

27
8-23-82

①

I-4966

LBL-11967
CONF-810399



THIRD SYMPOSIUM ON THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD, BAJA CALIFORNIA, MEXICO



Sponsored by

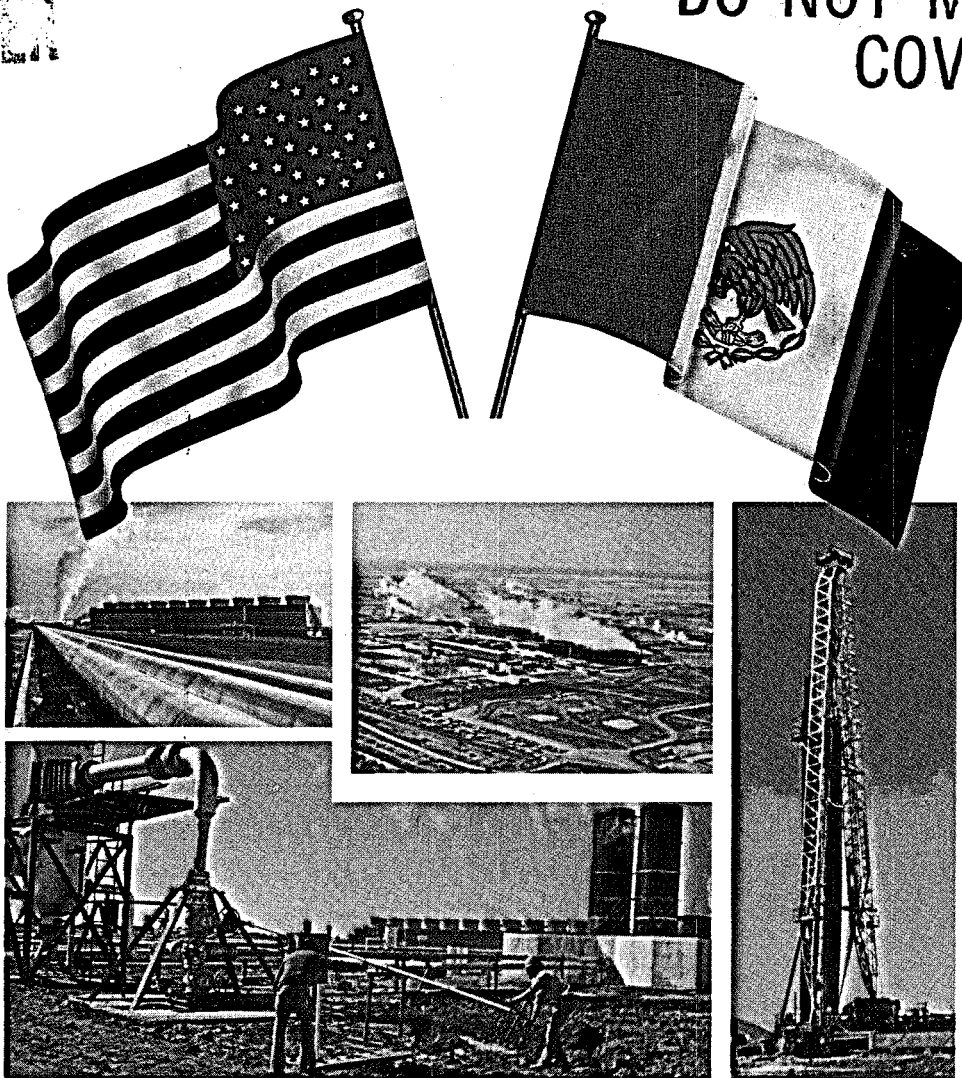
United States Department of Energy, Office of Renewable Technology
Geothermal and Hydropower Technology Division

CONF-810399-2

in Cooperation with
Comisión Federal de Electricidad de México

MASTER

DO NOT MICROFILM
COVER



PROCEEDINGS/ACTAS

March 24 - 26, 1981
San Francisco, California



Earth Sciences Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720



Coordinadora Ejecutiva
de Cerro Prieto
Mexicali, Baja California,
México

Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC03-76SF00098

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency Thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

CONFIGURACION DE LOS CUERPOS LITOLOGICOS DE LODOLITA, LUTITA CAFE, LUTITA GRIS, ZONAS DE SILICE Y EPIDOTA Y SUS RELACIONES CON LA TECTONICA DEL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO

J. M. Cobo R.
Comisión Federal de Electricidad
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto
Mexicali, Baja California, México

INTRODUCCION

Dentro del área de lo que ahora es el campo geotérmico de Cerro Prieto, mediante la perforación de pozos, se han reconocido cinco unidades litológicas, las cuales presentan diferencias en su origen, contenido mineralógico, grado de clasificación, color, compacidad, etc.

LITOLOGIA DEL AREA (Fig. 1)

Las unidades litológicas del área de Cerro Prieto son las siguientes, de la más antigua a la más reciente:

Granito de Biotita

Que constituye el basamento de la zona, el cual ha sido alcanzado en la perforación de los pozos M-3, M-96 y S-262.

Lutita Gris

Descansan sobre las rocas graníticas, lutitas, lutitas limolíticas y limolitas de color gris a negro, de laminares a masivas; presentan estructuras de asentamiento intercaladas con areniscas de cuarzo y escaso feldespato, de grano muy fino a grueso, predominando las de grano fino y medio, de subanguloso a subredondeado, bien seleccionado, de color blanco y blanco grisáceo. Esta unidad presenta un echado de 10° y 15° . En adelante a esta unidad litológica se le llamará Lutita Gris.

Lutita Cafe

Sobre la anterior unidad se encuentran lutitas, lutitas limolíticas y limolitas de color café, laminares, fisiles, intercaladas con areniscas de color crema, de moderadamente a bien seleccionadas. A esta unidad litológica se le llamará Lutita Café. No en todos los pozos está presente.

Lodolita

Descansando sobre la lutita café o lutita gris tenemos lodolitas limosas de color café con intercalaciones de arenas y areniscas de color crema, pobremente cementadas y moderadamente seleccionadas. A esta unidad se le llamará Lodolita.

Sedimentos No Consolidados

Sobre las unidades antes mencionadas se encuentran arcillas, arenas y escasas gravas.

La fisibilidad marca la principal diferencia entre la lodolita y la lutita café.

El color es el factor esencial que determina la diferencia entre las dos unidades lutíticas.

Esta secuencia no en todo el campo es siempre completa, siendo las unidades de lodolita y lutita café las que están ausentes en algunos pozos (ver Tabla 1).

CONFIGURACIONES DE LAS UNIDADES LITOLOGICAS

En base a las diferencias tan marcadas en las unidades litológicas, se configuró la cima de cada una de éstas, exceptuando el Granito y los Sedimentos no Consolidados.

