

## *PSEUDOSECCIONES GEOELECTRICAS E IMPLICACIONES GEOHIDROLOGICAS EN EL VALLE DE COLIMA*

HECTOR LOPEZ LOERA\*  
y CARLOS GUTIERREZ\*\*

### RESUMEN

Las respuestas resistivas de diferentes emisiones lávicas en el Valle de Colima se interpretan con los métodos de Ebert-Kalenov y con curvas maestras, detectándose resistividades hasta profundidades del orden de los 700 m con separaciones máximas de electrodos (AB) de 2 000 m con el dispositivo Schlumberger.

En la interpretación de los sondeos eléctricos verticales, se reconocieron hasta siete capas geoelectricas aunque en algunos casos se identificaron tres, de esta manera se puso de manifiesto que en el Valle de Colima se encuentran materiales con permeabilidades medias, manifestándose en tres zonas que en orden de profundidad son: (1) sedimentos aluviales (arenas, arcillas y gravas) hasta de 40 m de espesor, (2) materiales volcánicos en el fondo del Valle con aparentes variaciones y discontinuidades y (3) macizos rocosos probablemente constituidos por sedimentos calcáreo-arcillosos fracturados y, a veces, también drenados. Se concluye que las dos primeras zonas presentan condiciones favorables para la circulación de aguas subterráneas que pueden ser susceptibles de explotación a profundidades del orden de 300 m.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM.*

\*\* *Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN.*

## ABSTRACT

Resistivity response of different lava flows at the Colima Valley are interpreted with Ebert-Kalenov and curve matching methods, detecting resistivities as deep as 700 m, with maximum electrode separation (AB) of 2 000 m using Schlumberger arrays.

In the interpretation of the vertical electrical soundings, seven geoelectrical layers were recognized, however in some cases only 3 layers were identified. Materials with medium permeabilities in 3 zones have been inferred for the Colima Valley, which are in order of increasing depth: (1) alluvial sediments (sands, clays and gravels) up to 40 m of thickness, (2) volcanic materials in the bottom of the valley with apparent discontinuities and variations, and (3) solid rocks probably formed by a fractured clayed limestone which sometimes may be drained. The suggestion is made that suitable conditions for underground water flow can be exploited in the two first zones to depths down to 300 m.

## INTRODUCCION

La Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos encargó que se realizara un estudio geoelectrico, con el fin de investigar la estructura geohidrológica y definir los acuíferos más interesantes en el Valle de Colima.

El estudio geoelectrico se realizó mediante la ejecución de 46 sondeos eléctricos verticales (SEV) empleando el dispositivo Schlumberger por ser éste el más adecuado (Bhattacharya y Patra, 1968) a las características geológicas del área, mismas que serán mencionadas más adelante. Los datos se obtuvieron mediante la técnica conocida como sección geofísica o pseudosección geofísica (Martínez, 1975; Edwards, 1977) utilizando separaciones máximas de electrodos (AB) de 2 000 m, con lo que se interpretó en algunos SEV (tabla 1) profundidades del orden de los 700 m, Worthington (1977) señala haber tenido separaciones de electrodos (AB) de hasta 7 000 m para alcanzar profundidades del orden alcanzado en este estudio.

Aunque existen varias técnicas interpretativas (Ghosh, 1971; Zohdy, 1975, Rijo, 1977) las aquí utilizadas son con los métodos de Ebert-Kalenov (Orellana 1977; Zohdy 1965), y por medio de las curvas patrón (Orellana-Mooney, 1966), comprobándose éstas mediante un programa que resuelve el problema directo (Argelo, 1967).

La zona estudiada se localiza en una área cercana a la ciudad de Colima, en la porción noreste del estado, y que ocupa una superficie aproximada de 1 500 km<sup>2</sup>; esta zona queda comprendida entre las coordenadas 19°10' y 19°25' latitud norte y 103°30' – 103°50' longitud oeste, con elevación media de 460 m sobre el nivel del mar (figura 1). El procedimiento de investigación incluye lo siguiente: reconocimiento de campo, mediciones de resistividad eléctrica, procesamiento de la información e interpretación de resultados.

El reconocimiento de campo se hizo con el objeto de observar, auxiliándose de fotografías aéreas, las características geológicas y morfológicas del área en estudio y registrar los límites o fronteras de las rocas. Durante el reconocimiento también se obtuvo información sobre las características de algunos pozos que están en explotación, realizándose en cada perforación sondeos de calibración, los cuales sirven de apoyo para una correlación adecuada de las pseudosecciones realizadas (López-Gutiérrez, 1976).

El área de estudio corresponde a una zona comprendida entre los ríos Armería y Coahuayana y el Volcán de Colima, tiene características de llanura inclinada y lomeríos constituidos por aluviones y materiales volcánicos, los cuales se encuentran drenados por el Río Salado, cuya cuenca se inicia en la estribación sur del Volcán de Colima. En la zona se han perforado pozos para la explotación de agua subterránea, siendo los materiales cortados por estos pozos, sedimentos aluviales y materiales volcánicos, los cuales, por sus caudales específicos (1 a 5 lts/seg/m) se manifiestan como materiales de baja y mediana permeabilidad (Residencia de Geohidrología y Zonas Áridas de Colima 1978, *Comunicación personal*).

## GEOLOGIA

La zona estudiada forma parte de la provincia fisiográfica denominada zona de fosas tectónicas y vulcanismo reciente (Alvarez Jr. 1961) caracterizada por predominar en ella derrames basálticos, numerosos edificios volcánicos y lagos cuya morfología, orientación y distribución sugieren la idea de estar situados en fosas tectónicas y, de allí el nombre que se le ha dado aunque en el caso específico del Valle de Colima se trata de

una llanura formada en las estribaciones de dicho Valle, por la acción de los ríos Armería y Coahuayana, la cual se encuentra limitada hacia el suroeste y oeste por rocas sedimentarias del cretácico (Chiñas, 1978, *Comunicación personal*).

El estudio fotogeológico muestra la existencia de la secuencia estratigráfica que se ha transferido al mapa fotogeológico, en donde también se muestra la ubicación de las pseudosecciones geoléctricas (figura 2).

Tectónicamente se pueden definir tres unidades estructurales compuestas por un macizo calcáreo arcilloso plegado de edad Cretácico, que se muestra en los alrededores de la zona estudiada; la segunda unidad corresponde a un macizo intrusivo de tipo granítico que aflora muy localmente y, la tercera unidad que corresponde a las diferentes emisiones del volcán de Colima, ocurridas durante el Terciario y Cuaternario (Chiñas, 1978, *Comunicación personal*). Estos materiales volcánicos se encuentran cubriendo indistintamente a las otras dos unidades y en la zona de estudio a su vez, ellas se encuentran debajo de una cobertura aluvial de espesor variable. En general los materiales volcánicos que deben constituir los materiales de fondo, tienen una estructura sub-horizontal con cambios frecuentes laterales en la compacidad y los cuales se observan en los afloramientos como cuerpos o bloques aislados de aglomerados y piroclásticos.

Desafortunadamente existe poca información geológica de esta zona en la literatura, de ahí que la descripción geológica aquí descrita no esté del todo completa.

#### SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)

Para definir las características eléctricas del subsuelo y definir la estructura geohidrológica en el Valle de Colima, se ejecutaron 46 sondeos eléctricos verticales (SEV), con los cuales se elaboraron seis pseudosecciones geoléctricas, utilizando el dispositivo de medida Schlumberger. La distancia de separación entre SEV y SEV varió de 600 a 1 500 m aproximadamente (figura 2).

Se obtuvieron las resistividades aparentes en cada punto de lectura,

estas resistividades fueron configuradas en coordenadas cartesianas en función de estaciones (Horizontal) y separación de electrodos (Vertical). en las figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran las seis configuraciones.

Las pseudosecciones de isoresistividad muestran un esquema de la distribución de la corriente en el subsuelo, lo que permite relacionarla con su estructura (López L. y Gutiérrez P., 1976). Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada SEV se presentaron por medio de una curva, en función de la distancia entre electrodos. Las resistividades aparentes  $\rho_a$  son las ordenadas y las abscisas son los valores sucesivos de la distancia  $AB/2$ . Las escalas sobre ambos ejes, son logarítmicas.

Los datos obtenidos en los SEV fueron procesados por el método de Ebert-Kalenov (Orellana, 1972; Zohdy, 1965) y por medio de las curvas patrón (Orellana y Money, 1966) obteniéndose las resistividades reales a partir de las curvas de las resistividades aparentes. En algunos casos se utilizó un programa de computadora (Argelo, 1967) para reconstruir la curva teórica y de esa forma establecer un mayor intervalo de seguridad en la interpretación.

#### PSEUDOSECCIONES GEOELECTRICAS

No. 1. Tiene una longitud aproximada de 8 km con una orientación E-W, es sensiblemente transversal al Valle, encontrándose cercana a la población de Comala. En la configuración de isoresistividades (figura 3) se observa un buen conductor ( $40\Omega\text{m}$ ) de tendencia vertical con dimensiones laterales reducidas sobre la estación (SEV) 102 y a una separación de electrodos ( $AB/2$ ) de 200 m hasta 750 m. Asimismo se aprecia un cambio lateral de la resistividad a partir de la estación 105 que continúa hasta la estación 107. Existe un máximo resistivo del orden de  $160\Omega\text{m}$  sobre la estación 105, que pudiera asociarse a la presencia de un cuerpo aislado de baja permeabilidad.

En la interpretación de la pseudosección geolétrica No. 1, se obtuvieron cortes geolétricos del tipo HKH, QQH, QQHK, HKQH y KQH (Kalenov 1957), siendo sus profundidades máximas detectadas del orden de 700 m, con aberturas máximas de  $AB$  de 2 000 m.

Con la interpretación de los SEV se elaboró una pseudosección de resultados en la que se señalan las profundidades y espesores de las diferentes capas geoelectricas (tabla 1) observándose tres zonas correspondientes a:

I. Zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente, con un espesor máximo de 4 m.

II. Zona de rocas volcánicas, constituida por andesitas y piroclásticos, con espesor mínimo de 700 m. El espesor máximo se desconoce por no haberse detectado el piso de esta zona.

El relleno aluvial está integrado por un conjunto heterogéneo de sedimentos que contienen porcentajes variables de arenas y arcillas, lo que los hace de mediana permeabilidad.

La zona II tiene características eléctricas variables que son debidas a la presencia de accidentes tectónicos, que hacen pensar en un subsuelo formado por bloques discontinuos (figura 3) de diferente resistividad. Esta zona presenta de la estación 104 a la 107 una estructura de capas sub-horizontales.

No. 2. Se encuentra en Cd. Cuauhtémoc, está orientada de E a W, con una longitud de 10 km (figura 4). En la configuración de isorresistividades de la pseudosección se nota un cambio lateral de la resistividad entre las estaciones 201 y 202, así como también se observan conductores de mediana calidad con resistividades de 60-80 $\Omega$ m (estación 203) 180-200 $\Omega$ m (estación 204) y 140-160 $\Omega$ m (estación 209), de tendencia vertical y dimensiones laterales reducidas. En general esta pseudosección geoelectrica presenta un aumento de la resistividad con el incremento en la separación de electrodos, con excepción de las estaciones 206 y 208.

En la interpretación de los SEV (figura 4) se obtuvieron cortes de tipo KHKH, HAAK, QHKH, HKQHK, HKQ y KHA (Kalenov, 1957), siendo las profundidades máximas detectadas del orden de 500 m (tabla 1) con una separación máxima de electrodos (AB) de 2 000 m.

Con los datos de los SEV interpretados se realizó una pseudosección de resultados en la que se observan las profundidades y espesores de las diferentes capas geoelectricas con las características siguientes: I. Zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente con un espesor

máximo de 6 m aproximadamente. II. Zona de rocas volcánicas, constituida por andesitas y piroclásticos con un espesor mínimo de 200 m aproximadamente, el máximo espesor no fue posible interpretarlo aunque en algunas estaciones (figura 4) se estima superior a los 500 m. III. Zona profunda de rocas rígidas y compactas. Esta disposición presenta características geohidrológicas variables, ya que el relleno aluvial es bastante heterogéneo y contiene porcentajes variables de arenas y arcillas. La zona señalada como II, en general, presenta una estructura de capas sub-horizontales, muestra características eléctricas variables debido a la presencia de diferentes tipos de emisiones volcánicas (lavas y piroclásticos) y a la presencia de diferente resistividad.

La zona III es la más profunda, con resistividades altas (del orden de  $3\ 700\ \Omega\text{m}$ ) se ha relacionado con rocas rígidas y compactas de baja permeabilidad.

No. 3. Se localiza al sur de la población de Alcaraces con una orientación SW y NE con una longitud de 2 km en la configuración de isoresistividades de esta pseudosección (figura 5) no se observa ningún conductor definido. De la interpretación de los SEV se elaboró una pseudosección de resultados en la que se señalan las profundidades y espesores de las diferentes capas geoelectricas. Los cortes geoelectricos interpretados son del tipo KH, QH y QQH (Kalenov, 1957). Las profundidades máximas detectadas son del orden de 400 m (tabla No. 1) y a una separación máxima de electrodos (AB) de 2 000 m. En la pseudosección de resultados, se observan de una manera general 2 zonas correspondientes a:

I. Zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente, con un espesor máximo de 2 m aproximadamente. II. Zona de rocas volcánicas constituida probablemente por piroclásticos.

El relleno aluvial reciente está constituido por una mezcla de arenas, arcillas y gravas, los cuales se integran en dos cuerpos, uno corresponde a la cobertura superficial generalmente drenada y el otro a una cobertura superficial compacta que comprende una mezcla heterogénea de partículas predominantemente finas. La zona se ha relacionado por sus valores resistivos (figura 5) con una zona de arenas volcánicas, que posible-

mente tenga intercalaciones arcillosas, tiene un espesor aproximado de 200 m. Asimismo, dentro de esta zona se detectó un cuerpo que puede corresponder a un aglomerado compacto con un espesor no identificado.

No. 4. Se encuentra en la parte más alta de la zona en estudio al oeste de Quesería, tiene una orientación de E a W formando una línea de 8 km de longitud. De la configuración de isorresistividades de la pseudo-sección se observa toda el área como resistiva (figura 6), teniendo su máximo en la estación 404 ( $3\ 700\ \Omega\text{m}$ ) a una separación de electrodos de 1 000 m ( $AB/2$ ), este máximo es debido probablemente a una existencia de una roca muy compacta. Se observa asimismo un cambio lateral bastante marcado de la resistividad en la estación 401.

