos 104° 00' a 105° 00' de longitud oeste ,

lo cual da una superficie de 8,800 Km² (110 x 80 km), superficie que fué cubierta en dos etapas de campo empleando para ello diferente personal técnico, por situaciones totalmente ajenas al desarrollo del proyecto.

Las principales vías de acceso son la carretera Federal No.15 que comunica a la Ciudad de Guadalajara con la de Tepic, cruzando la región de SE a NW y de la cual, a la altura de la población de Chapalilla, sale rumbo al oeste una carretera de cuota hasta intersectarse a la altura de Compostela, Nay., con la carretera federal No.200, que une a Tepic con Puerto Vallarta, Jal. La región es cruzada por la línea férrea del Pacífico en su tramo Guadalajara - Tepic. Existen caminos de terracería transitables en toda época, así como brechas utilizables solo en tiempos de cosecha. (Fig. 1).

1.2. Objetivo del Estudio

En la región existe un desarrollo vulcanológico Plio-Cuaternario muy intenso , representado por estratovolcanes, domos de caracter ácido que se han alternado con fases explosivas, así como un buen número de conos cineríticos diseminados en toda la zona, hasta finalizar con un derrame dacítico que fluyó desde el Volcán Ceboruco de 1870 a 1875. Asociados tanto con las fracturas como a los aparatos volcánicos, existen varios manantiales termales.

Los objetivos del Estudio Geológico Regional fueron los siguientes:

- Efectuar la cartografía regional diferenciando las principales unidades litológicas de las Provincias Volcánicas.
- Obtener una interpretación vulcano-estructural.
- Limites de los eventos vulcanológicos del Eje Neovolcánico con los de la Sierra Madre Occidental.
- Relación vulcano-estructural con las manifestaciones termales.

- Areas de mayor interés geotérmico de la región.

1.3. Método de trabajo

La primera etapa del trabajo fué de gabinete, la cual consistió en recopilar información geológica relacionada con la región, así como imágenes de satélite, cartas topográficas y geológicas escalas 1:250,000 y 1:50,000.

La segunda etapa fué el trabajo de campo, para lo cual se realizaron varios recorridos en vehículo, por toda la región empleando para ello un tiempo de 3 meses (Septiembre - Diciembre de 1990), checando los contactos y las características de las unidades litológicas aflorantes, con lo cual se logró conformar una columna litoestratigráfica.

Paralelamente al reconocimiento geológico se reconocieron las manifestaciones termales (anteriormente localizadas), así como también se localizaron las zonas de alteración hidrotermal para su ubicación en la carta geológica, de igual manera se tomaron datos estructurales para el control de los sistemas.

La tercera etapa consistió en el análisis de toda la información, elaboración de planos, y redacción del informe final.

2. GEOMORFOLOGIA

La región se ubica en la parte nor-occidental de la provincia geomorfológica del Eje Neovolcánico, y más específicamente en su sector denominado Graben Tepic-Chapala; así mismo se encuentra delimitada por el vulcanismo ácido de edad Oligo-mioceno de la Provincia de la Sierra Madre Occidental.

Al sur, está limitada por el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental con algunas intrusiones de rocas graníticas, así como rocas sedimentarias y metamórficas, sin embargo algunos reportes sobre la región consideran a esta porción sur como parte de la Provincia de la Sierra Madre del Sur, zona montañosa de la Costa Suroeste, Tierras Levantadas, Macizo de Jalisco, Bloque Jalisco, etc., según las características geomorfo-litológicas y su interpretación muy particular (Fig. 2).

2.1. Provincia de La Sierra Madre Occidental

Esta Provincia está constituida en su mayor parte por un vulcanismo ácido de tipo ignimbrítico y de una edad Oligo-mioceno, en la parte N-NE y E, constituye mesetas alargadas de direcciones NW-SW y N-S cuyas elevaciones van desde los 1500 a los 2740 msnm a partir del valle de Jala y disectadas por las corrientes fluviales principales como el Río Grande de Santiago en donde las elevaciones van desde los 500 hasta los 2500 msnm.

En la parte S, las rocas de esta Provincia se encuentran intrusionadas por cuerpos graníticos, metamorfozadas y plegadas, alcanzando elevaciones desde los 1000 a los 2320 msnm, ello ocurre en las Sierras El Guamuchil y Jolapa. En la zona de Tepuzhuacán, las ignimbritas se presentan en bloque cuyo rumbo es NE con una ligera inclinación al NW y semicubiertos por depósitos vulcano-sedimentarios del Plioceno y derrames básicos del Plio-Cuaternario.

En la parte central, se presentan algunos bloques de rumbo NW-SE basculados al NE, obedeciendo a una tectónica de bloques escalonados de norte a sur, en algunos sitios los bloques se encuentran intrusionados, en tanto que en otros están semicubiertos por derrames básicos del Plio-Cuaternario, ello se observa en los valles de Jala y Ahuacatlán.

2.2. Provincia del Eje Neovolcánico

Esta Provincia cuya característica principal es el vulcanismo de edad Plio-Cuaternario, ocupa las partes central, y noroeste principalmente de la región, aunque existen pequeñas áreas localizadas en las porciones sur y suroeste de la misma.

En la región se observa que tanto los eventos tectónicos como los vulcanológicos han actuado en forma directa para construir los elementos que conforman la geomorfología de ella como son, los valles y los centros de emisión volcánica.

Valles.- Dentro de estos elementos tenemos al Valle de Matatipal (o Valle de Tepic), localizado en la porción NW de la región cuya elevación es de 1000 msnm, al Valle de Compostela al poniente con 900 msnm, al Valle Verde-Tetitlán en el centro hasta con 800 msnm, al Valle de Jala con 1100 msnm, al Valle de Amatlán de Cañas hasta con 800 msnm en el centro-sur y al SE los Valles de Etzatlán-San Marcos con 900 msnm y de Magdalena con 900 msnm también.

Centros de Emisión Volcánica.- Se trata de aparatos volcánicos (estratovolcanes y conos cineríticos), cuerpos dómicos y derrames de tipo fisural. Dentro de los primeros se tiene al Ceboruco con una elevación de 2280 msnm, al Tepeltitic con 2020 msnm, al Sangangüey con 2300 msnm y al San Juan con 2240 msnm.

De los aparatos dómicos de tipo riolítico y riodacítico se tienen al Domo San Pedro con 2000 msnm y al Navajas con 1680 msnm., además de varios domos más pequeños.

Los Conos Cineríticos se localizan como conos satélites o parásitos de los estratovolcanes y/o aislados, pero siempre alineados a ellos.

2.3. Clima e Hidrografía

El clima que predomina en la región es de tipo semicálido-subhúmedo y se caracteriza por presentar una precipitación media anual que varía de 800 a 1,200 mm. La temperatura media anual es de 22 °C.

La zona forma parte de tres regiones hidrológicas: la 12 al NNE, la 13 al NW y la 14 al SSW. Estas regiones hidrológicas pertenecen a la vertiente del Pacífico y el lugar donde convergen es la cima del Volcán Tepeltitic (Fig. 3).

La región hidrológica No.12 se conoce como Lerma-Santiago. A esta región pertenece la cuenca del Río Santiago-Aguamilpa que incluye a la subcuenca del Río Tepic y Mojarras, incluidas en la porción NNE de la región.

La región hidrológica No.13 es conocida como Huicicila. La porción NW de la región estudiada corresponde a ella, a la que pertenece la subcuenca del Río Huicicila y esta subcuenca a su vez, a la cuenca del Río Huicicila-San Blas.

La región hidrológica No.14 se localiza en la porción centro-sur-suroeste, llamada del Río Ameca, a ella pertenece la cuenca del Río Ameca-Atenguillo y las subcuencas del Río Ahuacatlán y del Río Ameca-Ixtapa.

3. GEOLOGIA

3.1. Unidades Litológicas

Desde el punto de vista cronológico, la región estudiada está conformada en su totalidad por rocas de origen ígneo que varían desde el Terciario al Reciente, tal como lo demuestra la última actividad del volcán Ceboruco acontecida en los años de 1870-1875, así mismo la distribución espacial de las diferentes unidades está dada de la siguiente manera ; hacia la porción NNE de la región se encuentran expuestas las rocas pertenecientes a la secuencia de la Sierra Madre Occidental, mismas que hacia la parte SSW es afectada por eventos plutónicos que han dado origen a un metamorfismo de contacto.

Por otra parte, hacia la porción central de la región, se puede observar un corredor de orientación NW-SE constituido casi en su totalidad por la secuencia volcánica Pliocuaternaria, dicho corredor se encuentra flanqueado hacia el NE y SW por las unidades anteriormente mencionadas (Fig. 4).

A continuación se describen las características litológicas de las diferentes unidades, partiendo de la más antigua.

3.1.1. Secuencia Terciaria

La secuencia terciaria está constituida principalmente por rocas de composición calco-alcalinas, típicas de ambientes tectónicos de subducción (Fig. 5).

Andesitas (Toma).- Los afloramientos de esta unidad se restringen al cauce del Río Grande de Santiago. Esta secuencia es considerada como la base de la Sierra Madre Occidental, se le asigna una edad Oligoceno medio - Mioceno tardío, y está constituida por gruesos paquetes de andesitas porfídicas cloritizada, afectada por un intenso fracturamiento; tiene un espesor variable.

Riolitas e Ignimbritas (Tomr).- Esta secuencia se encuentra aflorando ampliamente hacia las porciones N-NE y S-SW de la región, cubriendo casi las dos terceras partes del área.

Hacia la porción N-NE la unidad se encuentra formando amplias mesetas constituidas principalmente por material ignimbrítico, mismas que presentan un basculamiento preferencial hacia el NE; en tanto que hacia la porción S-SW se presentan formando macizos montañosos, debido al emplazamiento de plutones que han afectado esta parte de la región.

La unidad está compuesta por un grueso paquete ignimbrítico de composición riolítica de color rosáceo, textura porfídica, presentando abundantes fenocristales de cuarzo y feldespatos inmersos en una matriz vítrea, es común observar algunos horizontes fuertemente soldados (con fiammes) así, como intercalaciones de riolita de color rosado a rojizo, compacta, masiva, de textura porfídica, con fenocristales de cuarzo. A esta secuencia se le asignan espesores del orden de 900 a 1000 m, así como una edad que varía del Oligoceno medio al Mioceno tardío, tal y como lo demuestran las dataciones realizadas por Nixón et.al., 1987. (Tabla 1).

Estratigráficamente se encuentra sobreyaciendo a la secuencia andesítica anteriormente descrita, y subyacen a los depósitos Plio-Cuaternarios.

Rocas Intrusivas Acidas (Tiga).- Hacia la porción central de la región estudiada, Sierra El Guamuchil así como al SW en la Sierra de Zapotán, se reconocieron importantes eventos de tipo intrusivo. Así mismo en estos macizos montañosos se observó que dichos cuerpos intrusivos ocasionaron alteraciones de tipo hidrotermal en las rocas intrusionadas (Sierra Madre Occidental), así como un metamorfismo de contacto, tal como lo demuestra la mineralización reconocida en las sierras mencionadas.

De acuerdo al resultado de análisis petrográficos de trabajos anteriores realizados por CFE, la composición de los cuerpos plutónicos corresponde a granodioritas, tonalitas porfídicas y cuarzomonzonitas .

Es importante señalar que hacia el flanco S de la Sierra El Guamuchil se observaron diques de posible composición básica intrusionando al cuerpo plutónico, mencionado.

Por otra parte, se puede inferir que los cuerpos intrusivos ácidos se extienden hacia el norte, subyaciendo al vulcanismo Cuaternario e intrusionando a la secuencia de rocas de la Sierra Madre Occidental, ello tomando como base las observaciones hechas en trabajos anteriores, donde se han reportado fragmentos de rocas intrusivas en la unidad de la Toba Jala.

La edad de los cuerpos intrusivos posiblemente corresponde a fines del Mioceno y principio del Plioceno, ello, de acuerdo a su posición estratigráfica ya que intrusionan y metamorfizan a la secuencia de la Sierra Madre Occidental(Tomr) también se observa que esos intrusivos se encuentran a su vez intrusionados por otros cuerpos más jóvenes, como es el caso de

un dique básico que aflora al NE de Sta. Ma. del Oro, cercano al cause del Río Santiago y la datación por K-Ar arrojó una edad de 10.9 ± 0.3 m.a. (CFE.Proy.Aguamilpa).

Unidad Metavolcánica (Tmv).- Esta unidad se encuentra restringida a las zonas donde la secuencia de rocas terciarias están intrusionadas por los diferentes curpos graníticos, dando como resultado un metamorfismo de contacto de bajo grado, dichas rocas afloran hacia los flancos de las Sierras El Guamuchil, Zapotán y márgenes de la de Jolapa, así mismo, y de acuerdo a las relaciones estratigráficas se les asigna una edad post-mioceno.

Las rocas metavolcánicas presentan una textura afanítica, pseudoestratificación con tonos verdes y rojizos, fuertemente fracturada, con vetillas rellenas de cuarzo y cristales de pirita.

3.1.2. Secuencia Plio-Cuaternaria

Andesitas y riolitas (tmpar). Esta secuencia aflora principalmente en la parte central del área y sobreyace a la secuencia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental, lo cual hace pensar que posiblemente se trata de una fase tardía de ésta, o que tal vez corresponde a las primeras manifestaciones del Eje Neovolcánico. Este vulcanismo se observa también en las áreas de Etzatlán, Amatlán de Cañas, margen norte de la Sierra El Guamuchil y parte norte del Valle de Jala la Vieja (Fig. 6)

En su mayoría este vulcanismo, está compuesto por derrames andesíticos de tipo fisural, aunque en algunas zonas se han podido reconocer algunos cuerpos de composición riolítica, como al N-NE de San Marcos, Jal., y en Sta.Ma. del Oro, en donde las dataciones arrojaron 4.6 ± 0.2 m.a.(Gastil, 1979), y en la zona de Compostela en donde las rocas arrojaron una edad de 2.3 ± 0.5 m.a.(Gastil, 1979), Tabla 1.

Las andesitas son de color gris oscuro, textura afanítica y porfídica, con un evidente lajeamiento, en algunas zonas presenta fracturamiento. A este paquete andesítico se le asigna un espesor de aproximadamente 100 m; el contacto con la secuencia de la Sierra Madre Occidental se observa hacia el W de Ixtlán del Río sobre la carretera federal No. 15 Tepic - Guadalajara, casi en los límites de los estados de Nayarit y Jalisco.

Por la posición estratigráfica que guardan se les asocia una edad que varía del Mioceno superior al Plioceno superior, además de que al N de la Caldera de Tepic, los fechamientos de unos basaltos dieron como resultado una edad de 8.7 ± 0.7 m.a. (CFE, Proy. Aguamilpa 1979), Tabla 1.