El primer paso que se dió fue efectuar la clasificación y reclasificación de las muestras de canal de 83 pozos, en base a las características de color y fisibilidad.

Método de Trabajo

En planos base de escala horizontal 1:10,000 conteniendo la ubicación de los pozos, se marcaron las primeras ocurrencias de estas unidades litológicas y se efectuaron las interpolaciones entre los pozos, obteniéndose curvas de nivel cada 10 m, tomándose el nivel del terreno como cero.

Lutita Gris (Fig. 2)

En la porción noroeste del campo se aprecia un promontorio, en el cual se observa que se cierran las curvas.

Se aprecian claramente dos orientaciones en las curvas de nivel, de noroeste-sureste y noreste-suroeste.

Noreste-suroeste: Se aprecian dos zonas que se caracterizan por su acercamiento de las curvas con esta dirección. La de la porción central oeste, con 43° de inclinación (95%) en la parte norte y disminuyendo a 36° (65%) en la porción sur. La zona de la parte central este con 48° de inclinación (114%); estas dos zonas con sus máximas pendientes hacia el sureste.

Dirección noroeste-sureste: Con 58° de inclinación (60%), con su máxima pendiente hacia

el noreste.

Estas fuertes inclinaciones están anteceditas y proseguidas de suaves inclinaciones, las cuales aumentan hacia el este del campo, que nos refleja una morfología de suaves pendientes interrumpidas por cambios bruscos de pendiente. Esto nos da formas escalonadas descendentes hacia el este.

Lutita Café (Fig. 3)

En esta unidad litológica se aprecia un promontorio en la parte central, la dirección predominante de estas curvas es hacia el noreste, con fuertes inclinaciones (32°), siendo las norte-sur con inclinación de 6° (10%), suavizando la pendiente en parte central norte.

Lutita Gris y Lutita Café (Fig. 3-A)

Se elaboró este plano tomando los valores de la cima de la lutita café, y en los pozos donde no se encontró ésta, se tomó la de la lutita gris, efectuándose la interpolación entre los pozos.

Lodolita (Fig. 4)

El depósito de esta unidad litológica vino a suavizar aún más las pendientes; las direcciones predominantes de las curvas son al noroeste, nivelando y conservando la morfología en su parte central.

Sedimentos Consolidados (Fig. 5)

Este plano se elaboró tomando la unidad litológica sobre la cual descansan los sedimentos no consolidados.

En la porción noroeste del campo las curvas de nivel no se cierran con respecto a la configuración de la lutita gris y están más cerca a la superficie del terreno.

Se aprecian las dos orientaciones noreste-suroeste y noroeste-sureste, estando más al norte las de dirección noroeste. Aún son apreciables los agrupamientos de las curvas de nivel que nos marcaron los cambios más bruscos de pendientes en la lutita gris.

Muy similar al patrón de la lutita gris es la configuración de los sedimentos consolidados; las pendientes más suaves son ahora más alargadas y más suavizadas las fuertes pendientes por los depósitos de la lodolita y lutita café, lo cual nos sigue reflejando la misma morfología.

GEOLOGIA

Método de Trabajo

Con los valores obtenidos en la clasificación y reclasificación de las muestras de canal, se efectuó la interpolación entre los pozos, tomándose en cuenta el espesor de las unidades litológicas de lutita café y lodolita, y sirviendo de molde la configuración de la lutita gris o de la lutita café según fuera el caso, y se delimitó las ocurrencias de la lutita café y de la lodolita.

Lutita Café (Fig. 6)

Se encuentra distribuida ampliamente en la

porción central norte y en el cuadrante este-sur, siendo menos abundante en el cuadrante oeste-sur.

En la parte central norte su espesor va aumentando hacia el norte, siendo mayor en dirección al Pozo M-172. En la porción oriental del campo aumenta su espesor hacia el este.

Lodolita (Fig. 7)

Esta unidad está más ampliamente distribuida en la parte central este, siendo menos abundante en la parte oeste.

Plano Geológico (Fig. 8)

Los contactos geológicos de los cuerpos de lutita café en la parte este del campo, al parecer lo marcan las fallas con orientación noreste-suroeste en el extremo oriente del campo y la falla con dirección noroeste-sureste, correspondiendo su abundancia a la zona de mayor espesor de los sedimentos no consolidados o de cambios litológicos más profundos, ocurriendo lo mismo con los cuerpos de lodolita.

La lutita gris se encuentra distribuida en todo el campo. Los cuerpos de areniscas varían en sus espesores, siendo éstos muy potentes en la parte oeste y noroeste y disminuyendo hacia su parte sureste.

TECTONICA

En el área del campo de Cerro Prieto existen dos sistemas de fallas: el de Cerro Prieto, de rumbo noroeste-sureste, que lo forman las fallas de Imperial y de Cerro Prieto, y el denominado Volcano, transversal al primero, en el cual se han detectado hasta ahora cuatro fallas, tomándose como base para esta determinación la cima de la lutita gris.

La falla que se encuentra en el extremo oriente del campo, en la parte noreste se le estima un desplazamiento de 200 m y de 240 m en su porción suroeste. Continuando hacia el poniente tenemos otra falla casi paralela a la anterior, con un desplazamiento de 110 m en su parte norte (M-117) y en su extremo suroeste de 550 m (M-101). Siguiendo hacia el poniente tenemos una tercera falla también de rumbo noreste-suroeste, con desplazamientos de 230 m en su parte norte y de 500 m en su parte sur. Estas tres fallas tienen su mayor desplazamiento en sus extremos suroeste. Y en la cuarta falla, de rumbo noroeste-sureste, con un desplazamiento estimado en 100 m en su extremo sureste y de 300 m en su extremo noroeste, siendo su mayor desplazamiento inverso a las tres fallas antes mencionadas. Estas fallas se consideran del tipo normal.

Estos desplazamientos fueron estimados a partir de la profundidad a la cual se encontró la cima de la lutita gris y no en base a su horizonte índice.

Secciones de los Sedimentos Consolidados (Fig. 10)

En estas secciones elaboradas a través de los pozos, de rumbo este-oeste, se aprecian fuertes cambios en la pendiente. A estos cambios se les atribuyen fallas.

Los depósitos de lutita café y lodolita se aprecian en los cambios de pendiente, suavizando en parte a éstas.

ZONAS DE CEMENTATES Y DE MINERAL DE EPIDOTA

En el Campo Geotérmico de Cerro Prieto se han identificado cuatro zonas en los sedimentos consolidados, caracterizadas por el tipo de cementante en las areniscas y la presencia de mineral de epidota, siendo dichas zonas de menor a mayor temperatura: Zona de Carbonato de Calcio, Zona de Carbonato de Calcio y Sílice, Zona de Transición (sílice, escaso carbonato y mineral de epidota) y Zona de Sílice y Epidota (ver Tabla 2).