De la interpretación de los SEV se obtuvieron cortes geoelectricos del tipo HKH (Kalenov, 1957) siendo las profundidades máximas detectadas del orden de 600 m (tabla 1) aproximadamente, con separación de electrodos máxima ( $AB/2$ ) de 1 000 m. Con los datos de los SEV interpretados se elaboró una pseudosección de resultados en la que se observan las profundidades y espesores de las diferentes capas geoelectricas observándose dos zonas correspondientes a:

I. Zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente con un espesor medio de 3 m aproximadamente. II. Zona de rocas volcánicas constituida por piroclásticos y probablemente granito.

La zona de cobertura está integrada por un conjunto heterogéneo de sedimentos constituidos por arenas y arcillas. La zona señalada como II presenta una estructura de capas sub-horizontales, muestra contrastes resistivos muy marcados que sugieren la presencia de un macizo granítico (figura 6) subyaciendo probablemente a un aglomerado compacto con un espesor aproximado de 450 m. La profundidad media a la que se detecta la roca impermeable ( $13\ 000 - 15\ 000\ \Omega\text{m}$ ) que se ha asociado a la existencia de granito es de 500 m.

No. 5. Tiene una longitud de 7.5 km de longitud con una orientación de NW a SE y se localiza al SE de la Cd. de Colima. En la configuración de isorresistividades (figura 7) de esta pseudosección geoelectrica se observa una zona un poco resistiva entre las estaciones 501 y 504 con resistividades máximas del orden de  $300\ \Omega\text{m}$  debida probablemente a la

existencia de una roca calcáreo-arcillosa. Asimismo, existe un cambio lateral de la resistividad a partir de la estación 504, observándose una zona homogénea entre las estaciones 505 y la 514 con la presencia de conductores medianos (60-80 $\Omega$ m) de tendencia vertical.

Los cortes geoelectricos interpretados son del tipo KHKH, AKHKH, KH, AAKH, y AKQ (Kalenov, 1975) siendo las profundidades máximas detectadas (tabla 1) del orden de 700 m (estación 514) con una separación de electrodos (AB) máxima de 2 000 m. En la pseudosección de resultados que se elaboró con los SEV interpretados se señalan las profundidades y espesores de los distintos cortes geoelectricos interpretados y se observan de una manera general, tres zonas correspondientes a: I) zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente, II) zona de rocas volcánicas constituida por andesitas y piroclásticos y III) zona profunda de macizos rocosos.

La zona señalada como I está integrada por un relleno aluvial constituido por un conjunto heterogéneo de sedimentos que contienen porcentajes variables de arenas, arcillas y gravas con un espesor máximo de 40 m. La zona II aunque presenta en general una estructura de capas sub-horizontales, muestra características eléctricas variables que son debidas a la presencia de diferentes tipos de erupciones volcánicas (lava y proclásticos) y a la presencia de accidentes tectónicos que hacen pensar en un subsuelo formado por bloques discontinuos (figura 7) de diferente resistividad. La zona más profunda (zona III), corresponde a resistividades que indican la presencia de macizos rocosos, probablemente sedimentos calcáreo-arcillosos fracturados y en ocasiones drenados.

No. 6. Se localiza al norte de la población de Comala y al oeste de la población de Suchitlán, tiene una longitud de 2 km y en la configuración de isoresistividades no se observó ningún conductor definido, las resistividades aparentes son mayores de 100 $\Omega$ m en la mayor parte de la zona, pero menores de 200 m (figura 8).

Los cortes geoelectricos interpretados son del tipo A, AK y KHKH (Kalenov, 1957) las máximas profundidades detectadas son del orden de 150 m (tabla 1) con una abertura máxima de electrodos (AB) de 2 000 m.

Con los SEV interpretados se elaboró una pseudosección de resulta-

dos en la que se señalan las diferentes profundidades y espesores de las capas geoelectricas interpretadas y, en la que se observan de una manera general, dos zonas correspondientes a: I) zona de cobertura constituida por el relleno aluvial reciente con un espesor máximo de 6m, II) zona de rocas volcánicas constituida por andesitas y piroclásticos.

El relleno aluvial es muy heterogéneo, es una mezcla de arenas, arcillas y gravas. La zona II se ha relacionado a materiales piroclásticos de predominio arcilloso o bien a materiales piroclásticos que pueden o no tener intercalaciones de andesitas fracturadas.

Se observa (figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8) en las pseudosecciones de resultados que aun cuando se trata del mismo tipo de material como es el caso de las lavas, se registran cambios resistivos frecuentes en los diferentes niveles y horizontes y para fines de interpretación, fueron agrupados en series con valores más homogéneos.

#### CONCLUSIONES

1. La zona estudiada corresponde a una llanura inclinada que forma parte de la estribación del Volcán de Colima, la cual se encuentra entre los ríos Coahuayana y Armería y a su vez limitada por rocas volcánicas y sedimentos calcáreo-arcillosos de la edad Cretácico Superior.

2. En el Valle de Colima se encuentran materiales que tienen permeabilidades medias. Las transmisibilidades (espesor del acuífero por su permeabilidad) medias se estiman entre  $10^{-2} - 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$ . (Lizt A., 1978, *Comunicación personal*).

3. Por medio de la interpretación de los SEV se puso de manifiesto una estructura integrada por tres zonas.

La zona I corresponde a sedimentos aluviales constituidos por una mezcla de arenas, arcillas y gravas que tienen un espesor máximo de 40 m (figura 6). Estos sedimentos están integrados por dos cuerpos (1a) corresponde por su resistividad a una cobertura superficial generalmente drenada ( $90-180\Omega\text{m}$ ) y compacta ( $600\Omega\text{m}$ ), (1b) comprende una mezcla heterogénea de partículas predominantemente finas de permeabilidad media ( $30-60\Omega\text{m}$ ).

La zona II corresponde al fondo del Valle constituido por materiales volcánicos, que por sus valores de resistividad sugieren, variaciones y discontinuidades de acuerdo con las descripciones dadas en IIa, IIb, IIc, II d y IIe.

IIa: Por sus valores resistivos (6-20 $\Omega$ m) puede corresponder a materiales piroclásticos de predominio arcilloso de baja permeabilidad o bien a una zona afallada. IIb: Se ha relacionado a materiales piroclásticos que pueden o no tener intercalaciones de andesitas fracturadas (20-50 $\Omega$ m); se encuentran generalmente debajo de la cobertura aluvial y se considera como un material de mediana permeabilidad. IIc: Por su resistividad (60-90 $\Omega$ m) se infiere que, se correlaciona con una alternancia de arenas volcánicas e intercalaciones arcillosas con posibilidades acuíferas. II d: Probablemente corresponde a un aglomerado compacto de baja permeabilidad en la que sus resistividades se asociaron en tres paquetes (95-150 $\Omega$ m), (150-225 $\Omega$ m) y (240-600 $\Omega$ m). IIe: Se correlacionó con una roca compacta impermeable, detectándose dentro de esta subzona cuerpos altamente resistivos (13 000 – 15 000 $\Omega$ m) que pudieran relacionarse con intrusiones graníticas.