Material Vulcano-sedimentario (Tpqvs).- Hacia la zona que ocupa el valle de Amatlán de Cañas, se encuentran gruesos paquetes de material vulcano-sedimentario, cuyo origen en forma preliminar se debe a productos volcánicos de carácter explosivo depositados en un ambiente de cuenca, sobreyaciendo a estos depósitos se observaron potentes derrames de basaltos, los de una edad probablemente Cuaternaria, de acuerdo a la posición estratigráfica por lo que a los depósitos vulcano-sedimentarios se les puede asignar una edad Plio-Cuaternaria.

Unidad Volcánica del Cuaternario (Quv)
Sobreyaciendo a la secuencia descrita se tiene a la cubierta volcánica del Cuaternario, perteneciente al Eje Neovolcánico.

Está compuesta principalmente por los productos volcánicos de composición calco-alcalina eyectados por los grandes estratovolcánes del área, tales como El Ceboruco, El San Pedro, Tepeltitic, Sangangüey, Navajas y San Juan, los cuales están alineados sobre una zona de debilidad cortical de orientación NW-SE, y consisten principalmente de andesitas, dacitas y riódacitas (Tabla 2), asimismo en esta fase se tienen evidencias de volcanismo alcalino, ya que Nelson y Carmichael (1984) reportan lavas alcalinas eruptadas por conos cineríticos alineados en una dirección NW en los flancos del volcán Sangangüey, y también al NE del volcán Navajas se han reportado otros conos semejantes.

Nixón, et.al, 1987 reportan fechas de 2.3 ± 0.5 m.a., para los domos riolíticos que afloran en la zona comprendida entre El domo de San Pedro y Compostela y de 0.16 ± 0.5 m.a., para el domo dacítico de San Pedro. También se sabe que la emisión de la Toba Marquesado como producto de la primera explosión del Volcán Ceboruco, dió una edad de 1500 ± 80 años. Finalmente, el mismo autor reporta un kilómetro cúbico de riódacitas (serie calco-alcalina) eruptadas en la última actividad del Volcán Ceboruco en el año de 1870, mismo que alcanzó una distancia de 7 kilómetros desde la fuente de origen , (Fig. 4 y Tabla 1).

4. TECTONICA

A partir del análisis de la imagen de satélite, de los planos hidrográfico y geológico, el área de estudio fué subdividida en 4 grandes bloques de acuerdo a las características geológicas, morfológicas y estructurales (Plano 2 y Figuras 7 y 7A).

El bloque I, se localiza al NE de la región y es limitado por la margen derecha del Río Grande de Santiago. Litológicamente esta constituido por la secuencia ignimbrítica y riolítica de la Sierra Madre Occidental y se caracteriza por tener un patrón estructural N-S principalmente.

El bloque II, se limita al norte por la margen izquierda del mismo río, y hacia el sur por el escarpe que comprende desde la zona de Tequepexpán hasta el área de Jala, sobre ese escarpe se infiere una estructura de tipo regional, y paralela a ella se alinea el vulcanismo desde el SE de Ixtlán hasta el NW del Volcán Sanganguey. La tendencia general de dicha estructura es N 60° W correspondiendo a una falla de tipo normal. Localmente en el área de Jomulco se midieron estrias de fallas con movimiento lateral izquierdo, las orientaciones son N 23° E, N 73° E, N 65° W y N 80° W. Según el conteo estadístico de las fracturas los principales lineamientos estructurales de este bloque, tienen una orientación N 15-37° E (Fig. 8); al igual que en el anterior, este bloque también está constituido por rocas ignimbríticas y riolíticas.

El bloque III lo constituye la cubierta volcánica Plio-Cuaternaria encajonada en la porción central del área de estudio la cual guarda una orientación preferencial NW-SE. Está limitado al N por el bloque II, y al S por la Sierra de Zapotán y Jolapa. Dentro de este bloque se tienen remanentes de rocas de la Sierra Madre Occidental en forma de pequeños cuerpos o grandes (bloques) aislados intrusionados y metamorfozados como es el caso de la Sierra El Guamuchil. Los rasgos estructurales más importantes del bloque, lo constituye el lineamiento del vulcanismo emplazado a través del fracturamiento de orientación NW-SE. Localmente en el valle de Jala se midió una estria de falla de movimiento lateral derecho con una dirección de N 35° W y con una inclinación de 55° al SW., hacia la parte norte del poblado de Heriberto Jara (La Haciendita) se midió otra estructura de movimiento lateral izquierdo con la misma orientación que la anterior. Sin embargo de acuerdo al conteo estadístico de las fracturas interpretadas en este bloque dió como resultado que la densidad de ellas tienen una orientación preferencialmente de N 15 a 23° E (Fig. 9), lo cual sirve de sustento a la idea de campo de que el fracturamiento más reciente es de esta orientación, mismo que en algunas zonas corta al fracturamiento NW-SE casi en forma perpendicular. En la Sierra El Guamuchil se

puede observar que de el conjunto de fracturas que están interactuando en ella, predominan las de dirección N 35-55° W (Fig. 10).

Por último el bloque IV abarca toda la zona S-SW de la región, donde la secuencia de rocas de la Sierra Madre Occidental es afectada por plutonismo, dicha área está caracterizada por la presencia de extensos cuerpos de composición granítica y granodiorítica, presentándose zonas mineralizadas y rocas metavolcánicas de bajo grado de la secuencia de la Sierra Madre Occidental. Desde el punto de vista estructural este bloque IV es cortado en la Sierra de Zapotán por un fallamiento de carácter regional NE-SW, evidenciado por la parte de la desembocadura del Río Ameca al Océano Pacífico (en la zona de La Bahía de Banderas). Es importante mencionar la combinación de plutonismo y vulcanismo que se tiene en este bloque y que forman un elemento cortical característico, que según Dickinson (19) pueden ser denominados como un OROGENO VULCANOPLUTONICO, típico de un arco magmático; tales rasgos se caracterizan por sucesiones de rocas metavolcánicas y rocas metamórficas recrystalizadas (Fig. 4 y plano 2).

4.1. Algunas Consideraciones

La composición química de los productos volcánicos de la región es de la serie calco-alcalina, típico de un ambiente tectónico de subducción, tales datos hacen suponer que la subducción de la placa Rivera y la parte norte de la placa de Cocos provocó ese vulcanismo (Nixon, et.al, 1987). Así mismo, algunos autores han reportado la presencia de conos cineríticos de composición alcalina típicos de ambientes distensivos, los cuales son producto de movimientos con fallamiento lateral derecho que algunos autores lo asocian al mecanismo que provoca la separación del Golfo de California (Luhr, et.al 1985) Figuras 11 ,12 y Tabla 2.

A partir de las hipótesis tectónicas en la reconstitución geodinámica a nivel del Pacífico de Atwater (1970) y a la apertura del Golfo de California de Demant (1977) ambos en Soto, G. y Ortega, M., se tiene que para esta región, los eventos volcánicos se pueden agrupar dentro de cuatro distintas épocas (Tabla 3) :

- 1) Oligoceno-mioceno temprano: Ignimbritas, andesitas, riolitas y basaltos con edades entre 34.6 y 13.8 m.a. (Sierra Madre Occidental).

- 2) Mioceno : Intrusivos con edades mayores de 10 m.a.
Mioceno tardío: Basaltos con una edad de 8.7 m.a.
- 3) Plioceno: Riolitas, andesitas y basaltos con edades entre 4.5 y 2.3 m.a. (vulcanismo base del Eje Neovolcánico).
- 4) Pleistoceno-Holoceno-Reciente: Riolitas, dacitas, andesitas y tobas con edades entre 1.6 m.a., a 120 años (vulcanismo del sector occidental del Eje Neovolcánico).

El magmatismo de las épocas 1) y 2), corresponden a la subducción de la placa Farallón (en una fase compresiva) y al inicio de la apertura del Golfo de California (en su fase distensiva); en tanto que las épocas 3) y 4) corresponden a la continuación de la apertura del Golfo de California y a los movimientos de subducción de la Placa de Cocos.

Los límites del Graben de Tepic-Chapala en esta región, se pueden definir de dos maneras :

- a) Límites Estructurales
- b) Límites Volcánicos
- a) Límites Estructurales. ✕

Las estructuras que han actuado en la región, han afectado tanto a las rocas de las secuencias de la Sierra Madre Occidental como a las Plio-Cuaternarias, las primeras están fuertemente afalladas por el fracturamiento regional de dirección NW-SE el cual tiene su expresión morfológica más importante y continúa en el cañón del Río Grande de Santiago, que divide a los bloques I y II (Plano 2). En el bloque I, el fracturamiento de dirección N-S, deforma la secuencia de la Sierra Madre Occidental en grandes mesetas orientadas S-N y escalonadas hacia el Oeste, en tanto que en el bloque II las mesetas cambian a una orientación NW-SE y un escalonamiento al NW (Fig. 13), arreglo estructural semejante, aunque de una manera no muy clara, lo presentan las rocas Plio-cuaternarias del bloque III, por lo que, del análisis del fracturamiento que afectó a los diferentes bloques, nos permite inferir que el límite norte del Graben Tepic-Chapala lo constituye El Río Grande de Santiago; en tanto que su límite sur, está definido por las sierras de Jolapa y Zapotán, o sea los límites entre los bloques III y IV, quedando como un cuerpo discordante la Sierra El Guamuchil, la cual es el resultado de un levantamiento provocado por eventos tectónicos (Plano 2 y secciones 1 y 2).

Por otra parte, dentro de la zona del graben, en los relictos de la Sierra Madre Occidental y algunos productos volcánicos Plio-Cuaternarios se tiene un basculamiento gradual hacia el NE desde la Sierra El Guamuchil hasta el escarpe regional que divide a los bloques II y III.

b) Límites Volcánicos.

El límite norte del vulcanismo Plio-Cuaternario está definido por los aparatos y derrames volcánicos que se alinean a lo largo de la estructura de tipo regional que limita a los bloques II y III (Plano 2). El límite sur, igualmente lo define el vulcanismo Plio-Cuaternario que sobreyace a las rocas de la Sierra Madre Occidental, en una dirección NW-SE, expuestas en las Sierras de Jolapa, Zapotán y más al NW queda definido por el Valle de Compostela en las estribaciones con la Sierra de la Zona del Molote, y más al N por el vulcanismo de la zona del Volcán San Juan (Plano 2 y Secciones esquemáticas 1 y 2).

Tomando como base las observaciones realizadas en campo, se piensa que el vulcanismo en la región aprovecha las zonas de debilidad formadas por el cruce de los dos principales patrones estructurales que afectan a la zona del graben en su porción Tepic-Ixtlán. De esta manera se tiene un predominio de orientaciones NW-SE y NE-SW que al parecer están actuando como un par de fallas conjugadas, en un ambiente de fallamiento lateral. Así, se tiene la formación de estructuras tensionales (cuencas o grabens de tensión), formados a partir de los movimientos laterales derechos de los bloques I y IV, produciendo con su movimiento los bloques II y III. Siendo el bloque III el más fracturado y más débil a través del cual se formó la región volcánica de Tepic - Ixtlán (Fig. 14).

El movimiento de los bloques I y IV y sus resultados (formación de una cuenca tensional), puede obedecer a los movimientos de sistema lateral derecho San Andrés - Golfo de California y sus sistemas de cuencas tensionales asociados. Así, los movimientos de estos bloques posiblemente originó en forma local la Cuenca Termal de Tetitlán - Valle Verde y la zona de domos riódacíticos a riolíticos de San Pedro.

5. GEOTERMIA

5.1. Manifestaciones Hidrotermales

En la región de estudio las manifestaciones termales consisten de fumarolas, manantiales de agua caliente y pozos con termalismo (Figuras 4 y 15).

Las fumarolas se localizan en la parte alta del aparato volcánico del Ceboruco, un área se ubica en la porción SE de la pared de la caldera exterior en donde la temperatura promedio es de 85°C., en tanto que las manifestaciones de la caldera interior se presentan tanto en su porción central como en el lado oeste, y el rango de temperatura varía entre 58° y 88°C.

Los manantiales de agua caliente se distribuyen en grupos o como fuentes aisladas; así de norte a sur de la región, se tienen: a los que emanan en la parte norte de la Caldera de Tepic cuyas temperaturas van de los 36 a los 37°C; sobre el arroyo Trapichillo (aproximadamente a 7 kilómetros al NW de Tepic) se tienen dos manantiales separados entre si 3 km, con temperaturas de 27 y 34°C; En la zona de Buckingham a 7 y 12 km al NE del Volcán Sangangüey se encuentran dos manantiales con temperaturas de 31°C ;En la Quemada, a 5 km al W se localizan varios manantiales cuyas temperaturas van de 36 a 37°C; a 8 km al NNW de Hostotipaquillo emergen dos manantiales con temperaturas de 29 y 38°C y finalmente el grupo de emanaciones termales que afloran en forma radial a la zona del domo San Pedro en su porción sur, desde Chapalilla - Valle Verde - Amado Nervo, los que en número consisten en la mayor concentración de la región con un rango de temperatura que varía de 26 a 48°C, así como tres pozos para riego de 28 a 30°C, perforados en el Valle de Compostela.

En el caso de las manifestaciones consideradas como fuentes aisladas, están la de la porción oeste de la Laguna de Santa María del Oro con una temperatura de 26°C; en la rancharía de La Galinda, 5 km al NE del Volcán Tepeltitic se tiene la presencia de una con 31°C; en la margen izquierda del Río Grande de Santiago, 15 km al NE de Santa María del Oro, una manifestación tiene 61°C; el manantial de La Sidra 7 km al E de Ixtlán del Río tiene 32°C; en la margen izquierda del Río Grande de Santiago 15 km al NW de Hostotipaquillo brota un manantial con una temperatura de 60°C; al NE de Las Palmas existe un manantial con 42°C; en Amatlán de Cañas las emanaciones con un fuerte caudal tienen temperaturas de 79°C; a 5 km al E de San Marcos, Jal., existe un manantial con 31°C y la de Santa Cruz de Camotlán tiene 70°C.

5.2. Alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal en la región se localiza en algunas zonas fracturadas sujetas a emplazamientos de cuerpos mineralizantes, como los intrusivos en las Sierras El Guamuchil y Jolapa, o zonas de intensa actividad volcánica, zona de Tequepexpán y en las calderas del Volcán Ceboruco (Fig. 4).

Así, dicha alteración consiste principalmente de caolinización y silicificación.

La mayor alteración hidrotermal se manifiesta en las rocas ácidas de la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental siendo su mayor ocurrencia a lo largo del sistema de fracturas de dirección NW-SE y NE-SW. En el área de Tequepexpán a Jala, esta alteración generalmente se presenta como silisificación, así como algunos horizontes caolinizados con abundantes cristales de pirita; observándose en muestras de canal extraídas durante la perforación del pozo para agua construido en la población de Tequepexpán, que la alteración continúa a una profundidad de 200 metros.

En la Sierra El Guamuchil, la alteración se presenta generalmente a través de las estructuras NW-SE, observándose que la mineralización de las vetas permite la extracción en pequeñas cantidades de oro y plata.

En la zona termal de Amatlán de Cañas la alteración hidrotermal está constituida principalmente por depósitos de sinter, sílice y óxidos.