Estas temperaturas se han tomado de los planos de isotermas, elaborados a partir de registros de temperatura Kuster.

Estas zonas presentan un zoneamiento tanto vertical (Fig. 11) como horizontal (Fig. 12).

Configuraciones de la Zona de Sílice y Epidota (Fig. 13)

La cima de esta zona se encuentra a 1,650 m en el pozo M-123 profundizándose hacia el este hasta 2,600 m en el Pozo T-364.

CONCLUSIONES

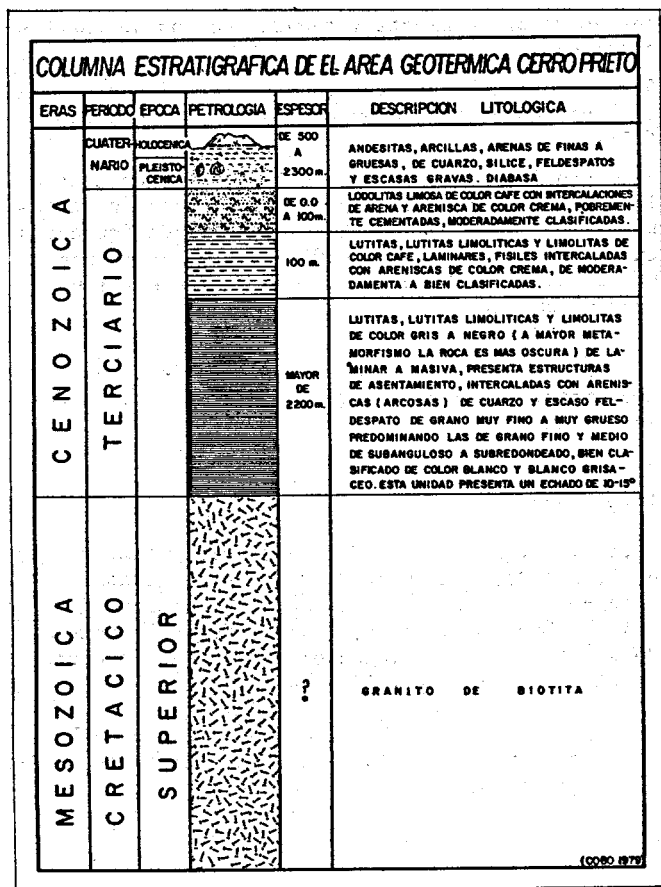
1. La configuración de la lutita gris nos da una morfología de formas escalonadas descendentes hacia el este, las cuales son atribuidas al Tectonismo que presenta la zona de estudio.
2. Las áreas que se caracterizan por fuertes inclinaciones en la lutita gris se les ha considerado como escarpes de falla.
3. Se detectaron cuatro fallas tomándose como base para esta determinación la profundidad a la cual se ha encontrado la cima de la lutita gris. Estas fallas así localizadas concuerdan con las zonas que se caracterizan por el acercamiento de sus curvas, lo que reafirma aún más la existencia de dichas fallas.
4. Los depósitos de lutita café y lodolita se aprecian en los cambios de pendiente, prolongando

los de menor pendiente y suavizando los de fuertes pendientes.

5. Al parecer las mayores concentraciones térmicas están íntimamente relacionadas con las fallas.
6. Con las profundidades a la cual se encuentre la cima de la lutita gris en la perforación de los pozos M-47 y M-49, deberá cambiar la configuración entre los pozos O-473y M-101. Se le estima una profundidad de 750 m en el pozo M-47 y en el pozo M-49 de 900 m.
7. Estas configuraciones estarán sujetas a modificaciones a medida que se perforen más pozos en el campo.

BIBLIOGRAFIA

- Cobo R., J. Manuel (1979) - Geología y Mineralogía del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Actas Segundo Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México, Comisión Federal de Electricidad, Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto, Mexicali, pp. 103-114.
- Cobo R., J. Manuel (1980) Geología, Correlación Litológica y Zonas de Cementantes y Minerales Hidrotermales en los pozos del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C., Presentado durante la III Reunión de geología y Geotermia, Ciudad de México, 8 al 12 de Septiembre 1980.
- Domínguez A., Bernardo y Cobo R., J. Manuel (1980) Geothermal Well Completions in Cerro Prieto, Proceedings of the International conference on Geothermal Drilling and Completion Technology, Sandia National Laboratories Report No. SAND 81-0036C, pp. 17-12 a 17-20.
- Domínguez A., Bernardo y Cobo R., J. Manuel (1980) Análisis Litológicos y Mineralógicos, en Relación a las terminaciones de Pozos Geotérmicos en Cerro Prieto, B.C., Presentado durante el Segundo Congreso Latinoamericano de perforación, Ciudad de México, 27 al 31 de Octubre de 1980.



XBL 822-1857

Figura 1. Columna estratigráfica del area de Cerro Prieto.

Figure 1. Stratigraphic column of the Cerro Prieto area.