La zona III corresponde a resistividades que indican la presencia de macizos rocosos probablemente sedimentos calcáreo-arcillosos fracturados IIIb (200-360 $\Omega$ m) y en ocasiones drenado IIIa (1 200 – 3 700 $\Omega$ m).

4. Las zonas I y II presentan de acuerdo a sus resistividades, condiciones favorables para la circulación de aguas subterráneas y por lo tanto, son áreas recomendables para hacer perforaciones de exploración-explotación a profundidades del orden de 300 m.

5. En valles localizados en zonas de vulcanismo reciente, es de esperarse que los valores de resistividad obtenidos mediante los SEV muestren variaciones notables, tanto en profundidad como lateralmente, las resistividades obtenidas cercanas a la superficie se manifiestan con valores altos por la presencia de materiales de cobertura generalmente drenados y, más abajo, resistividades aparentes bajas que corresponden al relleno aluvial. Estos valores son homogéneos y su distribución denota una estructura sub-horizontal.

6. En las zonas de vulcanismo reciente a mayor distancia de los elec-

trodos de corriente se observará que los valores de resistividad aparente son bastante contrastados, registrándose valores altos y bajos a diferentes profundidades, lo que denota la presencia de cuerpos aislados y con discontinuidad lateral.

7. Las profundidades máximas detectadas son del orden de 700 m (tabla 1) con abertura máxima de 2 000 m AB, aunque en ocasiones sólo se alcanzó a detectar profundidades del orden de 110 m (figura 5) con las mismas aberturas electródicas.

TABLA 1. Interpretación de los sondeos eléctricos verticales (SEV)

Pseudosección Geoeléctrica	(Resistividad ( $\Omega$ -m))								Espesor (m)					
	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$	$\rho_5$	$\rho_6$	$\rho_7$	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
1 SEV	101	112	1120	560	220	350			2.0	1.6	1.3	147		---
	102	195	78	117	59	24			1.3	7.3	30	22	666	---
	103	576	115	144	58	87			1.2	6.4	35	123	---	---
	104	393	118	148	118	413			1.8	16.0	63	575	---	---
	105	265	172	138	110	1387	69	---	2.8	1.4	3	21	367	---
	106	170	68	238	95	571	---	---	1.0	16.0	66	311	---	---
	107	138	110	88	132	106	158	---	2.5	6.0	18	47	288	---
	108	285	86	34	17	43	---	---	4.0	1.0	63	142	---	---
2 SEV	201	750	225	90	225	90	225	---	2.5	7.5	18	33	157	---
	202	113	141	57	198	128	1283	---	3.0	10.0	21	41	97	---
	203*	113	141	28	14	28	8	40	6.0	9.2	6	49	116	261
	204	95	86	129	90	---	---	---	2.4	10.0	190	---	---	---
	205	130	85	127	63	32	---	---	2.7	3.0	22	50	---	---
	206	77	39	96	77	39	193	39	2.5	3.0	7	23	45	105
	207	66	33	50	99	347	173	---	2.6	2.2	16	104	87	---
	208	78	23	164	246	491	319	---	4.3	17.0	6	53	105	---
	209	45	68	236	295	591	295	---	2.5	8.0	6	77	251	---
	210	92	184	74	518	337	3370	---	2.6	13.0	55	25	190	---
	211	43	54	43	107	215	---	---	2.0	8.0	16	59	---	---
3 SEV	301	104	208	135	169	---	---	---	2.0	22.0	163	---	---	---
	302	355	231	150	300	---	---	---	2.0	20.0	374	---	---	---
	303	760	140	112	73	183	---	---	1.8	1.0	32	241	---	---
4 SEV	401	540	270	540	81	405	---	---	2.8	52.0	68	28	---	---
	402	6500	455	683	341	13640	---	---	3.0	12.0	103	236	---	---
	403	8800	880	1320	1056	15840	---	---	4.8	19.0	154	409	---	---
	404	9200	230	2300	460	920	13800	---	3.2	4.0	80	22	329	---

TABLA 1. Interpretación de los sondeos eléctricos verticales (SEV)

*(continuación)*

Pseudosección Geoelectrica	Resistividad ( $\Omega m$ )								Espesor (m)						
	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$	$\rho_5$	$\rho_6$	$\rho_7$	$\rho_8$	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
5 SEV 501	17	116	581	87	6	---	---	---	2.6	10	18	64	---	---	---
502	17	83	578	5775	404	1011	202	---	1.9	2	7	14	36	46	---
503	53	80	24	36	716	358	---	---	3.6	25	9	49	78	---	---
504	62	78	155	124	248	161	564	---	2.0	11	15	50	47	69	---
505	74	111	89	310	202	707	---	---	3.4	20	65	46	198	---	---
506	67	101	40	201	131	196	78	392	2.5	10	30	40	66	75	96
507	56	28	98	78	98	64	127	---	2.4	4	25	42	70	156	---
508	45	68	27	95	38	378	---	---	3.2	11	17	190	277	---	---
509	600	18	36	90	72	144	---	---	2.2	2	24	112	378	---	---
510	19	37	130	163	33	228	---	---	2.8	6	33	215	179	---	---
511	35	123	80	279	---	---	---	---	3.7	192	67	---	---	---	---
512	38	133	166	208	104	155	---	---	4.7	6	47	115	164	---	---
513	62	217	141	176	53	132	106	528	3.2	2	2	24	16	103	195
514	96	38	96	120	60	90	45	158	2.2	3	68	167	96	218	138
515	9	137	171	110	---	---	---	---	3.4	21	98	---	---	---	---
6 SEV 601	73	183	274	---	---	---	---	---	1.8	101	---	---	---	---	---
602	35	245	25	172	17	34	14	---	1.0	7	3	10	2	72	---
603	69	104	259	104	---	---	---	---	6.0	5	98	---	---	---	---