En la zona de Tetitlán-Valle Verde, que es la zona de mayor concentración de manantiales, no existe evidencia de una fuerte alteración sobre las rocas de las que emanan los diferentes manantiales hidrotermales, aunque, sí se observa caolinización y propilitización en las riveras de los ríos Tetiteco y Ameca.

5.3. Relación entre la actividad hidrotermal y las estructuras

En la zona del Volcán Ceboruco la actividad fumarólica se observa en los bordes de las calderas exterior e interior, sin embargo en la caldera interior la actividad es mayor y más dispersa, asociándose algunas manifestaciones a los domos ácidos emplazados dentro de la misma.

En la zona del Domo San Pedro (Tetitlán - Valle Verde) la actividad termal está delimitada por los cauces de los ríos Tetiteco orientado NE -SW y el Tetitlán NW - SE , los cuales pueden representar estructuras importantes, la mayoría de las manifestaciones emanan de tobas pumicíticas, las cuales vulcanológicamente se pueden asociar al emplazamiento de domos riódacíticos y riolíticos con edades que van de 2.3 m.a., hasta 160,000 años (Tabla 1).

El hidrotermalismo que se manifiesta sobre el cauce del Río Grande de Santiago esta controlado por la estructura inferida sobre el mismo, la cual presenta una orientación regional NW - SE.

En la zona termal de Amatlán de Cañas la actividad termal está controlada por estructuras (fallamiento) de orientación NW -SE en intersección con un fracturamiento NE -SW.

En forma general se puede decir que el termalismo en la región está controlado por estructuras de orientación NW-SE y NE-SW (Figura 15).

5.4. Zonas de Interés Geotérmico

Los resultados del reconocimiento geológico regional, confirman la importancia de las zonas geotérmicas seleccionadas en estudios anteriores. Definiendo la relación vulcanológica con los sistemas estructurales regionales y la importancia de estos parámetros en la formación de un yacimiento geotérmico en las zonas que enseguida se mencionan, recomendándose la continuación de los estudios exploratorios :

Zona del Ceboruco-Tequepexpan

Zona del Ceboruco-Pochotero

Zona del Domo San Pedro-Valle Verde-Tetitlán

Zona del Domo san Pedro-Compostela

Zona de Amatlán de Cañas

La Zona del Ceboruco-Tequepexpán, se localiza en la porción central de la región estudiada, las manifestaciones hidrotermales son fumarolas, las que se observan en el interior de las calderas del Volcán Ceboruco; mientras que en el área de Tequepexpán, al NW del volcán, se encuentra la mayor área de alteración hidrotermal de la zona (Plano 3). El vulcanismo, como ya se mencionó es muy reciente, además de que los sistemas estructurales más importantes son de dirección NW-SE y NE-SW. La actividad volcánica, está representada por flujos de lava, conos cineríticos, pequeños volcanes monogenéticos, derrames dacíticos y un emplazamiento de pequeños domos dacíticos en el segundo cráter del volcán Ceboruco (Plano 3 y Sección 2). De acuerdo a la evolución vulcanológica de la zona y a la alteración hidrotermal, las posibilidades de encontrar un yacimiento geotérmico somero son escasas, debido principalmente a que el avance de los estudios no permite localizar en el subsuelo la cámara magmática que dió origen al volcán y a sus últimos derrames.

La Zona del Ceboruco-Pochotero, se localiza en las inmediaciones del Volcán El Ceboruco (entre su flanco SE y la población de Jala). Dicha zona carece de manifestaciones hidrotermales, sin embargo tiene el emplazamiento de domos de carácter ácido y de una edad reciente (Cuaternario), los cuales están alineados con otros aparatos en dirección NW-SE.

La Zona del Domo San Pedro- Valle Verde-Tetitlán, se localiza en la porción centro-occidental de la región , en esta zona es en donde se concentra el mayor número de manantiales hidrotermales, así como el emplazamiento de domos riódacíticos recientes (0.160 m.a). La ocurrencia del vulcanismo fué producto de la debilidad causada en la zona por la intersección de los sistemas estructurales regionales. Por otro lado el vulcanismo diferenciado y extrabasado en forma dómica es característico de un magmatismo somero. Los mayores indicadores de actividad geotérmica desde el punto de vista geoquímico (B, SO_4 y Cl^-) se detectaron en los manantiales localizados en esta zona (Plano 1).

La Zona del Domo San Pedro-Compostela, esta ^{*}zona se localiza en la porción NW de la región , en la cual se encuentran también, una serie de manantiales y pozos termales con temperaturas de $31^{\circ}C$ y un vulcanismo caracterizado por el emplazamiento de domos riolíticos con edades de 2.3 ± 0.5 m.a., a posiblemente Cuaternarios , si bien no son tan recientes, también se puede localizar una fuente de calor a profundidades someras.

La Zona de Amatlán de Cañas se localiza en la parte SSW de la región estudiada, en ésta zona el hidrotermalismo presente es muy puntual, ya que se trata de varios manantiales con alta temperatura (79°C) los que posiblemente están relacionados tanto a la presencia del sistema estructural de dirección NW-SE, como con un fracturamiento NE-SW y seguramente con el emplazamiento de cuerpos intrusivos recientes. La composición química de los manantiales son de tipo sulfatado sódico, con concentraciones de boro de 10.8 mg/l ello indica un agua de origen profundo (Fig. 4).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos plantados para el reconocimiento geológico regional del Graben Tepic-Chapala en su porción Tepic-Ixtlán del Río, Nay., se puede decir que los aspectos de cartografía e importancia geotérmica de la región fueron cubiertas casi en su totalidad.

Algunos autores opinan que los eventos magmáticos del Oligoceno-Mioceno en la región, corresponden a la subducción de la placa Farallón (en una fase compresiva) y al inicio de la apertura del Golfo de California (en su fase distensiva); en tanto que el vulcanismo Plio-Cuaternario corresponde a la continuación de la apertura del Golfo de California y a los movimientos de subducción de la Placa de Cocos.

En la región la actividad volcánica ha estado actuando casi en forma continua desde el Oligoceno, con el evento que construyó a la Sierra Madre Occidental, hasta el reciente (hace 120 años) con el último derrame del Volcán Ceboruco.

El vulcanismo Plio-Cuaternario de la región es de composición ácido-intermedio y su extrusión está controlada principalmente por estructuras regionales de rumbo NW-SE (zonas de debilidad cortical).

Los eventos intrusivos en la región han originado en las rocas terciarias, un metamorfismo de contacto de bajo grado.

Durante los recorridos de campo e interpretación tectono-estructural, se encontraron elementos que sustentan la presencia del Graben de Tepic-Chapala en esta región; así, su límite Norte está representado por la estructura que actualmente forma el Río Grande de Santiago, en tanto que su límite Sur está dado por el contraste morfológico entre el valle de Amatlán de Cañas y las Sierras de Zapotán y Jolapa, quedando en el centro del mismo una serie de bloques de la Sierra Madre Occidental formando la Sierra El Guamuchil y algunos lomeríos dispersos y basculados.

Las estructuras principales que afectan a la región tienen orientaciones NW-SE y NE-SW, y tanto las manifestaciones volcánicas como las hidrotermales, aprovechan el cruce de las zonas de debilidad formadas por ambos patrones para manifestarse en superficie. De acuerdo a las características litológicas, morfológicas y estructurales, en la región se han definido cuatro bloques tectónicos con características geológicas propias.

En la región la mayoría de las manifestaciones hidrotermales consisten de manantiales de agua caliente, existiendo también algunos pozos termales y las fumarolas del Volcán Ceboruco.

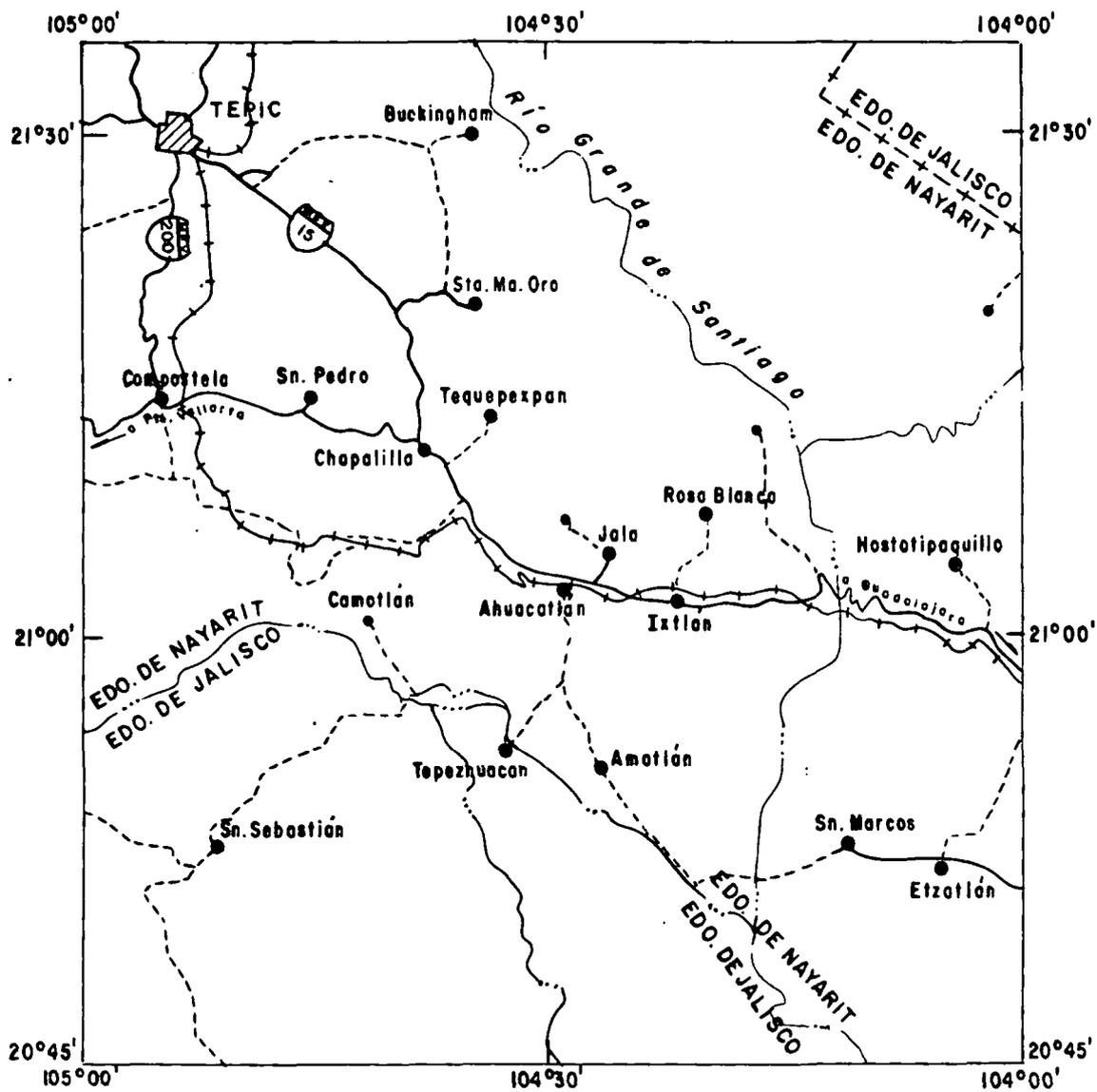
La alteración hidrotermal consiste principalmente de caolinización y silicificación y su más amplio desarrollo ocurre en las rocas ácidas de la Sierra Madre Occidental, estando su mayor exposición en la zona de Tequepexpan.

Se recomienda, de acuerdo a las características geológicas regionales, que las zonas de interés geotérmico para estudios exploratorios: la de Ceboruco-Tequepexpan; Ceboruco-Pochotero; Domo San Pedro-Valle Verde-Tetitlán; Domo San Pedro-Compostela y Amatlán de Cañas.

BIBLIOGRAFIA

- Castillo, H.D. y Romero, R.F., 1991. Estudio Geológico Regional de Los Altos, Jalisco y El Bajío, Guanajuato. Informe 2/91. CFE. Inédito.
- Cedillo, R.F. y Lira, H.H., 1985. Reconocimiento y Evaluación Geológica de Los Recursos Geotérmicos del Estado de Nayarit. Informe 49/85. CFE. Inédito.
- De la Cruz, M.V. y Castillo, H.D., 1987. Reconocimiento Geológico de la Zona Termal de Tetitlán - Valle Verde, Nay. Informe 11/87. CFE. Inédito.
- De la Cruz, M.V. y Castillo, H.D., 1987. Estudio Geológico-Estructural de la Zona Termal Las Cuevas, Nay. Informe 22/87. CFE. Inédito.
- Demant, A., Mauvois, R. y Silva, L., 1976. El Eje Neovolcánico Transmexicano. III Congreso Latinoamericano de Geología. Inst. Geol. U.N.A.M. Excursión Núm. 4.
- Demant, A., 1979. Vulcanología y Petrografía del Sector Occidental del Eje Neovolcánico. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.3, núm.1
- Demant, A., 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.2, núm.2
- Díaz, O.A. y De la Cruz, M.V., 1985. Estudio Geológico a Semi-detalle de la Zona Geotérmica del Volcán Ceboruco, Nay. Informe 15/85. CFE. Inédito.
- Gallo, P.I., 1984. Reconocimiento y Evaluación de Manifestaciones Geotermales en la porción centro-norte del Estado de Jalisco. C.F.E. Informe 8/83 Inédito.
- Luhr, J.F., Nelson, S.A., Allan, J.F. y Carmichael, S.E. 1984. Active rifting in southwestern Mexico: Manifestation of an incipient eastward spreading-ridge jump. revista *Geology*, January 1985.
1990. Les Volcans. Revista GEO un nouveau monde : la terre. No. 141. Novembre 1990.
- Nelson, S.A., 1980. Geology and Petrology of Volcán Ceboruco, Nayarit, Mexico. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 91

- Nelson, S.A. and Carmichael, I.S.E., 1984. Pleistocene to Recent alkalic volcanism in the Region of Sanganguey Volcano, Nayarit, Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.* 85
- Nixon, G.T., Demant, A., Armstrong, R.L. y Harakal, J.E., 1987. K-Ar and Geologic data Bearing on the Age and Evolution of the Trans-mexican Volcanic Belt. *Geof. Int.*, Vol. 26-1, 1987.
- Pal, V.S. Metodología para el Estudio del Cinturón Volcánico Mexicano. *Bol. iie.*, Sept/Nov., de 1990.
- Parra-Castillo, J.R., 1987. Exploración Científica del Volcán del Ceboruco de Jala, Nay. *Boletín Oficial del Gobierno del Distrito de Tepic.* 30 de Mayo de 1875.
- Quijano, L.J.L. y Chacón, F.M., 1985. Evaluación Geoquímica de la Zona Geotérmica del Ceboruco, Nayarit. CFE, Informe 1-85 inédito.
- Soto, G.M.A. y Ortega, M.J.G., 1982. Geología del Río Santiago en los Estados de Jalisco y Nayarit, México. CFE. Depto. de Geología y Minería.
- Tovar, A.R., 1987. Evaluación Geoquímica de la Zona Geotérmica de Tetitlán - Valle Verde, Nay. CFE, Informe 14 /87 Inédito.
- Tello, H.E., 1985. Reconocimiento y Evaluación Geoquímica de Zonas Termales del Estado de Nayarit. Informe 53/85. CFE. Inédito.
- Urrutia, F.J., 1988. Rotación de Bloques en Sistemas de Fallas de Desplazamiento Lateral - Cuencas Tensionales. *Rev. Geofís. Int.*, Vol. 28-5, 1989.