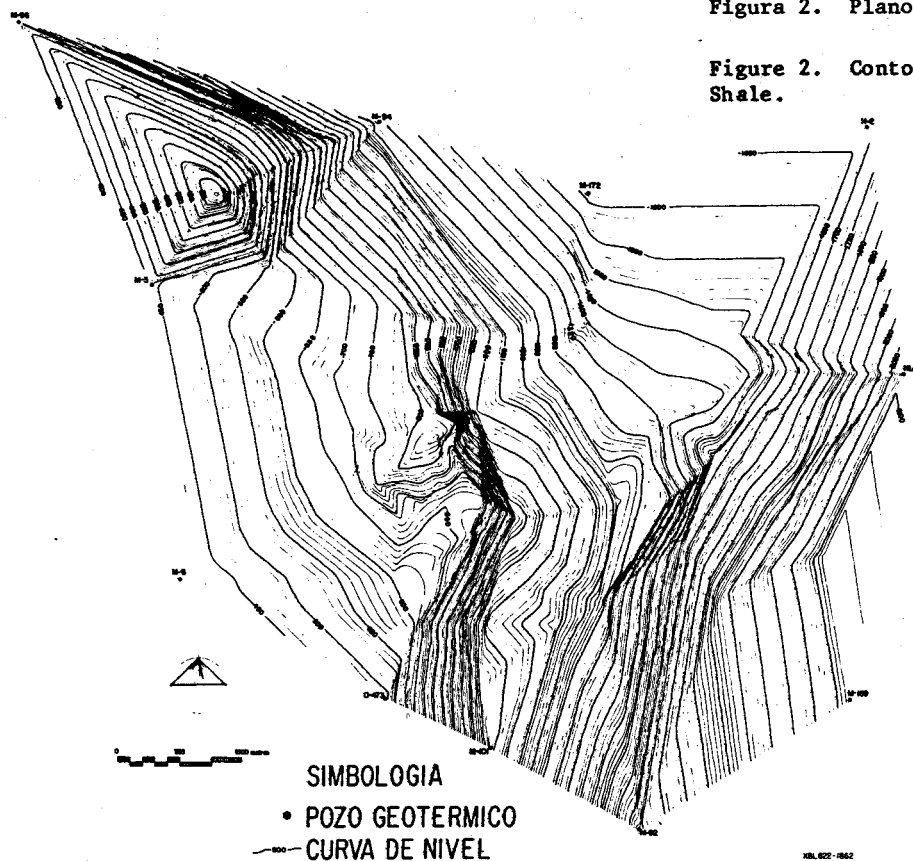


Figura 2. Plano de la cima de la Lutita Grís.

Figure 2. Contour map of the top of the Gray Shale.

XBL 822-1862

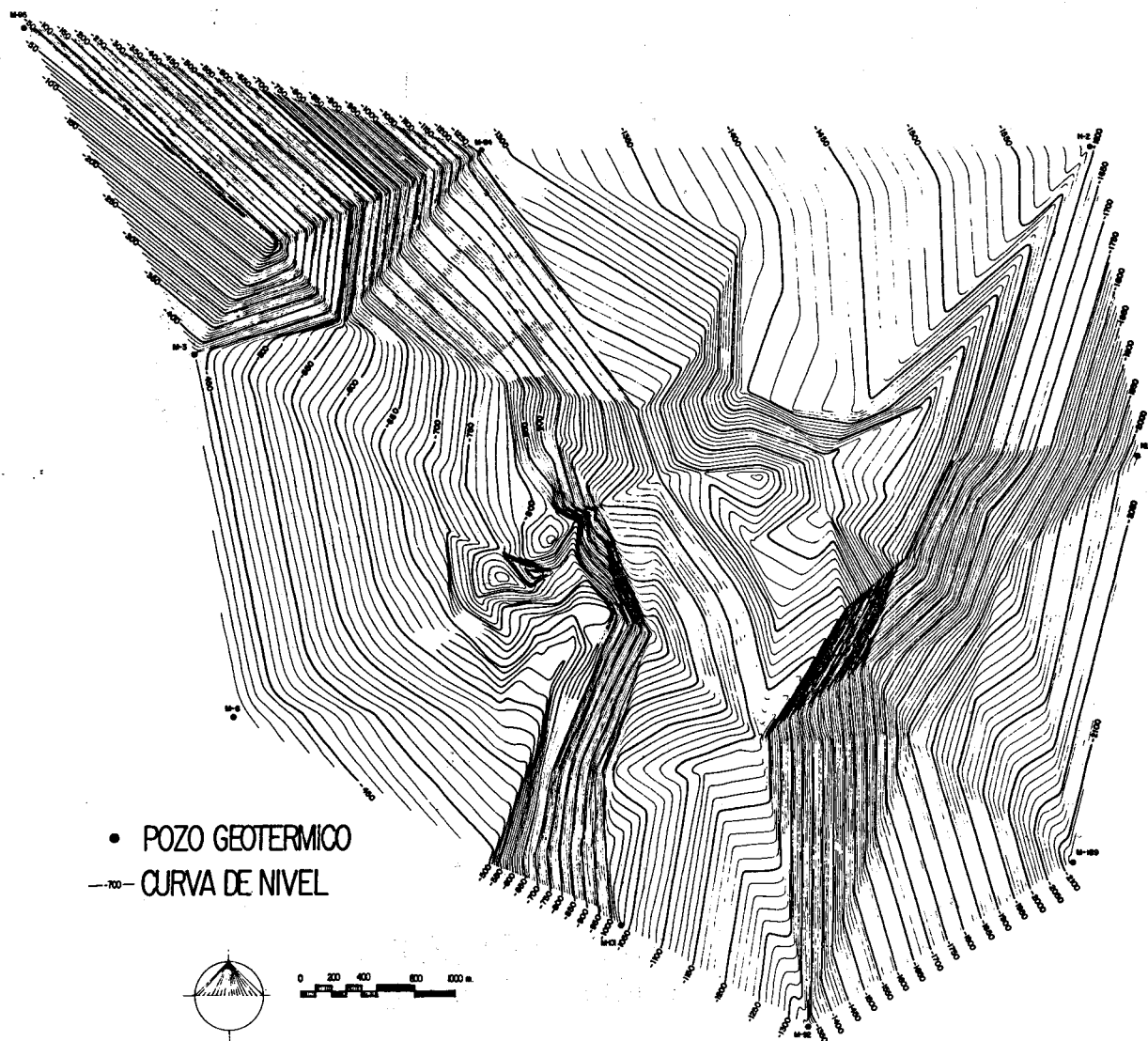


Figura 3a. Plano de la cima de la Lutita Gris y la Lutita Café.

Figure 3a. Contour map of the top of the Gray Shale and the Coffee-Colored Shale.