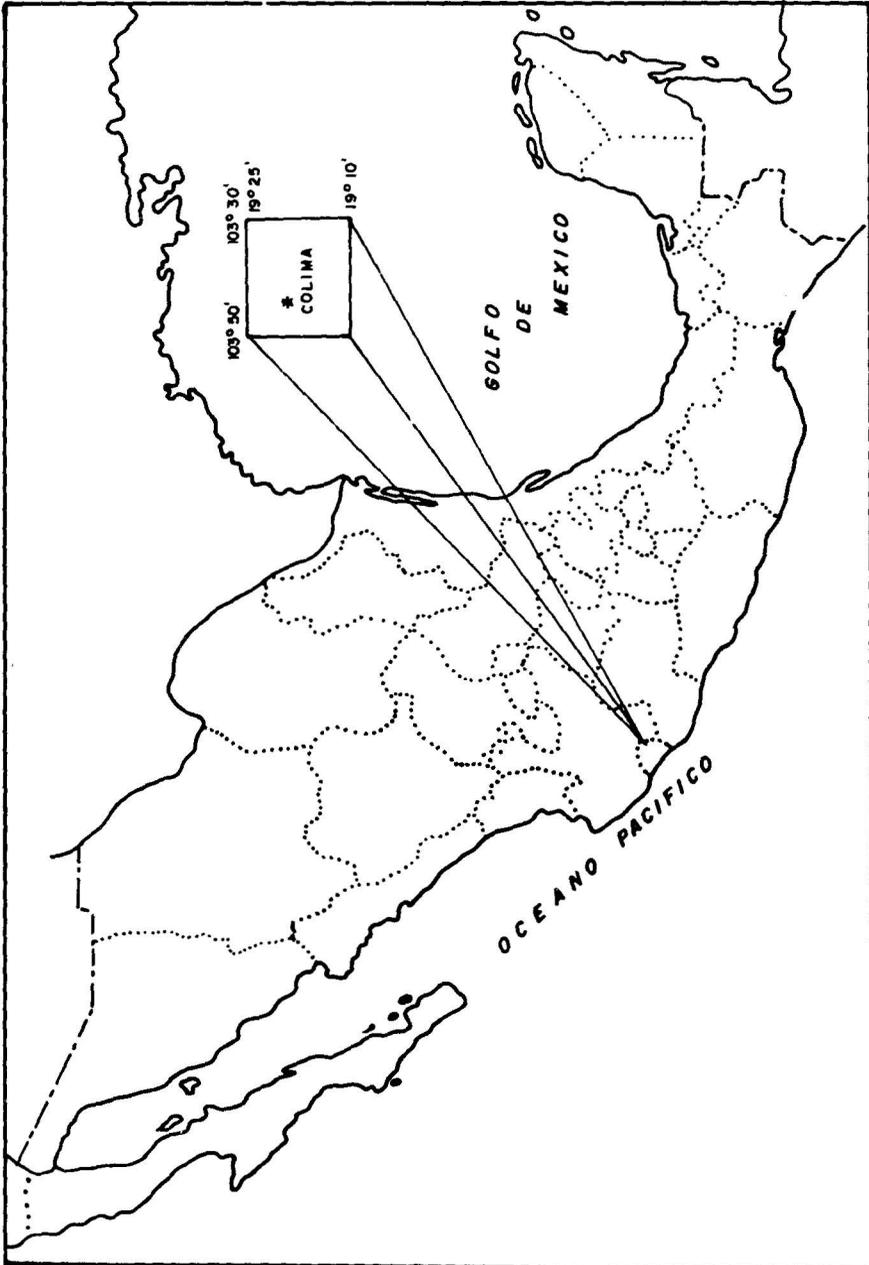


Figura 1. Localización de la zona de estudio



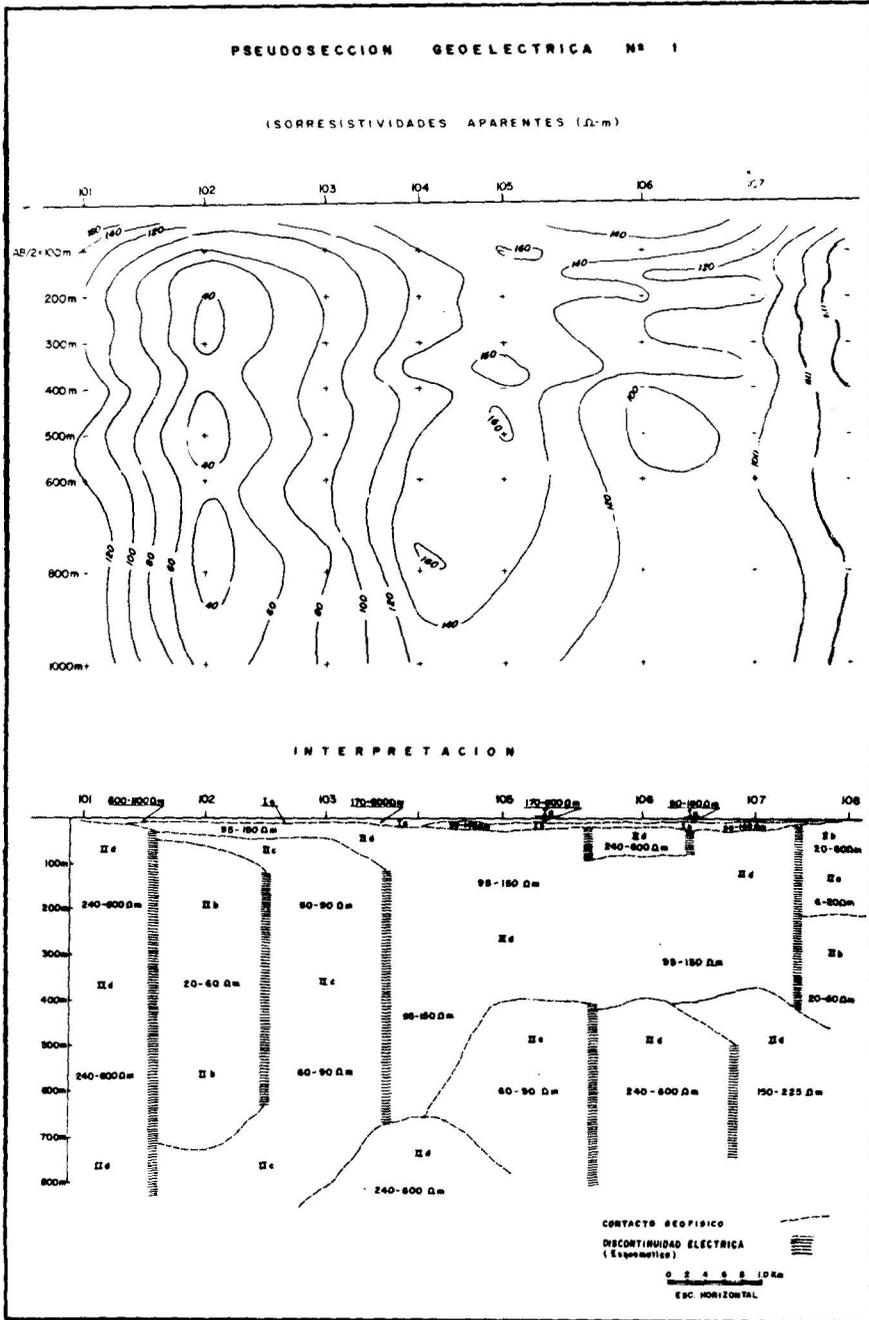


Figura 3. Configuración de isorresistividades e interpretación de la pseudosección geoelectrica No. 1\*.