SIGNOS CONVENCIONALES

- | | | | |
|-------|-------------|-----------|----------------|
| — | Carretera | | Ciudad |
| - - - | Terracería | ● | Población |
| + + + | Ferrocarril | + - - - + | Límite Estatal |
| ~ ~ ~ | Río | | |

FIG. 1.-LOCALIZACION DE LA REGION DEL GRABEN DE TEPIC-IXTLAN, NAY.

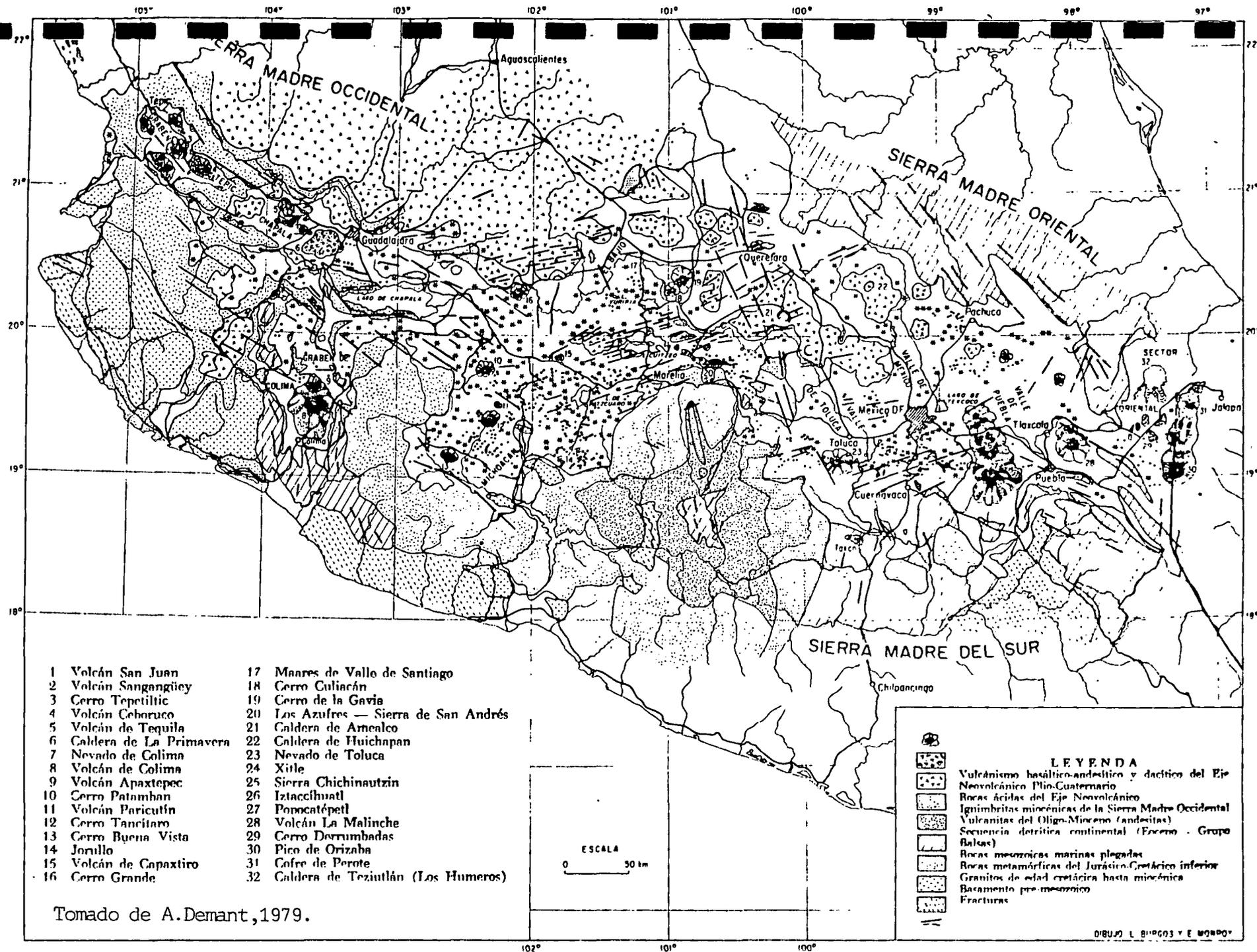


FIGURA 2 . MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DEL EJE NEVOLCÁNICO TRANSMEXICANO

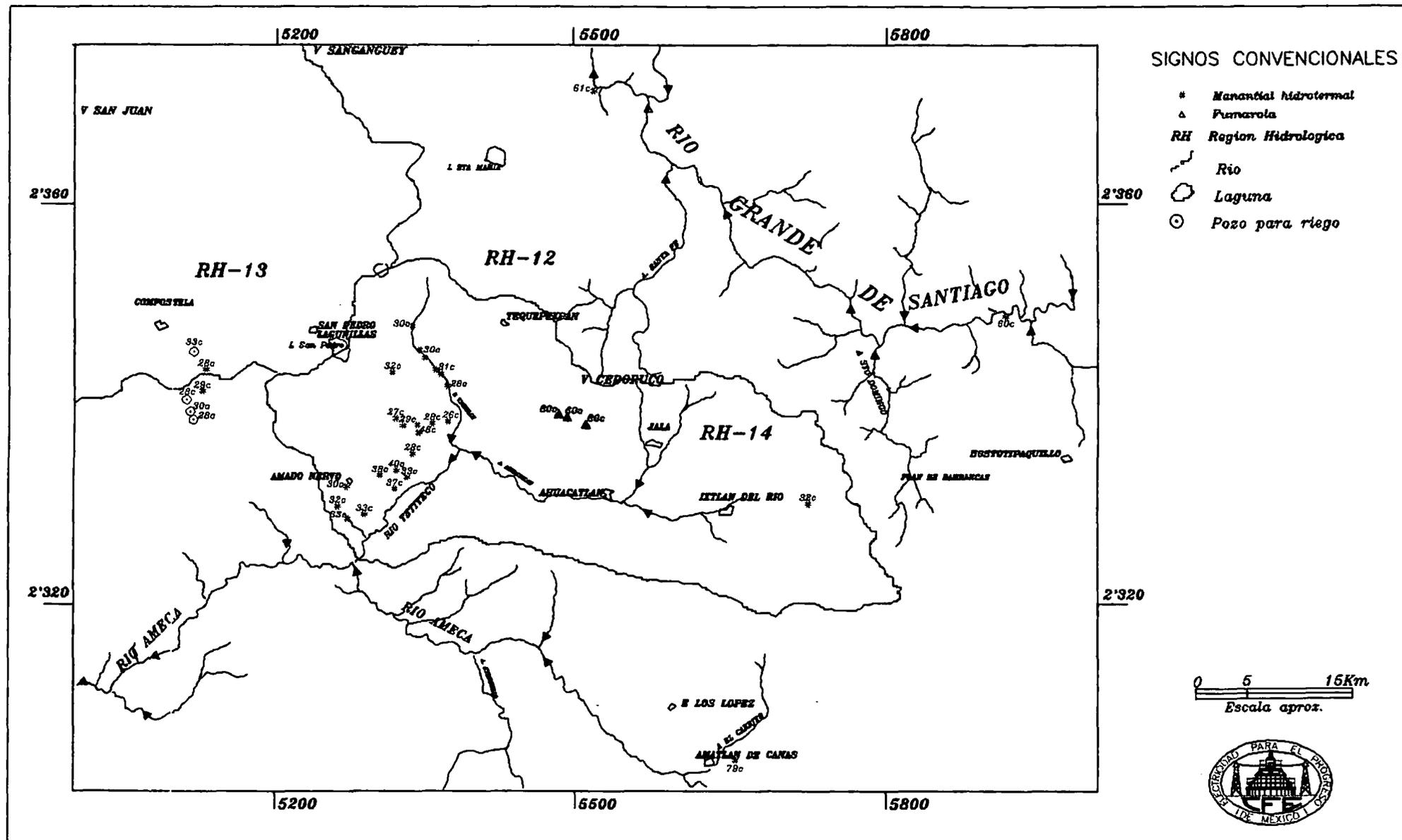


Fig. 3 Regiones Hidrologicas

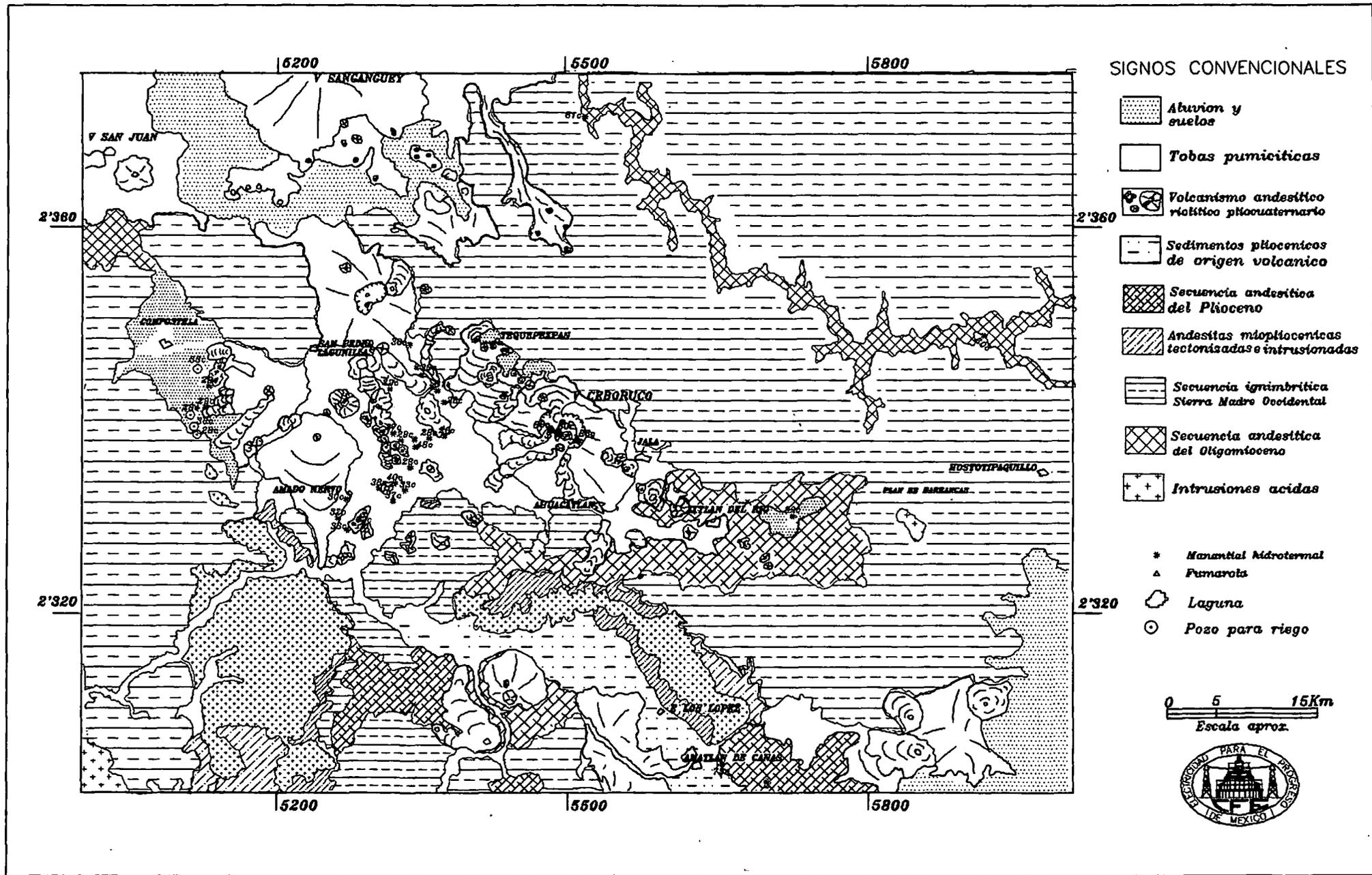


Fig.4 Geología Regional del graben Tepic-Ixtlan del Rio, Nay.