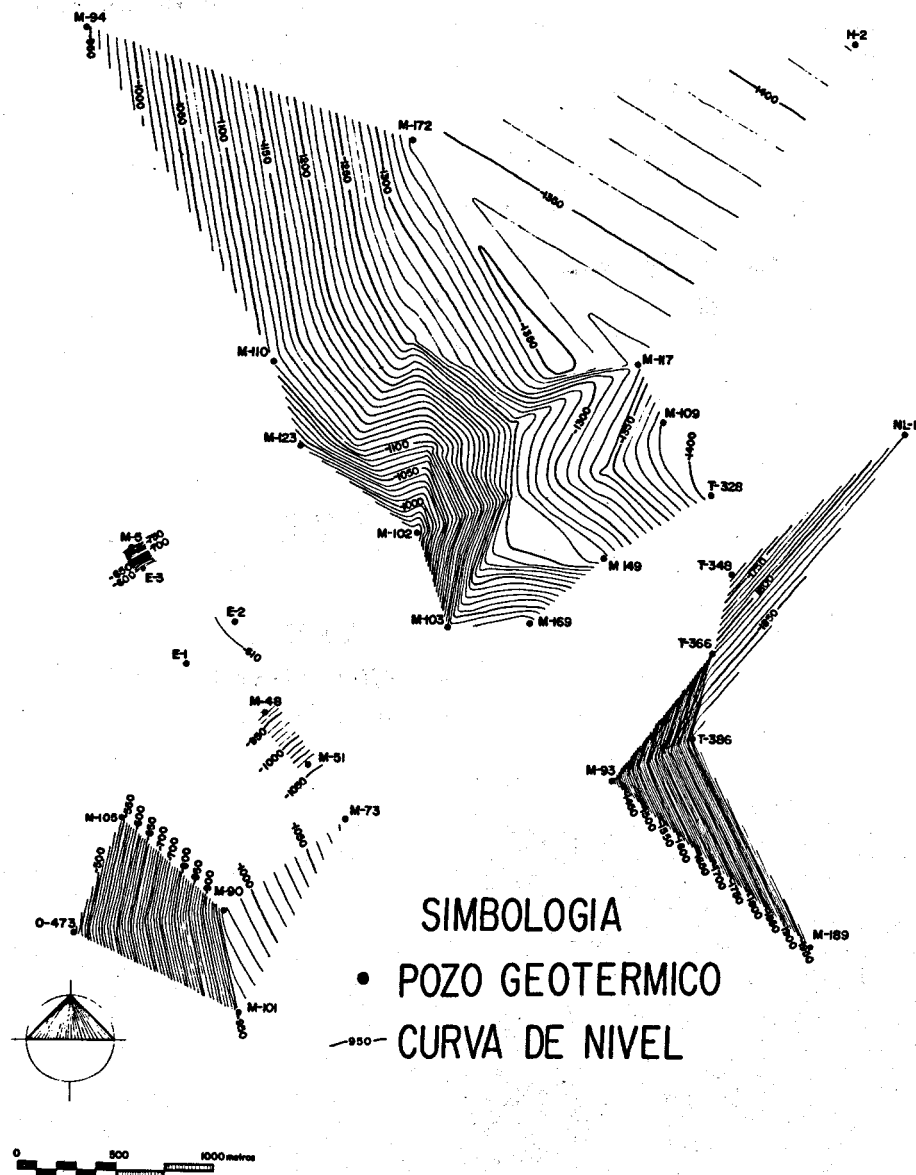


Figura 4. Plano de la cima de la Lodolita.

Figure 4. Contour map of the top of the Gray and Coffee-Colored Shales.



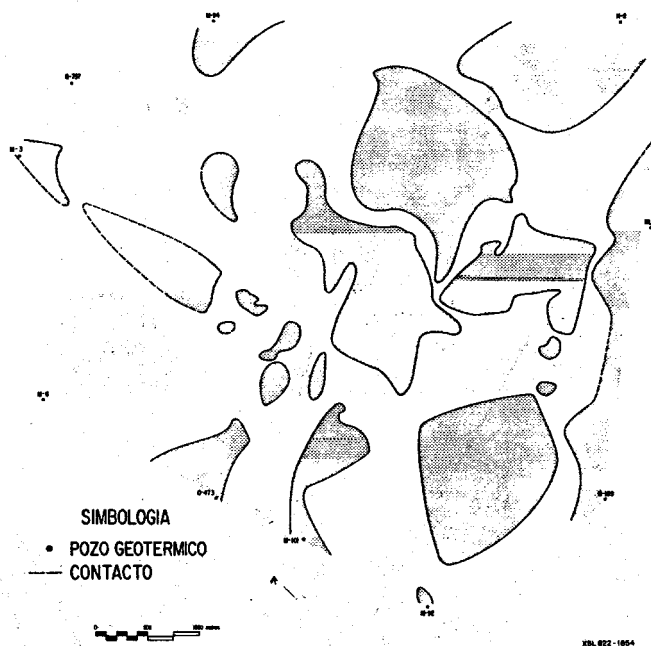


Figura 7. Distribución de la Lodolita.

Figure 7. Distribution of the Mudstone.

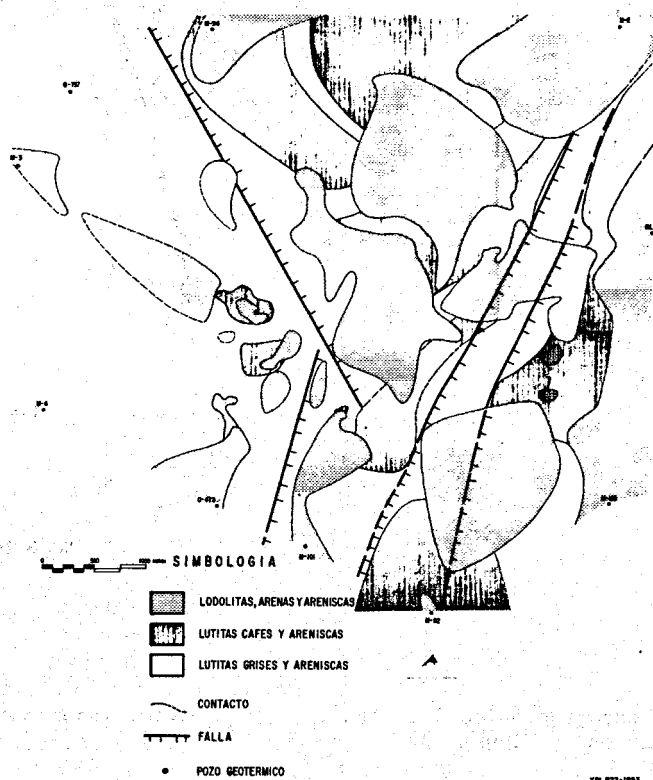


Figura 8. Plano geológico de los sedimentos consolidados.

Figure 8. Geologic map of the consolidated sediments.