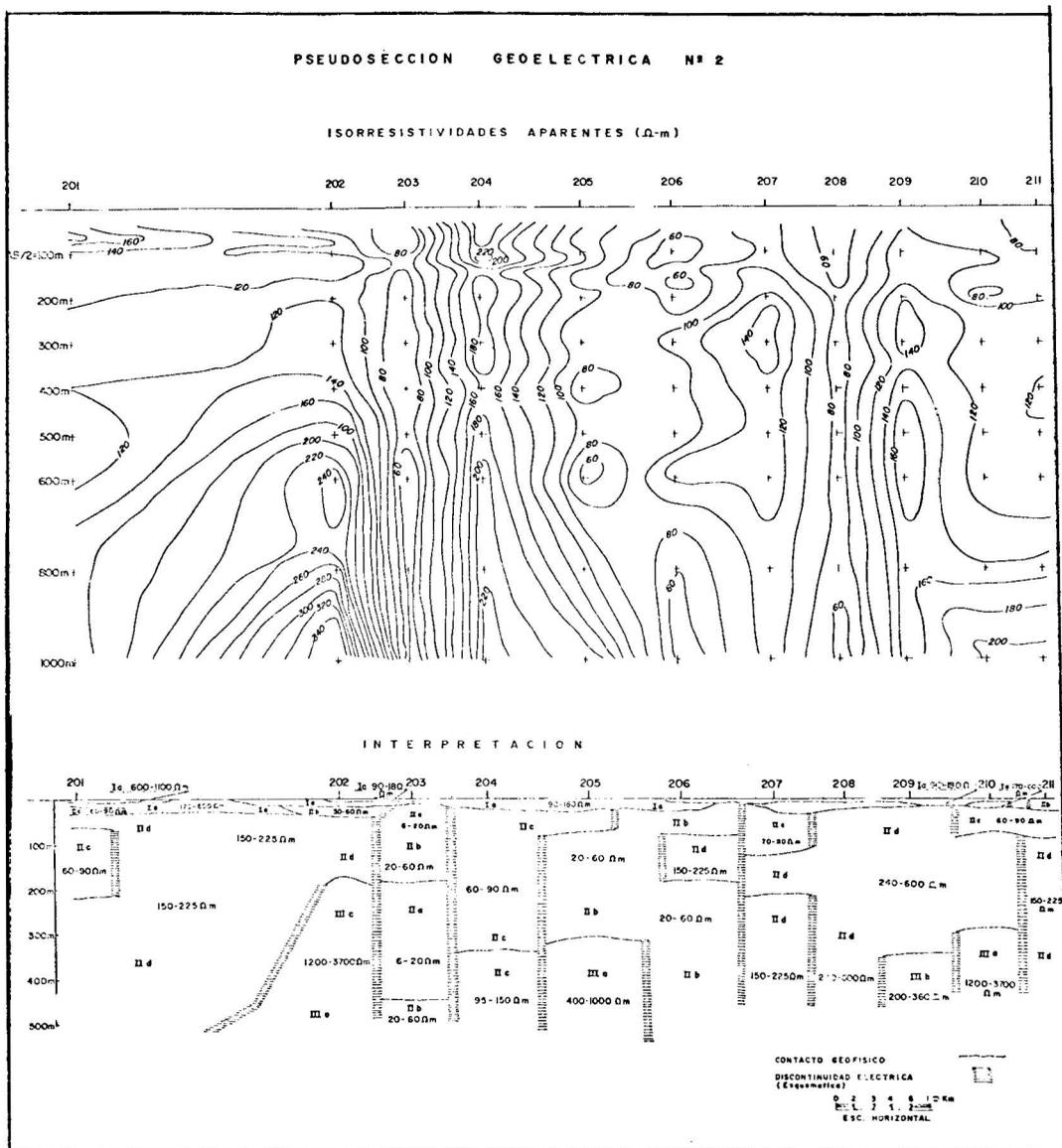


Figura 4. Configuración de isorresistividades e interpretación de la pseudosección geoelectrica No. 2\*.

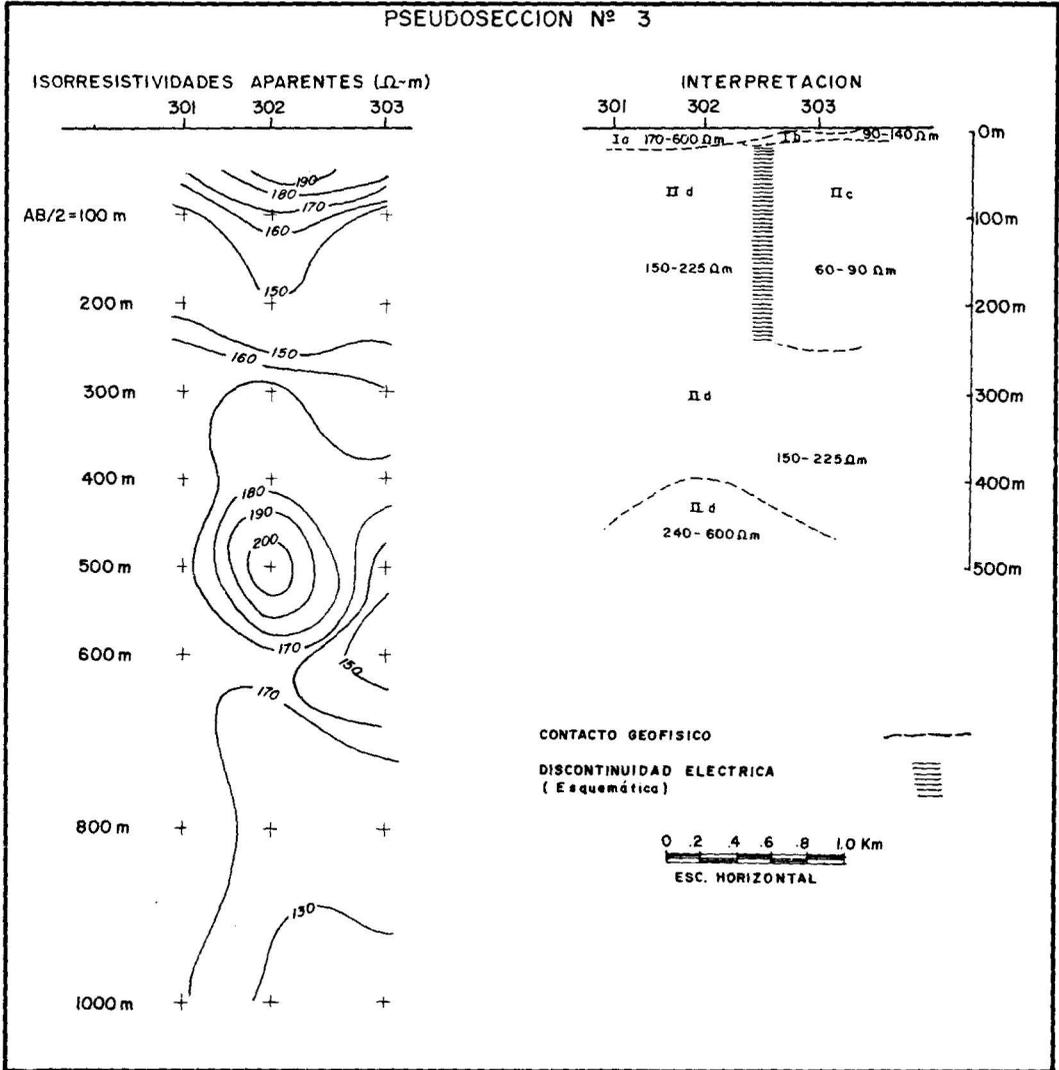


Figura 5. Configuración de isorresistividades e interpretación de la pseudosección geoelectrica No. 3\*.