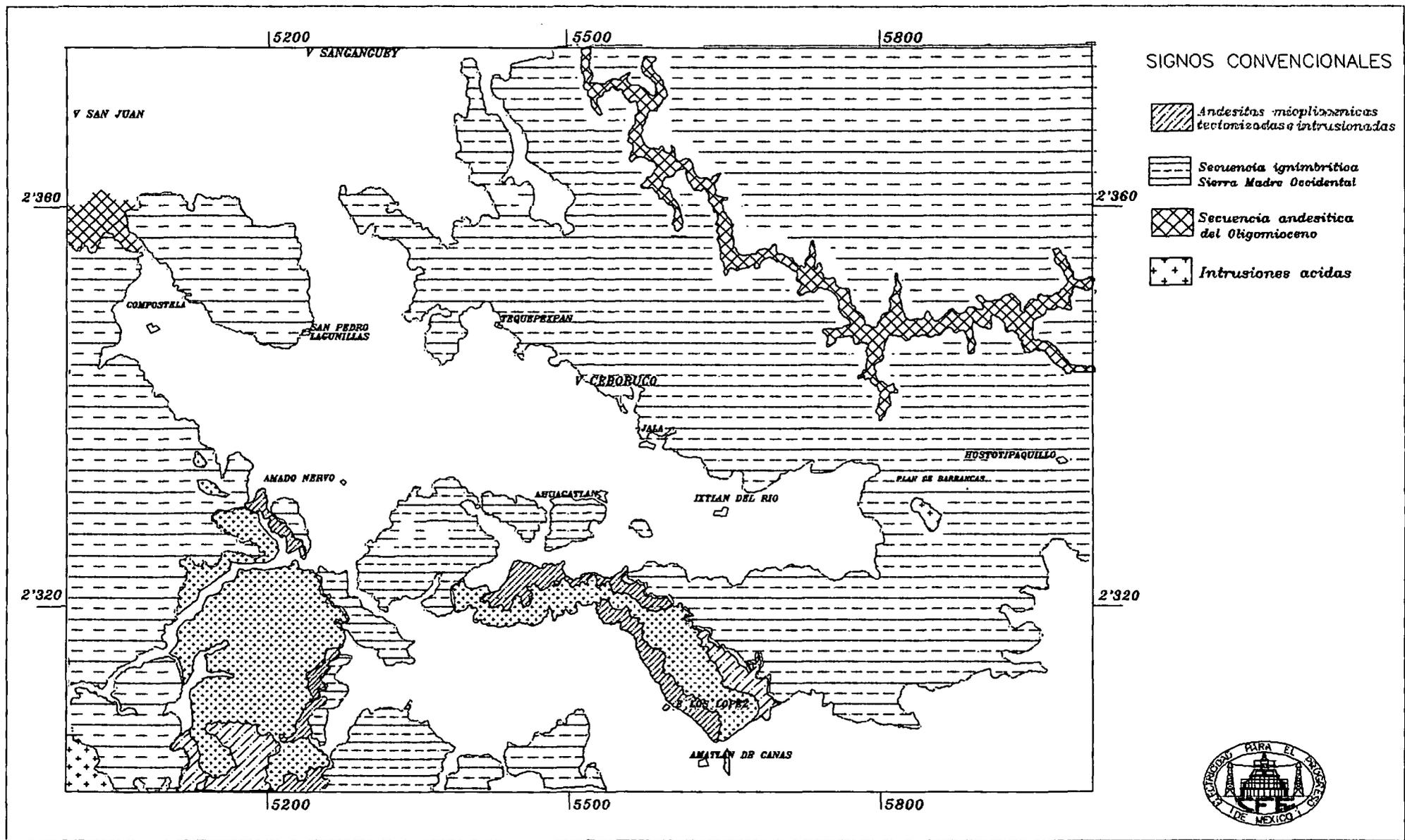
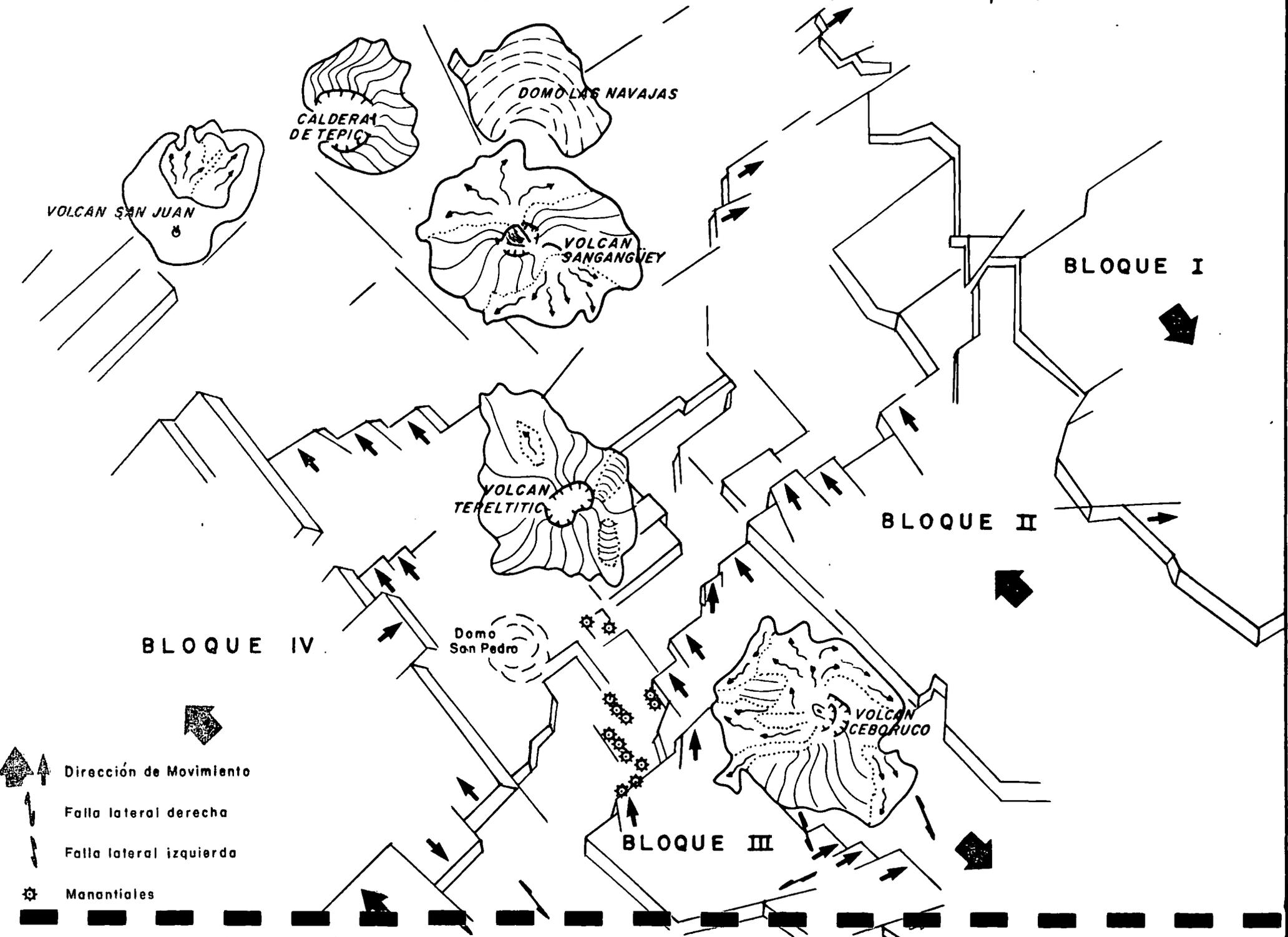


FIG. 5. SECUENCIA LITOLÓGICA DEL TERCIARIO

FIG. 7.- MOVIMIENTOS DE BLOQUES EN LA REGION VOLCANICA DE TEPIC-IXTLAN, NAY.