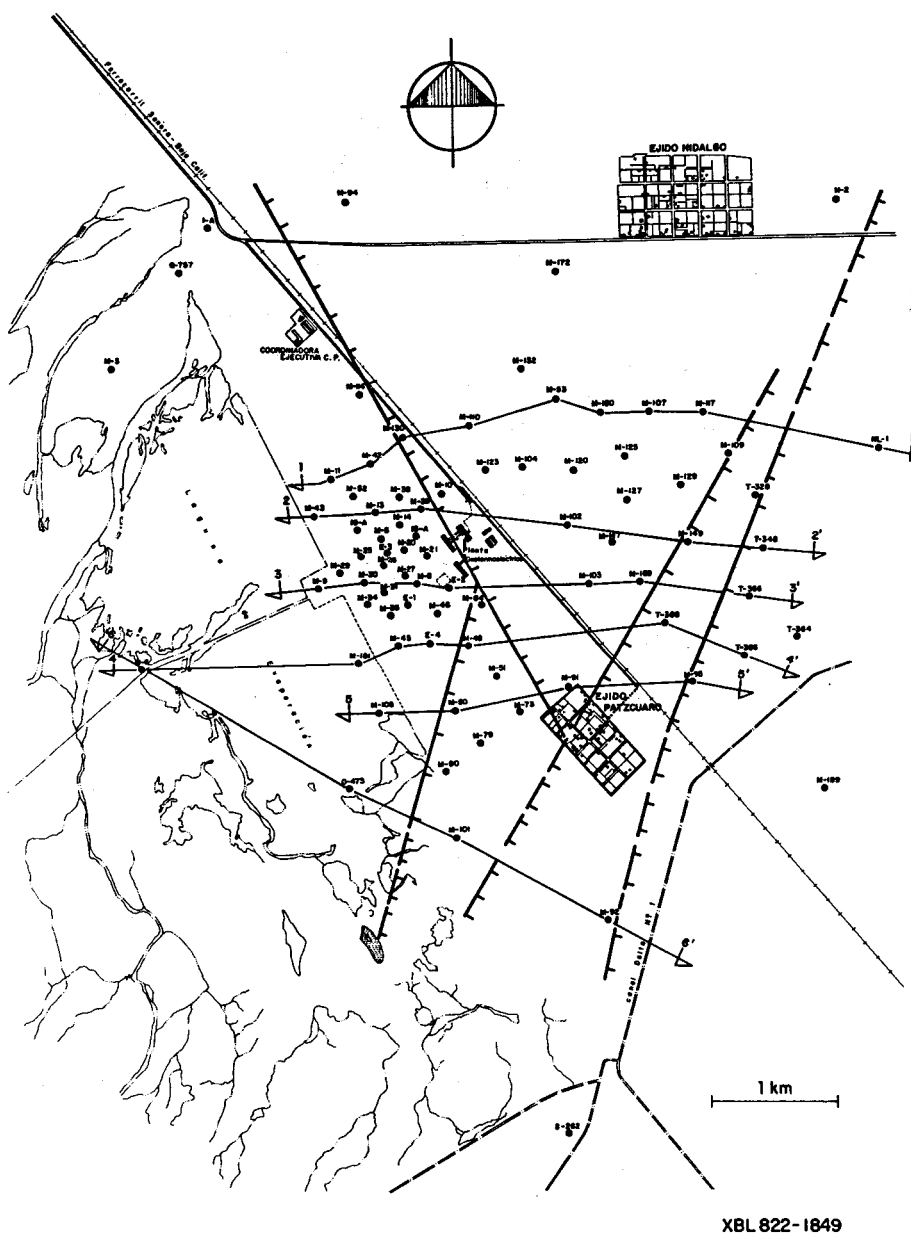


Figura 9. Mapa tectónico del área de Cerro Prieto, indicando las secciones que aparecen en la Figura 10.

Figure 9. Tectonic map of the Cerro Prieto area indicating the cross sections shown in Figure 10.

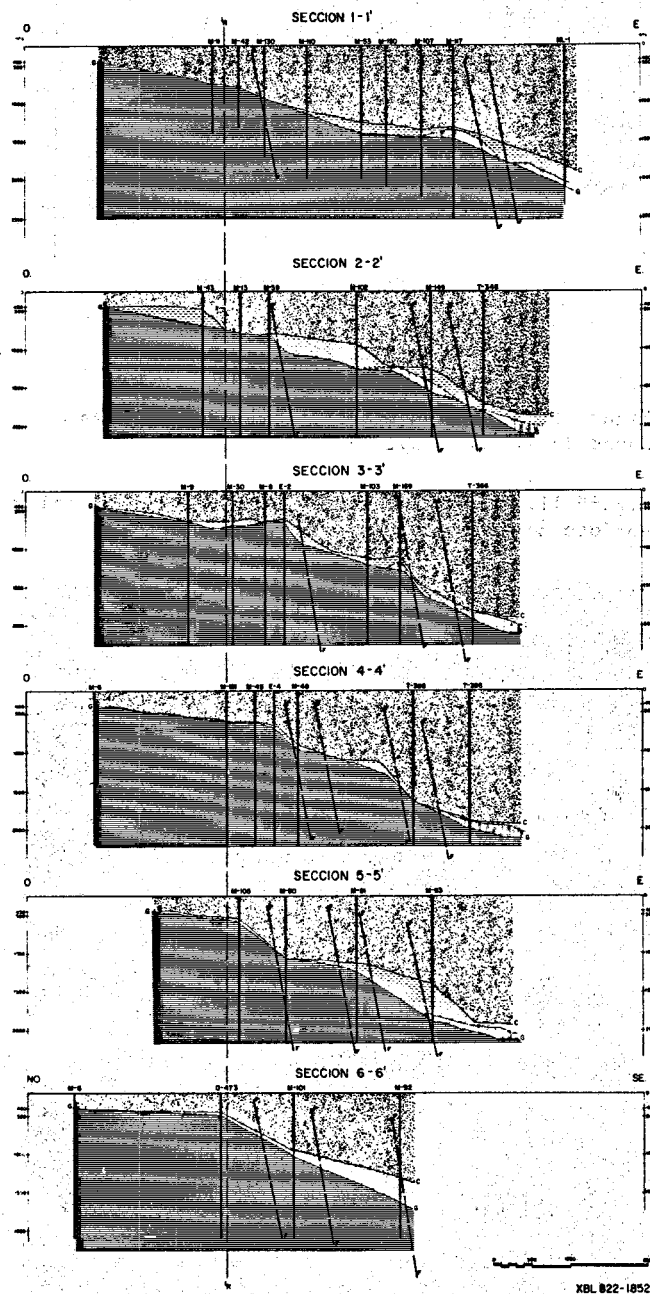


Figura 10. Secciones transversales del area de Cerro Prieto mostrando los sedimentos consolidados.

Figure 10. Cross sections of the Cerro Prieto area showing the consolidated sediments.

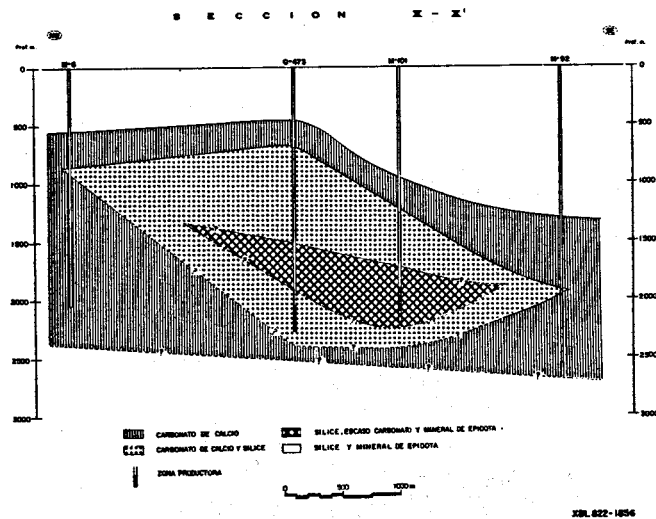


Figura 11. Sección transversal mostrando las zonas de sílice y epidota.