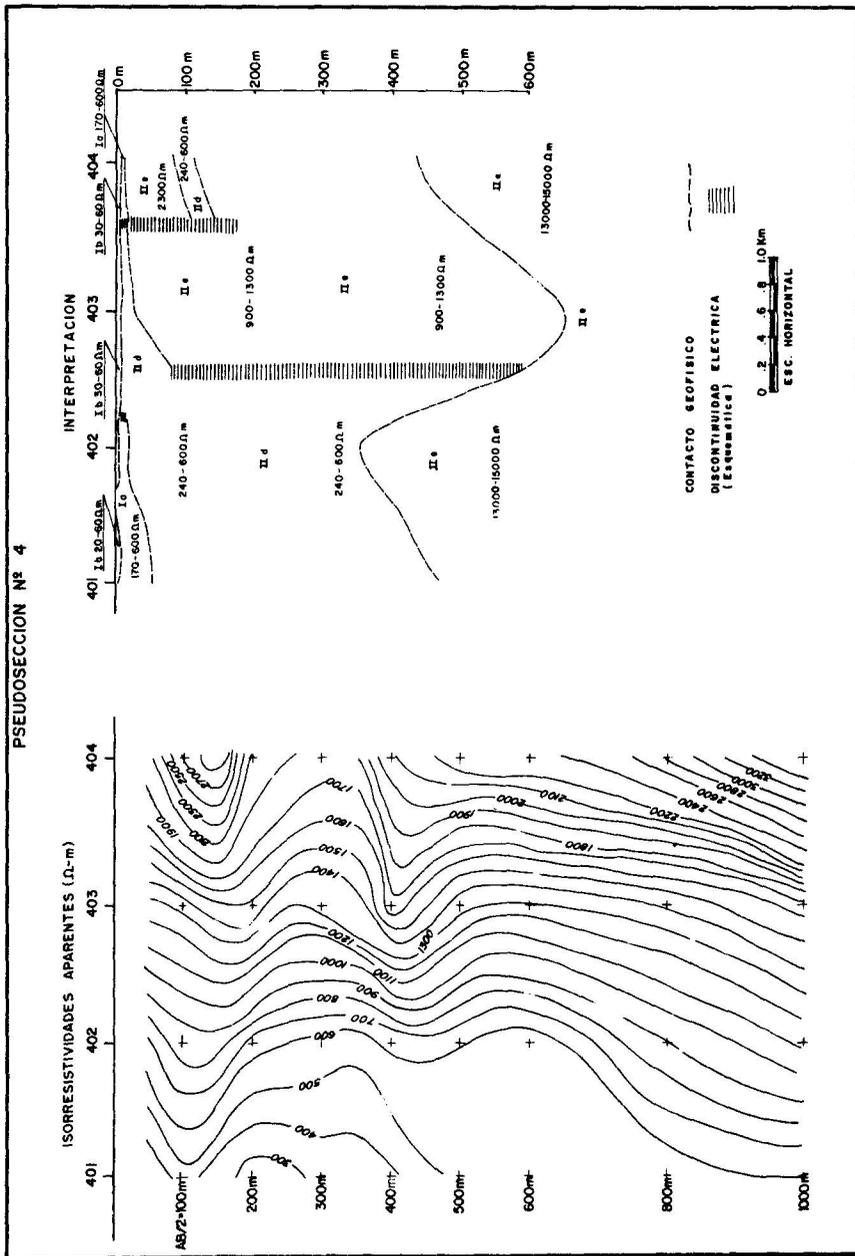


Figura 6. Configuración de isoresistividades e interpretación de la pseudo-sección geoelectrica Nº 4.

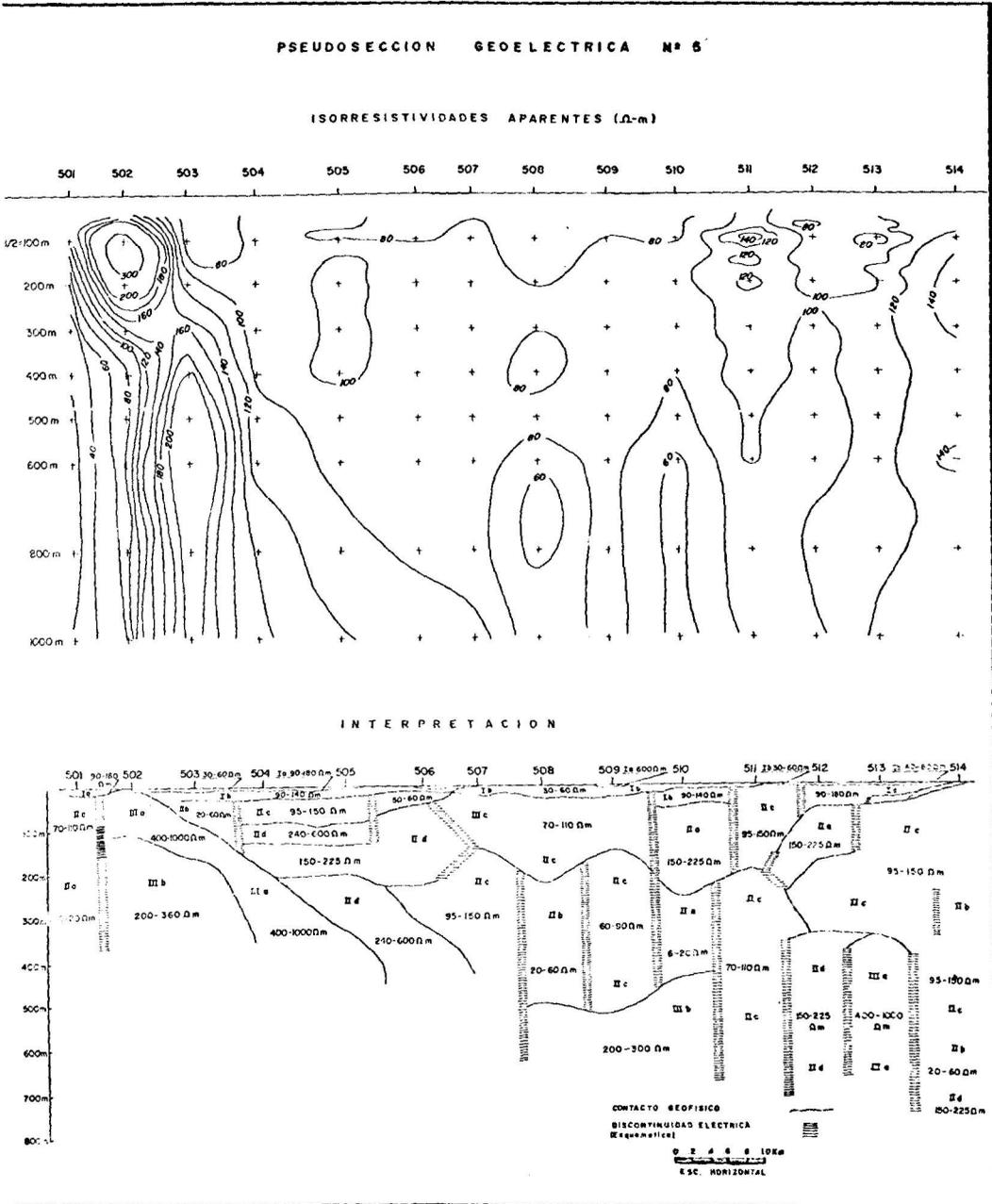


Figura 7. Configuración de isorresistividades e interpretación de la pseudosección geoelectrica No. 5\*.