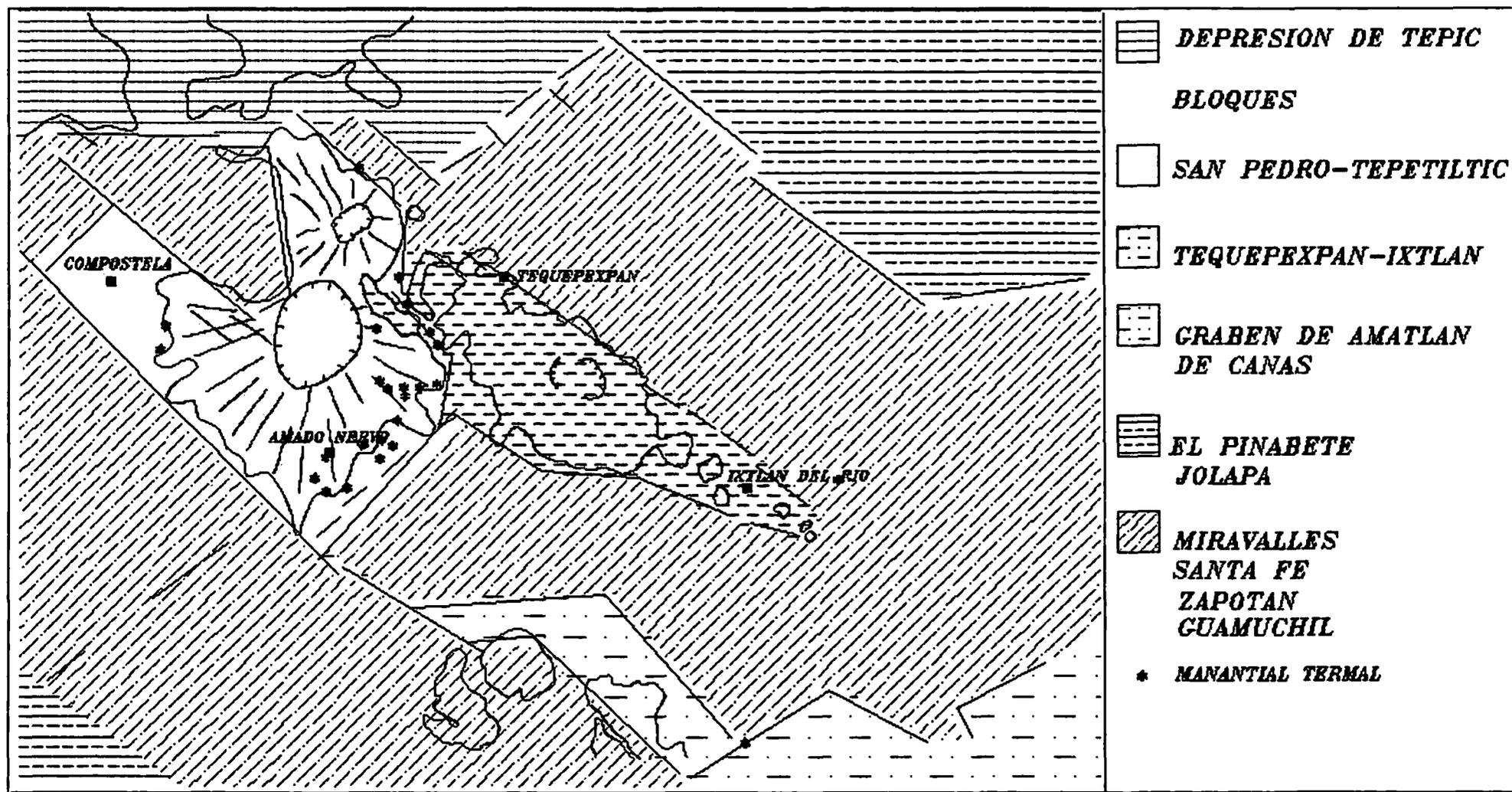


FIG. 7A. MODELO EN BLOQUES

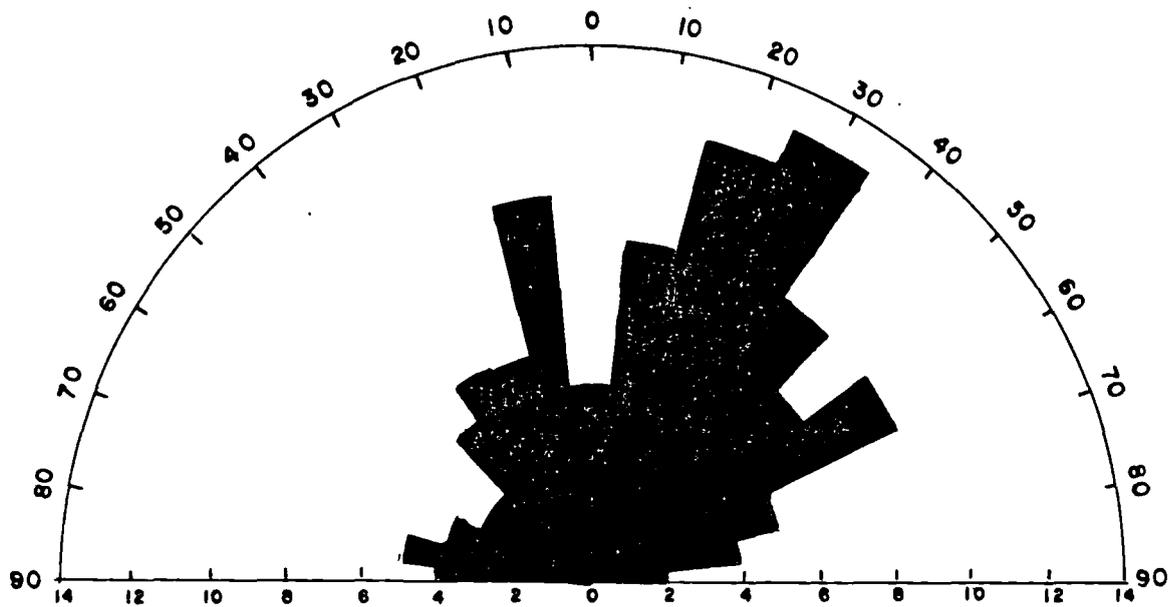


FIG. 8.- ESTADISTICA DEL FRACTURAMIENTO EN EL BLOQUE II

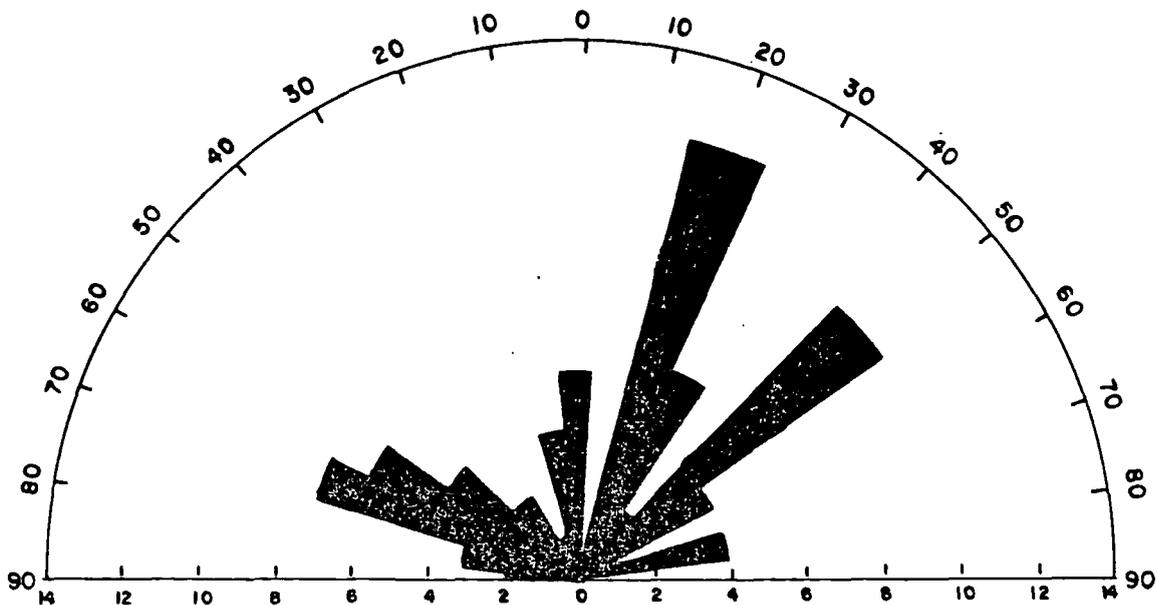


FIG. 9.- ESTADISTICA DEL FRACTURAMIENTO EN EL BLOQUE III

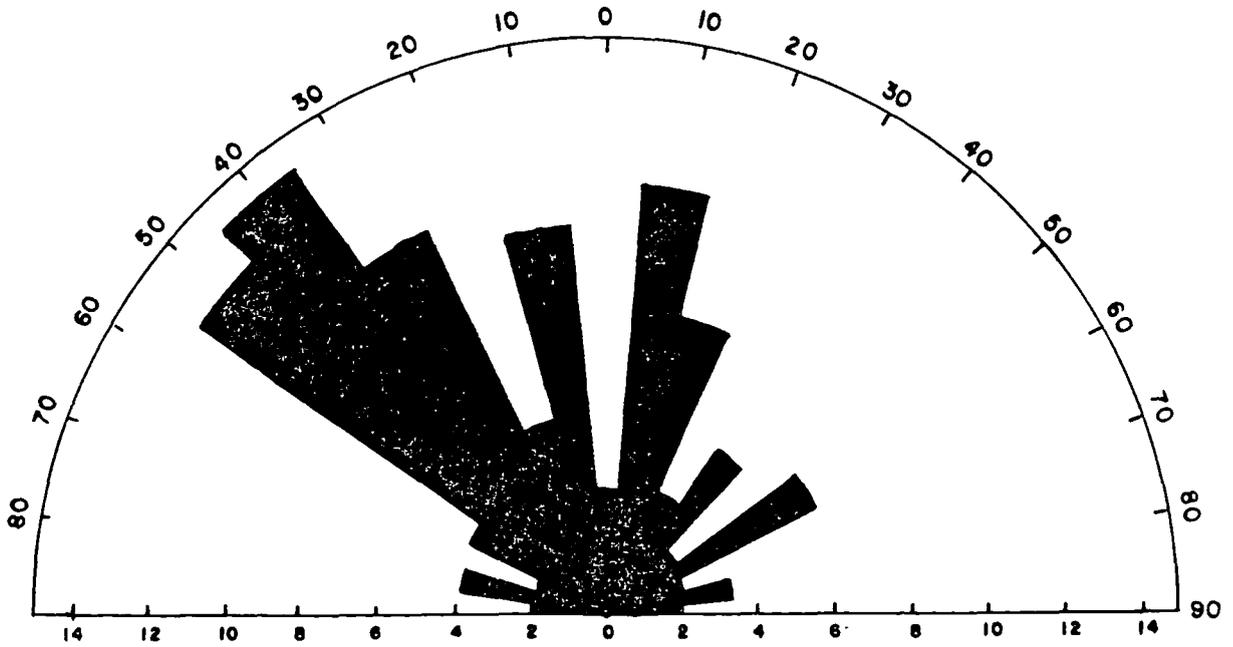


FIG. 10.- ESTADISTICA DEL FRACTURAMIENTO EN LA SIERRA EL GUAMUCHIL

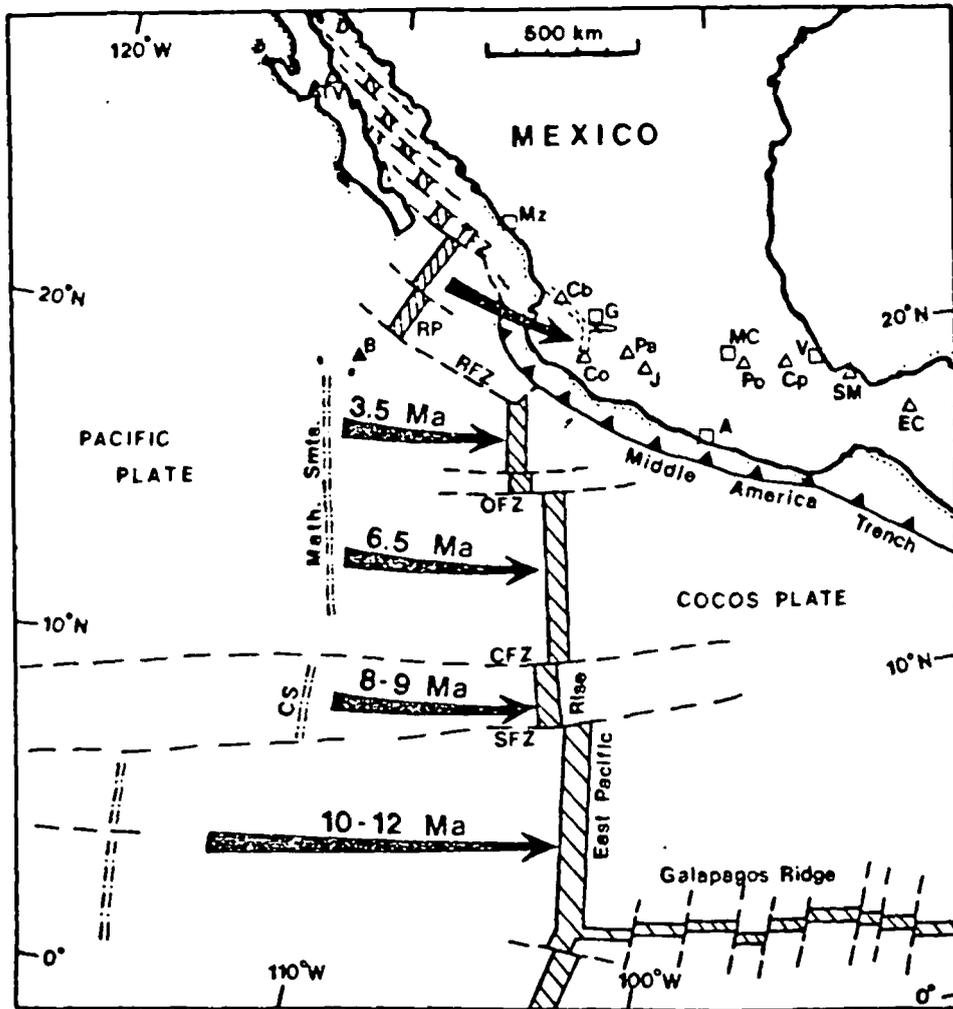
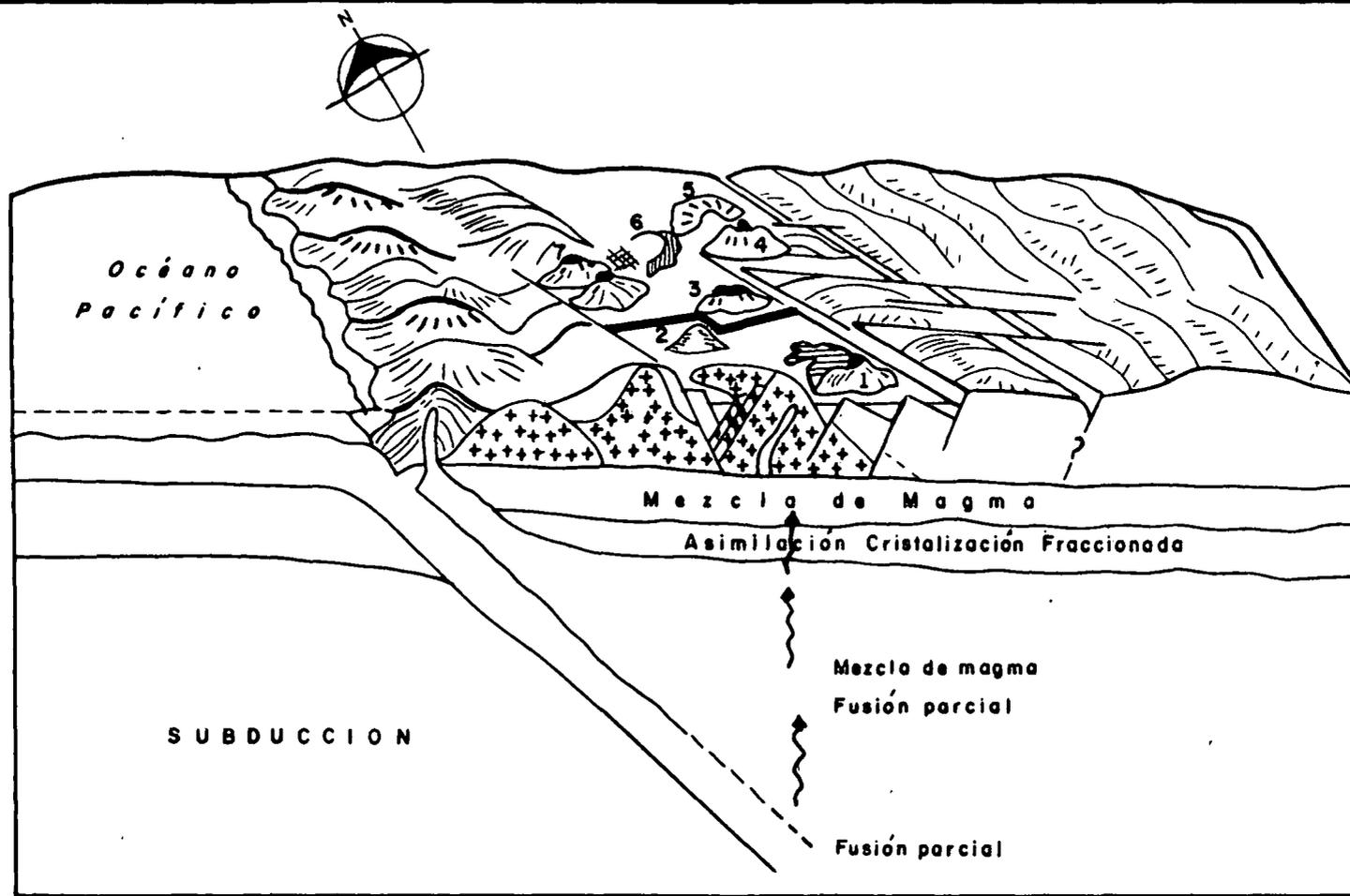


Figure 1 Generalized map of Mexico and adjacent Pacific Ocean basin with tectonic features taken from Drummond (1981). Diagonal-rule areas = spreading ridges. Dashed lines = fracture zones: TFZ = Tamayo fracture zone, RFZ = Rivera fracture zone, OFZ = Orozco fracture zone, CFZ = Clipperton fracture zone, SFZ = Siqueiros fracture zone. Large arrows indicate spreading-ridge jumps at 10-12 Ma, 8-9 Ma (from Van Andel et al., 1975), 6.5 Ma, and 3.5 Ma (from Mammerickx and Klilgord, 1982), and the ongoing spreading-ridge jump discussed in this paper. Double dash-dot lines show former spreading ridges. Math. Smts. = Mathematician Seamounts, CS = Clipperton Seamounts. Open squares = major cities. Mz = Mazatlan, G = Guadalaajara, MC = Mexico City, A = Acapulco, V = Veracruz. Open triangles = all historically active volcanoes in Mexico: TV = Tres Virgenes, B = Barcena, Cb = Ceboruco, Co = Colima, Pa = Paricutin, J = Jorullo, Po = Popocatepetl, Cp = Citlaltepetl, SM = San Martin, EC = El Chichón. Intersecting double-dash lines in western Mexican volcanic belt show the three grabens and northwestern segment of belt discussed in this paper.

Tomado de Luhr, Nelson y Carmichael, 1985.

FIGURA 1.1. MAPA GENERALIZADO DE MÉXICO Y EL BASAMENTO DEL OCEANO PACÍFICO ADYACENTE CON CARACTERÍSTICAS TECTÓNICAS SEGÚN DRUMMOND (1981).



- 1: Volcán Ceboruco
- 2: Domo San Pedro
- 3: Volcán Tepetitlic
- 4: Volcán Sangangüey

- 5: Domo las Navajas
- 6: Caldera de Tepic
- 7: Volcán San Juan

Adaptado de Les Volcans (Rev. GEO, Nov, 1990)

FIG. 12.- ESQUEMA DEL JUEGO DE LA TECTONICA DE PLACAS EN LA GENERACION DEL VULCANISMO CALCO-ALCALINO DE LA REGION DE TEPIC-IXTLAN DEL RIO, NAY.

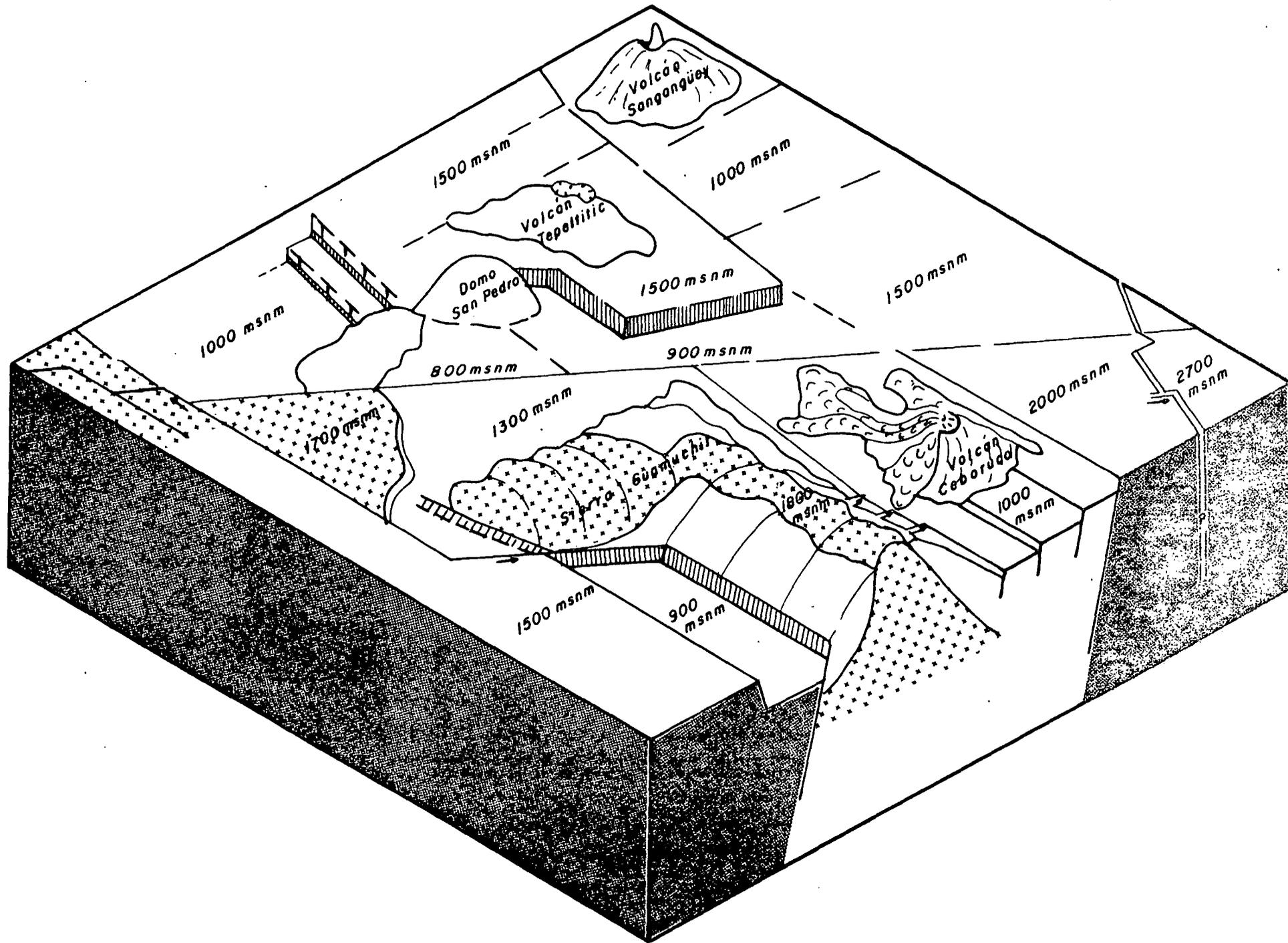


FIG. 13.- BLOQUE DIAGRAMATICO DE LA REGION DE TEPIC-IXTLAN DEL RIO, NAY.