Figure 11. Cross section showing the silica and epidote zones.

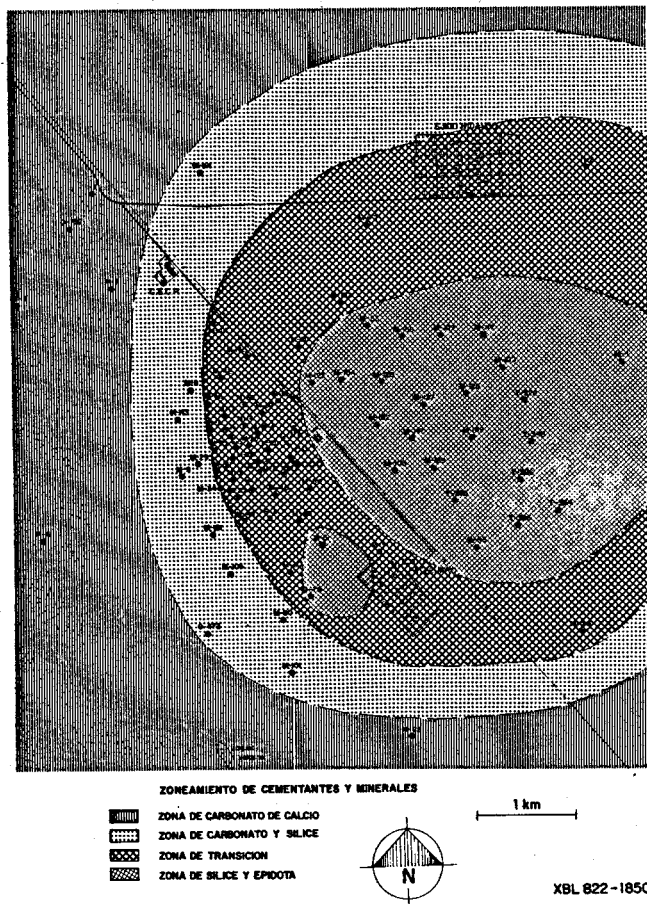


Figura 12. Plano geológico mostrando el zoneamiento de las zonas de cementatnes y minerales.

Figure 12. Geologic map showing the zonation of cements and minerals.

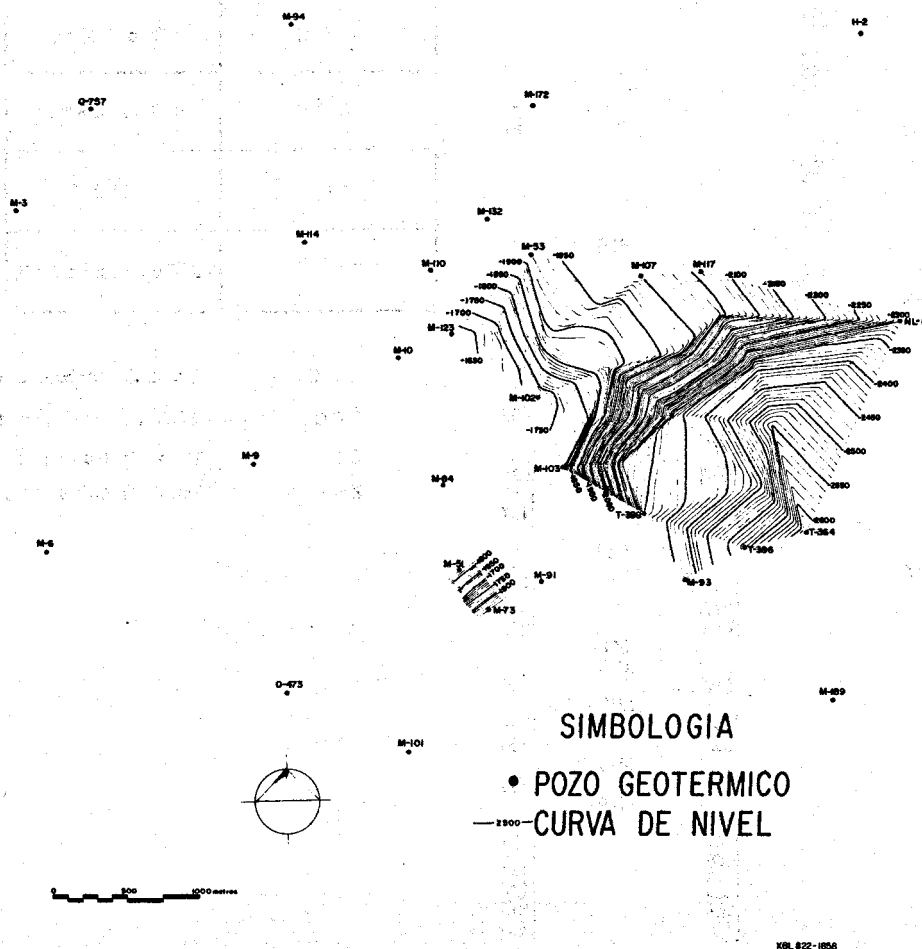


Figura 13. Plano de la cima de la zona de sílice y epidota.

Figure 13. Contour map of the top of the zone of silica and epidote.

Tabla 1. Profundidad de los contactos geológicos.

Table 1. Depth of the geologic contacts.

POZO	SCNC DLTA	SCNC LUT C	SCNC LUT G	DLTA LUT C	DLTA LUT G	LUT C LUT G
M-3	360 m.				441 m.	
M-4	1006			1084 m.		1102 m.
M-5	788			806		803
M-6			398 m.			
M-7			554			
M-8			652			
M-9			654			
M-10			1103			
M-11			750			
M-13			798			
M-14			846			
M-15A			738			
M-19A		750 m.				
M-20		740				765
M-21A			705			791
M-25			800			
M-26			767			
M-27			702			
M-29			751			
M-30	648				696	
M-31		668				674
M-34			690			
M-35		663				645
M-38			811			
M-39			799			
M-42			798			
M-43	492				696	
M-45						618
M-46						669
M-48	927				972	
M-50			1065			
M-51	1044			1053		1071
M-53	1257			1398		1413
M-73	1089			1116		1137
M-84			920.5			
M-90	976				1000	
M-91		1107				1233
M-92	1299			1326		1641
M-93	1410			1812		1887
M-94	948			1059		1290
M-96	19-952				1566	
M-101	951				1035	
M-102	948			1242		1266
M-103	1135				1215	
M-104	1128			1191		1251
M-105	540			555		600
M-107	1356				1443	
M-109	1392			1419		1455
M-110	1113				1149	
M-114	732				783	
M-117	1326			1341		1479
M-120	1086			1166		1320
M-123	1036			1149		1194
M-125	1245			1293		1398
M-127	1254			1281		1350
M-129	1341			1365		1380
M-130			945			
M-132		1217				1319
M-147	1227				1245	
M-149	1266			1140		1563
M-150	1284			1419		1430
M-169	1119			1174		1293
M-172	1345			1378		1614
M-181		591				603
M-189	1970		2127			
O-473	456				492	
Q-757			54			
S-262	560					
T-328	1407				1692	
T-348	1710			1800		1821
T-364		1926				2128
T-366	1818			1845		1926
T-386	1884			1899		2004
T-388			1635			
H-2	1422			1596		1674
NL-1	1821			2034		2097
PRIAN		2218				2431
E-1	603			621		651
E-2	612					654
E-3	594			662		801
E-4						699

Tabla 2. Zonas de cementantes y minerales en Cerro Prieto.