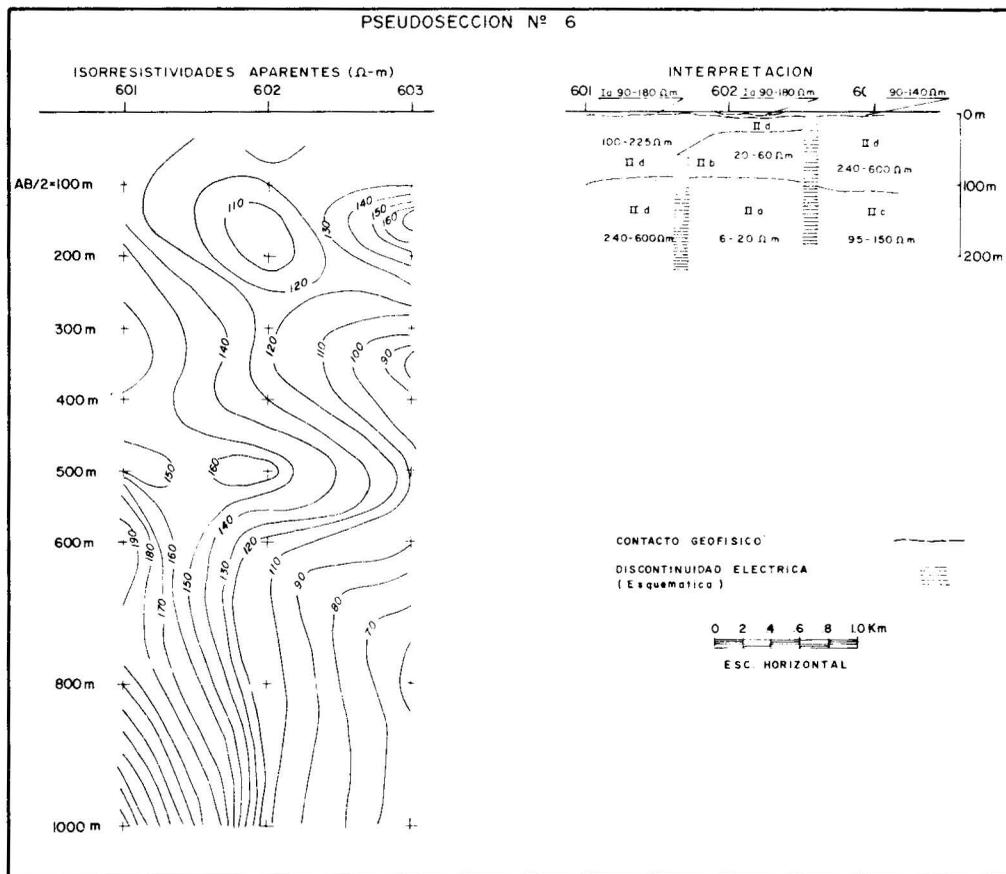


Figura 8. Configuración de isorresistividades e interpretación de la pseudo sección geoelectrica No. 6\*.

\* Donde la nomenclatura de las figuras significa:

- I. Corresponde a sedimentos aluviales constituido por una mezcla de arenas, arcillas y gravas.
- Ia. Cuerpo que corresponde a una cobertura superficial generalmente drenada (90-180  $\Omega m$ ) y compacta (600  $\Omega m$ ).
- 1b. Comprende una mezcla heterogénea de partículas predominantemente finas de permeabilidad media (30-60  $\Omega m$ ).
- II. Corresponde al fondo del valle constituido por materiales volcánicos.
- IIa. Puede corresponder (6-20  $\Omega m$ ) a materiales piroclásticos de predominio arcillosos de baja permeabilidad o bien a una zona afallada.
- IIb. Se relaciona a materiales piroclásticos que pueden o no tener intercalaciones de andesitas fracturadas (20-60  $\Omega m$ ).
- IIc. Alternancia de arenas volcánicas e intercalaciones arcillosas con posibilidades acuíferas (60-90  $\Omega m$ ).
- IId. Probablemente corresponde a un aglomerado compacto de baja permeabilidad en la que sus resistividades se asociaron en tres series (95-150  $\Omega m$ ), (150-225  $\Omega m$ ) y (240-600  $\Omega m$ ).
- IIf. Se correlacionó con una roca compacta impermeable que puede relacionarse con intrusiones graníticas (13 000 - 15 000  $\Omega m$ ).
- III. Esta zona indica la presencia de macizos rocosos.
- IIIa. Probablemente sedimentos calcáreo-arcillosos drenados (1 200 - 3 700  $\Omega m$ ).
- IIIb. Sedimentos calcáreo-arcillosos fracturados (200 - 360  $\Omega m$ ).

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Robisel Chiñas y al Dr. Román Alvarez B., por sus valiosos consejos con el fin de darle más forma al presente trabajo.

## BIBLIOGRAPHY

- ARGELO, S. M., 1967. Two Computer Programs for the Calculation of Standard Graphs for Resistivity Prospecting, *Geophys. Prosp.* 15, 71-91.
- ALVAREZ Jr., M., 1961. Provincias Fisiográficas de la República Mexicana, *Bol. Soc. Geol. Mex.* 24, 14.
- BHATTACHARYA, P., y H. P. PATRA, 1968. Direct Current Geoelectric Sounding, Elsevier Publishing, New York, 135 P.
- CHÍNAS, L. R., 1973. Clase de Geología de México (apuntes), Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN.
- CONSTANTINO, H. S., 1966. Geología de los Volcanes de Colima (Tesis de Licenciatura), Facultad de Ingeniería, UNAM, 62 P.
- EBERT, A., 1943. Grundlagen Zur Auswertung Geoelektrischer Tiefenmessungen. *Beitr. Z. Angew. Geophys.* 10, 1.
- EDWARDS, I. S., 1977. A Modified Pseudoseccion for Resistivity and I. P. *Geophysics* 42, 1020-1036.
- GHOSH. D. P., 1971. The Application of Linear Filter Theory to the Direct Interpretation of Geoelectrical Resistivity Sounding Measurements: *Geophys. Prosp.* 19, 192-217.
- KALENOV, E. N., 1957. Interpretatsiya Krivikh Vertikalnogo Elektricheskogo Zondirovaniya. Moscow, Gostoptekhizdat, 472 PP.
- LOPEZ L., H. y P. C. GUTIERREZ, 1976. El Método Eléctrico de Resistividad en la Localización de Agua Subterránea (Tesis de Licenciatura), Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN. 145 P.
- MARTINEZ, B. J., M. DE LA FUENTE y S. R. BEUTELSPACHER, 1975. Métodos Geofísicos en la Explotación Minera, V Seminario Interno sobre Explotación Geológico-Minera, C.R.M., 754.
- MOOSER. F., 1961. Fenómenos Geológicos de algunos volcanes mexicanos, los Volcanes de Colima. *Inst. de Geol., Bol.* 61, 49-71.
- ORELLANA, E., 1972. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua, Madrid, *Parainfo*, 532 P.
- ORELLANA, E., y A. M. MOONEY, 1966. Tablas y curvas para sondeos eléctricos verticales, Madrid, *Interciencia*, 125 P.
- RIJO, L., W. H. PELTON, E. C. FEITOSA y S. H. WARD, 1977. Interpretation of Apparent Resistivity data From Apodi Valley, Rio Grande Do Norte, Brasil, *Geophysics*, 42, 811-822.
- WORTHINGTON, F. P., 1977. Geophysical Investigation of Groundwater resources in the Kalahari Basin, *Geophysics*, 42, 838-849.