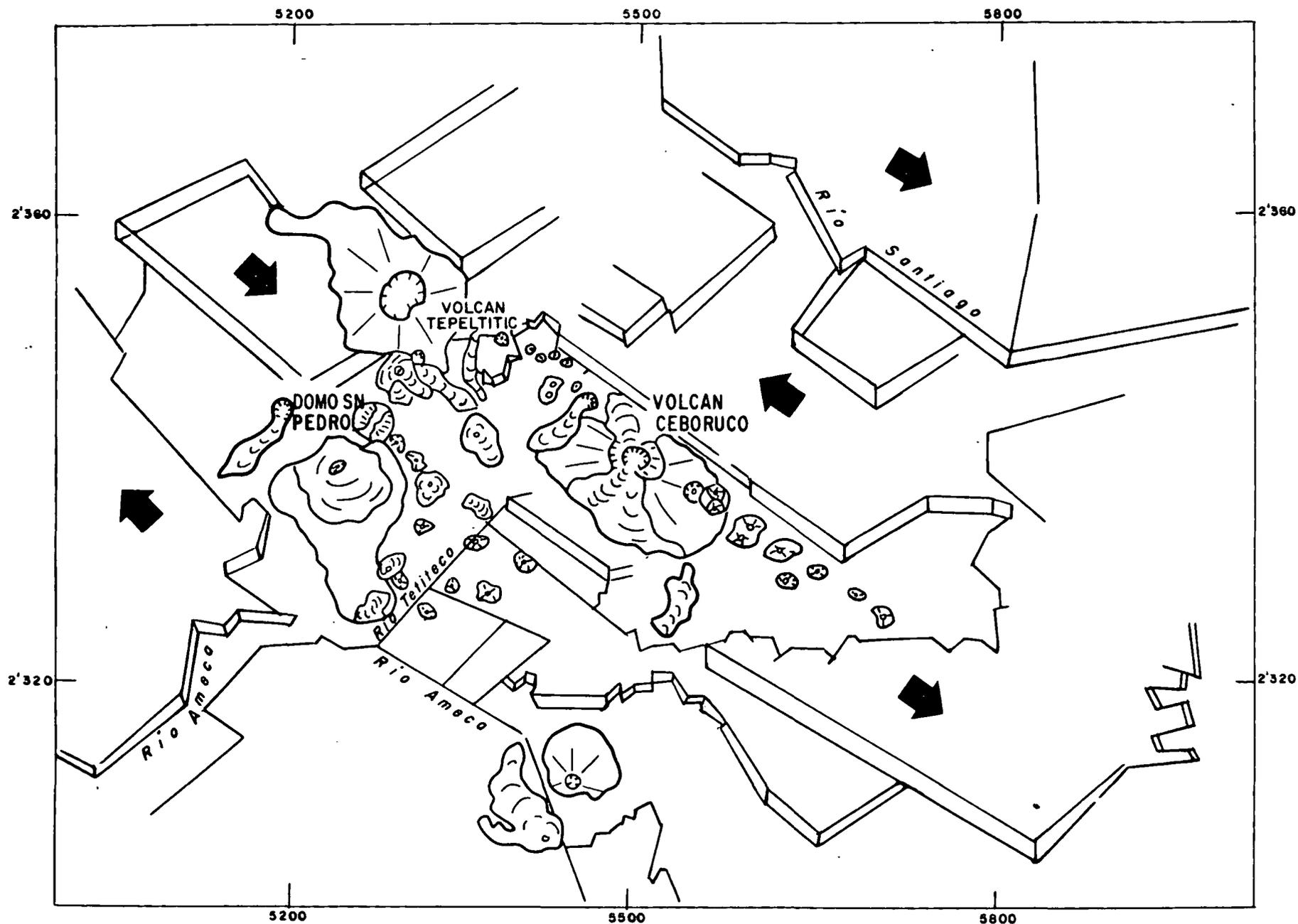
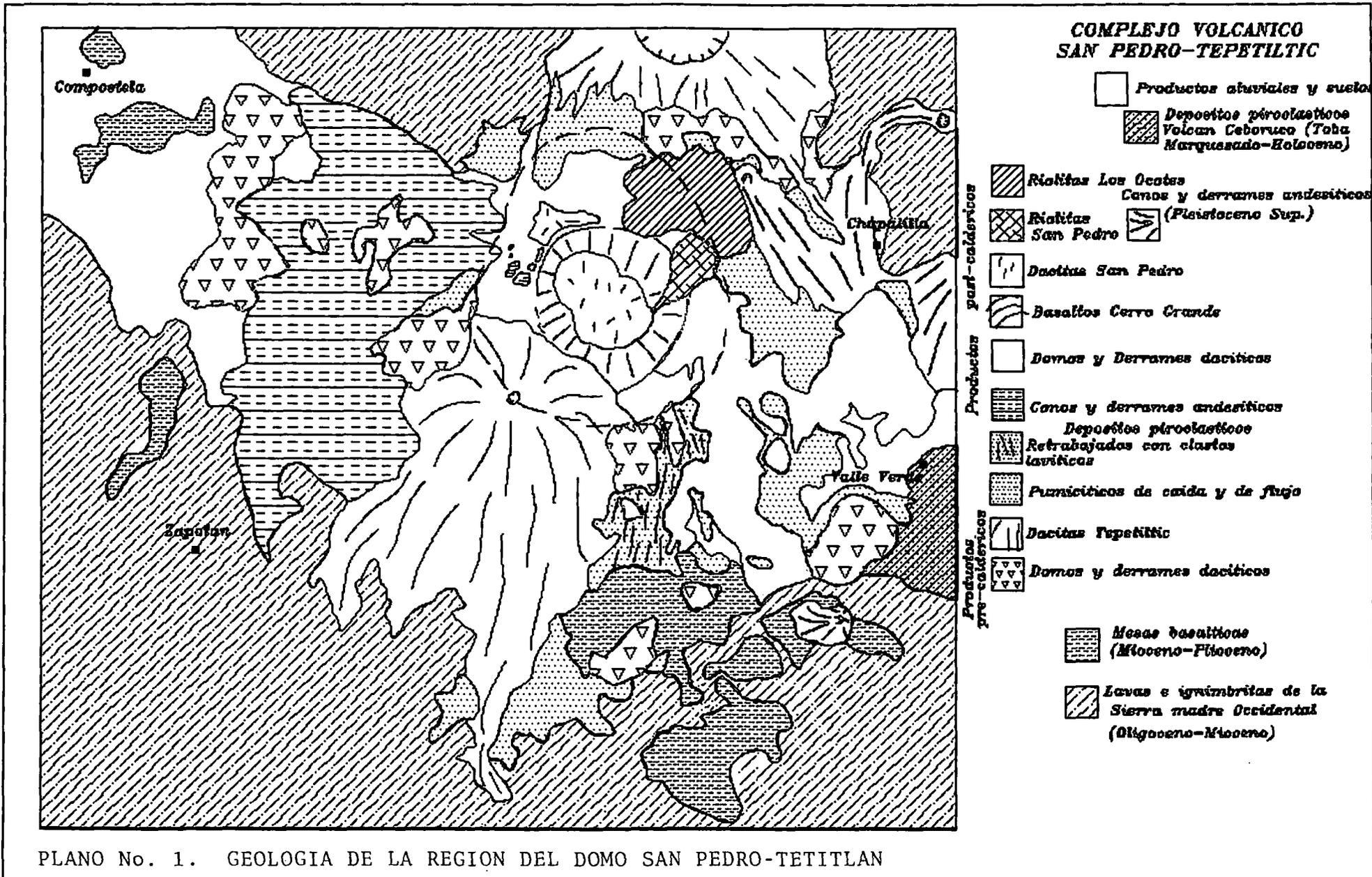
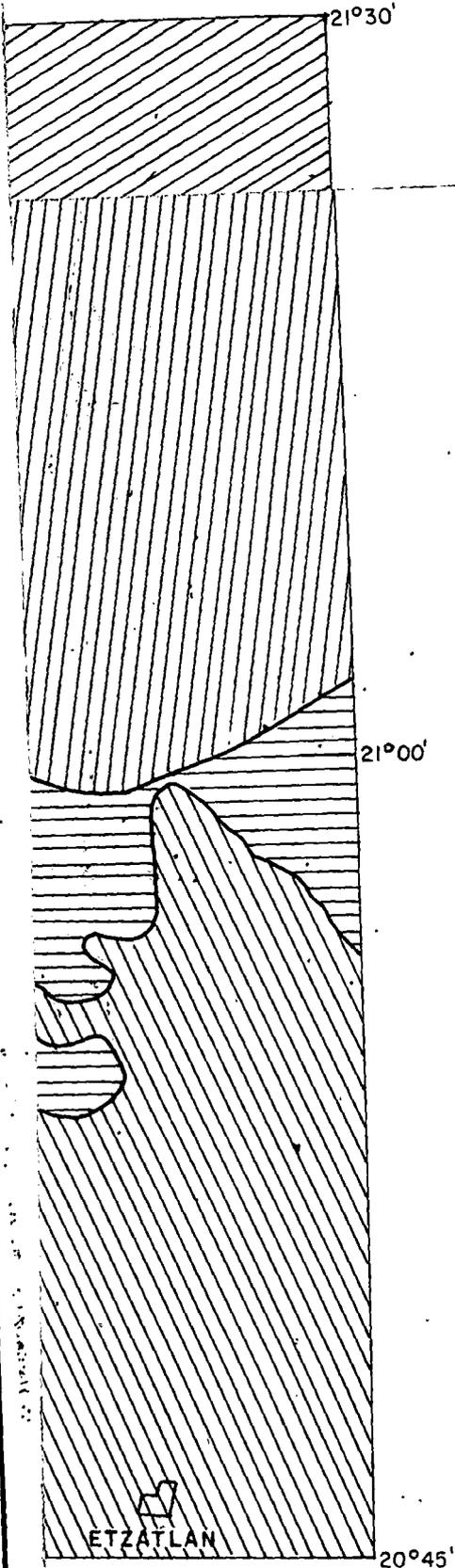


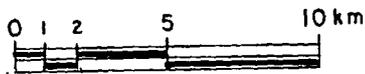
FIG. 14.- MODELO TECTONICO DE LA FORMACION DE LA CUENCA TENSIONAL DONDE SE EMPLAZA EL VOLCANISMO PLIO-CUATERNARIO DEL VOLCAN CEBORUCO DOMO SAN PEDRO



PLANO No. 1. GEOLOGIA DE LA REGION DEL DOMO SAN PEDRO-TETITLAN

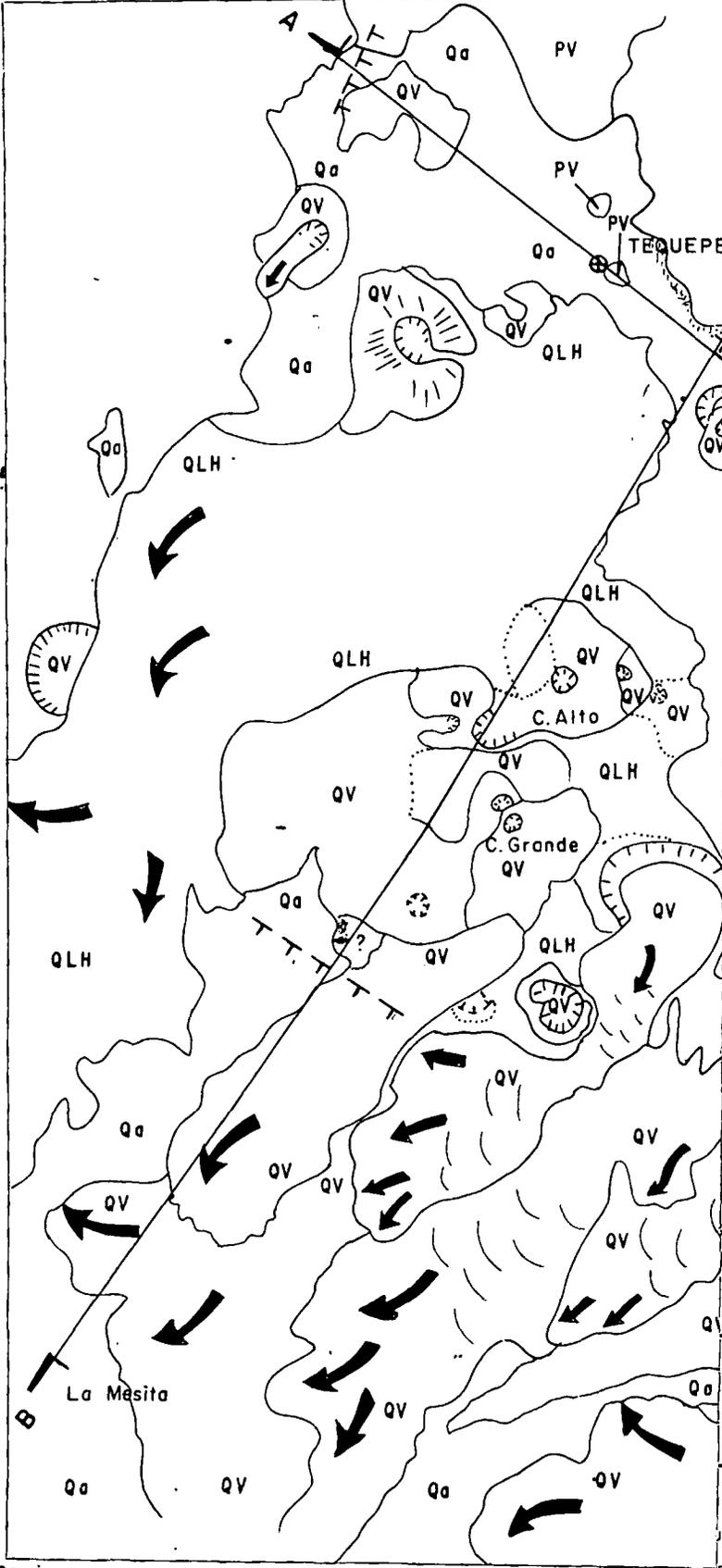


ESC. 1:250,000



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS SUBGERENCIA DE ESTUDIOS RESIDENCIA EL GEBORUCO	
BLOQUES DE LA REGION DEL GRABEN DE TEPIC - IXTLAN		
FECHA: MARZO-91	FORMO: Ings. F. Romero R. R. Saucedo G. A. Cortés C.	REVISO: _____ Ing. S. Venegas S.
PLANO: 2	APROBO: _____ Ing. J. Arredondo F.	CONFORME: _____ Vo Bo. _____ Ing. M. Ramirez G.
No DE CLASIFICACION:		

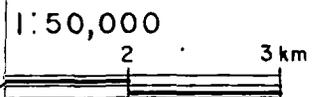
104° 39'
21° 15'



21° 08'
104° 39'

CONVENCIONALES

- o aluvión
- o lahar
- o cuaternario
- o toba tala
- o ríoflujos
- o volcánico
- o volcánica Sierra Madre
- o Tequepepan
- o de Flujo
- o alteración hidrotermal



INSTITUCIÓN DE PROYECTOS GEOTERMIOELECTRICOS
 SUBGERENCIA DE ESTUDIOS
 RESIDENCIA EL CEBORUCO

EL AREA DE TEQUEPEPAN

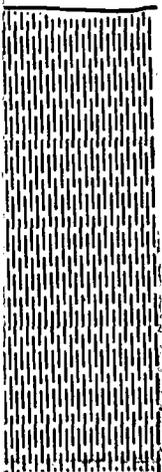
F. Ramero R.
 DISEÑADO POR: Ings. R. Saucedo G. REVISADO POR: Ing. S. Venegas S.
 A. Cortés C.
 APROBADO POR: CONFORME:
 Ing. J. Arredondo F. Vo Bo: Ing. M. Ramirez G.

ACCION:

SIGNOS CONVENCIONALES

NE

L PINACATE



COMISION
EDERAL DE
LECTRICIDAD

GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS
SUBGERENCIA DE ESTUDIOS
RESIDENCIA EL CEBORUCO

SECCIONES ESQUEMATICAS

FECHA:
MARZO 91

FORMO. Ings. R. Soude G.
A. Cortez C.

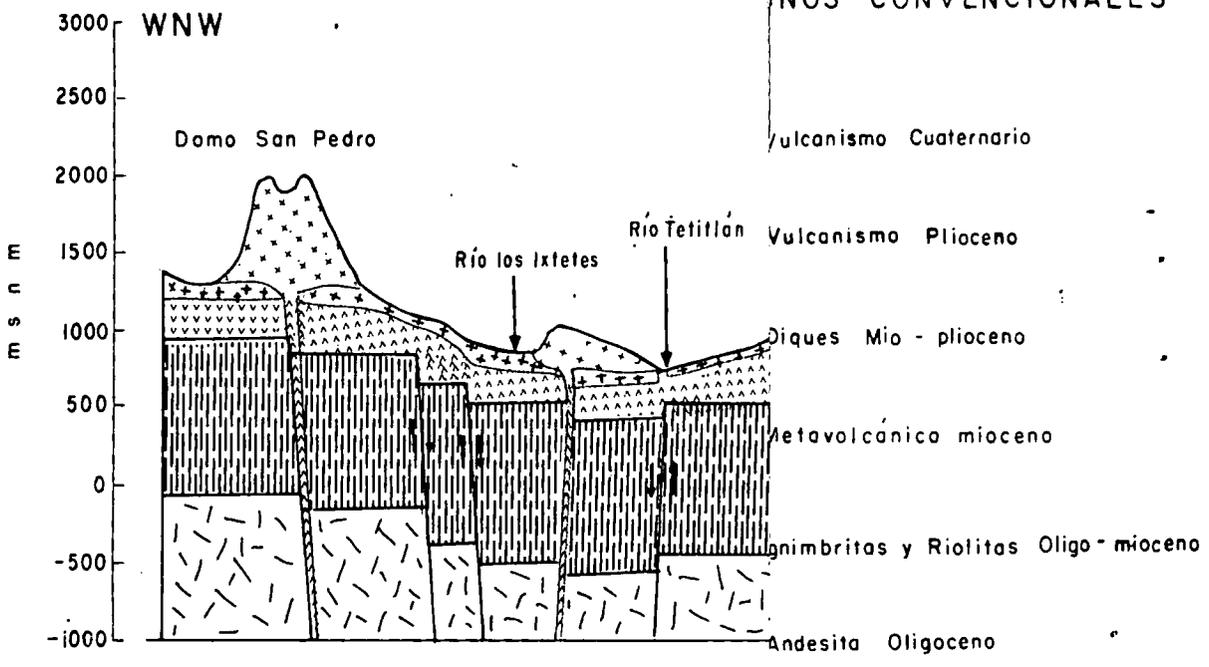
REVISO: _____
Ing. S. Venegas S.

SECCION:
I

DIBUJO: _____
APROBO: _____
Ing. J. Arredondo F.

CONFORME: _____
Vo. Bo. _____
Ing. M. Ramirez G.

No. DE CLASIFICACION:



NOS CONVENCIONALES

Vulcanismo Cuaternario

Vulcanismo Plioceno

Diques Mio - plioceno

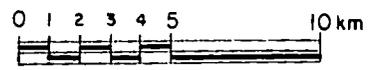
Metavolcánico mioceno

Ignimbritas y Riolitas Oligo - mioceno

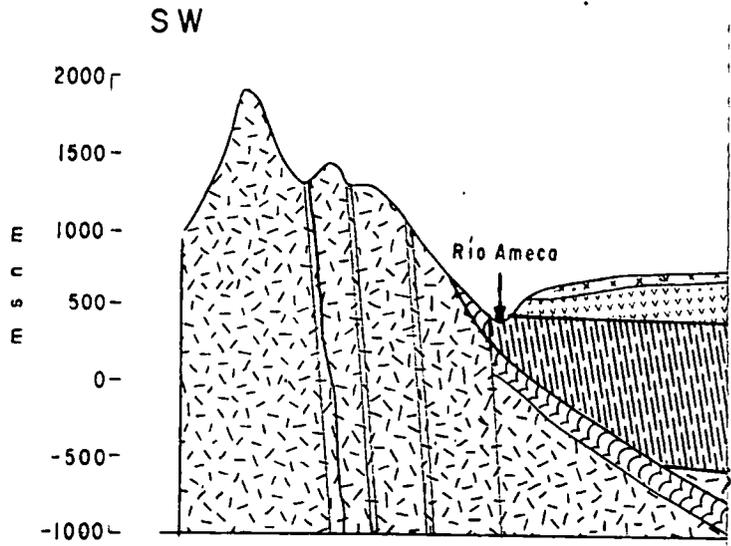
Andesita Oligoceno

Intrusivo Cretácico - Terciario - Medio

Falla normal



Escala Hort. 1:250,000



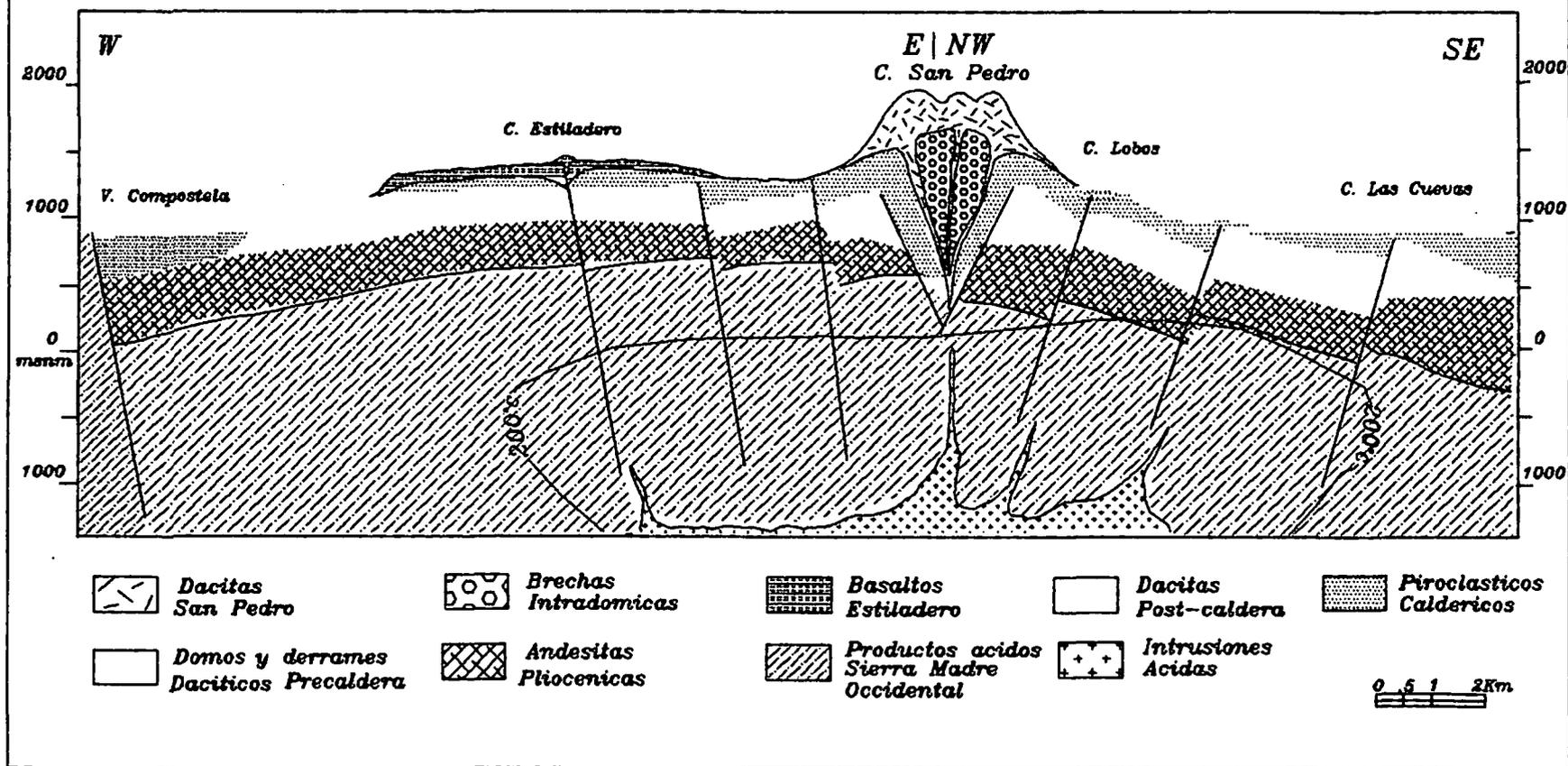
DE PROYECTOS GEOTERGOELECTRICOS
SUBGERENCIA DE ESTUDIOS
SIDENCIA EL CEBORUCO

SECCION GEOLOGICA
EN PEDRO - VOLCAN CEBORUCO
TETITLAN

RZO-91

FORMO: F. Romero R.

Sección Geológica viendo al Norte - Noreste



SECCION 5. GEOLOGIA DEL DOMO SAN PEDRO

REVISION DE LOS TRABAJOS EXPLORATORIOS DE LA ZONA VOLCAN
CEBORUCO-DOMO SAN PEDRO, NAY.

Por: Ing. Saúl Venegas Salgado.

14/08/91.

GEOLOGIA REGIONAL

De los trabajos de geología regional se encontró lo siguiente:

- En la secuencia estratigráfica habrá que definir la posición de los intrusivos en la zona, su forma de emplazamiento y su relación con las rocas encajonantes.
- La secuencia de las rocas verdes de metamorfismo regional posiblemente sea una secuencia muy antigua y su metamorfismo debe ser dinámico y no producto de la intrusión
- Falta definir el comportamiento estructural de la fosa.- Aparentemente las estructuras NW-SE son antiguas y si existe un sistema extensional NE-SW, éste debe ser el sistema productor del vulcanismo.

GEOLOGIA DE DETALLE

- Es necesario definir los bloques de la secuencia de la SMO dentro de la zona del Domo San Pedro-Tetitlán-Valle Verde, ya que su existencia dentro del bloque más hundido, deben dar forma a la estructura del basamento en este bloque.
- La altitud de la planicie donde se emplazó el Domo San Pedro con respecto a los valles de Compostela y Tetitlán Valle Verde, morfológicamente debe significar geológicamente un comportamiento anómalo dentro del bloque hundido.

15/08/91.

Se efectuó un recorrido sobre el camino de terracería que conduce a Amatlán de Cañas para comprobar la existencia de las rocas verdes y el contacto de las intrusiones.

- De lo observado, se concluye que lo mapeado como rocas verdes de metamorfismo regional en realidad corresponde a una serie escalonada del graben que afecta a la secuencia andesítica vieja y que produce un tectonismo distensivo y localmente compresivo. Hacia el valle de Amatlán las andesitas están metamorfasadas e intrusionadas por diques de composición graboica, el contacto sí corresponde a rocas verdes, pero no es de la extensión que se indica en el mapa regional, habrá que modificar el contacto.
- Se concluyó de que debido a la altitud de la Sierra del Guamuchil, debe considerarse como límite del graben Tepic-Chapala y considerarlo diferente al graben de Amatlán el intrusivo deberá reconsiderarse en su extensión porque la brecha no lo corta.

De la Zona del Domo San Pedro.

- Se considera que los afloramientos mapeados como remanentes de la SMO, en el área de la Laguna son flujos de ceniza? con bloques de composición dacítica y los observados en el C. Lobos son remanentes de un domo dacítico.
- Los afloramientos mapeados como andesitas del plioceno cerca del volcán Cerro Grande, en realidad corresponden a rocas dacíticas que por su morfología parecen representar los eventos magmáticos de un volcán enorme o eventos precaldéricos asociados a una caldera antigua.
- Los derrames del volcán Cerro Grande subyacen al Domo San Pedro; este enorme derrame se considera, como originalmente se planteó en estudios anteriores, que se formó en el borde de la antigua caldera, siendo un conducto profundo que no alcanzó a diferenciarse.

- Hacia la zona del volcán Tetillas, se observó el borde de la caldera y un escalamiento que afecta al volcán.

Del análisis de las fotografías aéreas, se observó que existen dos estructuras caldéricas, una antigua y erosionada, cubierta por los eventos poscaldéricos como el Cerro Grande, Tetillas y Lobos, al emplazamiento del Domo San Pedro, se observa un nuevo colapso caldérico cortando al cerro Lobos.

Para obtener el modelo geológico, será necesario reinterpretar la geología de la zona, con la finalidad de obtener la secuencia vulcanológica de los eventos precaldéricos y post-caldéricos.

LOCALIZACION DE POZOS DE GRADIENTE

1. Domo San Pedro.- Por el camino que conduce a San Pedro Lagunillas y a una altura de 1280 msnm, dentro de la estructura caldérica con la finalidad de medir si existe aún gradiente térmico relacionado a la estructura y que ésta funcione como fuente de calor.
2. Las Cuevas.- Cerca de los manantiales de agua caliente
3. Uzeta.- Por el camino de terracería que conduce a los Chiltes, con la finalidad de confrontar el gradiente térmico entre el bloque hundido de San Pedro-Tepeltitic y el bloque de la Sierra el Guamuchil.
4. Sta. Isabel.- En el límite entre los bloques de San Pedro-Tepeltitic y el de Tequepexpan-Ixtlán del Río.
5. Cerro Bartolinas.- Por el camino de terracería a San Pedro Lagunillas lo más cerca posible del Cerro Bartolinas para confirmar si los manantiales son descarga del sistema geotérmico relacionado a la Caldera.

La geotermometría indica que posiblemente estamos en una zona de aguas periféricas o de circulación profunda y lejos de la fuente de calor.

Dependiendo de los resultados de los cinco pozos perforados se decidirá cual de ellos se profundizará.