Table 2. Cement and mineral zones at Cerro Prieto.

ZONA DE CEMENTANTES Y MINERALES	TEMPERATURA	ESPESOR
Z C C	60° a 200°C	50 a 1450 m.
Z C C S	150° a 250°C	0 a 1600 m.
Z T	250°C	10 a mayor de 480 m.
Z S E	200° a mayor de 300°C	60 a 460 m.

Z C C — Zona de carbonato de calcio

Z C C S — Zona de carbonato de calcio y sílice

Z T — Zona de transición

Z S E — Zona de sílice y epidota

XBL 822-1855

XBL 822-1851

CONFIGURATION OF THE MUDSTONES, GRAY- AND COFFEE-COLORED SHALE LITHOLOGIC UNITS, ZONES OF SILICA AND EPIDOTE, AND THEIR RELATION TO THE TECTONICS OF THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD

INTRODUCTION

Based on well cuttings, five lithological units have been recognized within the area of what is now the Cerro Prieto geothermal field. These five units show differences in origin, mineralogy, grading, color, compaction, etc.

LITHOLOGY OF THE AREA (Figure 1)

From oldest to most recent, the lithological units of the Cerro Prieto area are the following:

Biotite Granite

This rock constitutes the basement of this area. It was reached while drilling wells M-3, M-96 and S-262.

Gray Shale

Overlying the granitic rocks there are laminated to massive shales, silty shales and siltstones. These show settling structures interbedded with feldspar-poor quartz sandstones. The well sorted, very fine to coarse, subangular to subrounded, white to grayish white sandstones predominate. This unit has a dip of 10° to 15° .

Coffee-Colored Shale

Above the unit just mentioned we find laminated, fissile, coffee-colored shales, silty shales and siltstones, interbedded with moderately to well sorted cream-colored sandstones. This unit is not found in all the wells.

Mudstone

Resting on the coffee-colored shale, or on the gray shale, as the case may be, we find coffee-colored silty mudstones interlayered with cream-colored poorly cemented and moderately sorted sand and sandstones.

Unconsolidated Sediments

Above the previously mentioned units we find clays, sands and a few gravels.

The mudstone and the coffee-colored shale differ mainly in their fissility. The main difference between the two shale units is in their coloration.

The sequence here described is not always complete throughout the field; the mudstone and coffee-colored shale are absent in some wells (see Table 1).

CONFIGURATION OF THE LITHOLOGICAL UNITS

Using the marked differences between

these lithological units, we determined the top of each one of them, except the granite and non-consolidated sediments. The first step of this process was to classify the drill cuttings of 83 wells according to color and fissility.

Method of Analysis

The location of the wells were marked on a 1:10,000 horizontal scale map. There we indicated the first occurrences of these lithological units, and by interpolating values between wells, contours at 10 m intervals were drawn; ground level was assumed to be zero.

Gray Shale (Figure 2)

In the northwestern part of the field a high, with closed contours, is observed. The contours clearly show two orientations, from northwest to southeast and from northeast to southwest.

Northwest-southeast: There are two zones with this orientation characterized by the closeness of the contour lines. The first lies in the west-central portion; it dips 43° (95%) to the north, decreasing to a 36° dip (65%) to the south. The second zone, in the east-central portion, has a 48° dip (114%). The maximum gradients of both zones are toward the southeast.

Northwest-southeast: Contours with this orientation show a 58° dip (60%), with their greatest gradient toward the northeast. These steep gradients are preceded and followed by gentle gradients which increase toward the eastern part of the field. The morphology, then, is one of gentle slopes interrupted by abrupt changes of inclination, resulting in step-like shapes descending toward the east.

Coffee-colored shales (Figure 3)

This lithological unit presents a high in the central part of the field. The contours are predominantly oriented in a northeasterly direction, with steep slopes (32°). The north-south lines have a 6° (10%) gradient, with gentler slopes in the north-central part.

Gray and Coffee-colored Shale (Figure 3-A)

This contour map was prepared taking the depths of the top of the coffee-colored shale and that of the gray shale in wells where no coffee-colored shale was found. Values between wells were interpolated.

Mudstone (Figure 4)

The deposition of this unit reduced the slopes even more. Here the contours strike

predominantly northeast, leveling off and retaining the morphology in its central portion.

Consolidated Sediments (Figure 5)

This map was drawn based on the lithological unit on which the unconsolidated sediments rest. In the northwestern portion of the field the contour lines do not close with respect to the configuration of the gray shale. They are also at shallower depths.

Two trends are observed, one northeast-southwest and another northwest-southeast, the latter lying farther north. The close spacing of the contours that indicated abrupt changes of slope in the gray shale are still noticeable here.

The configuration of the consolidated sediments is very similar to that of the gray shale. The gentlest slopes are now more elongated, and the steepest slopes are reduced by the presence of the mudstone and coffee-colored shale units, thus reflecting the morphology of the gray shale.

GEOLOGY

Method of Analysis

Values obtained from the analysis of drill cuttings were interpolated between wells, taking into account the thickness of the coffee-colored shale and of the mudstone, with the configuration of either the gray shale or the coffee-colored shale, as the case may be, serving as a mold. In this way the occurrence of the coffee-colored shale and of the mudstone was defined.

Coffee-colored Shale (Figure 6)

This lithological unit is widely distributed in the north-central part of the field and in the southeast quadrant. It is less common in the southwestern quadrant. In the north-central part of the field, its thickness increases to the north, reaching its maximum toward well M-172. In the eastern part of the field its thickness increases toward the east.

Mudstone (Figure 7)

This unit is most widely distributed in the east-central part of the field, and is less common in the western part.

Geological Map (Figure 8)

In the eastern part of the field, bodies of coffee-colored shales seem to be bound by the northeast-southwest faults (in the far eastern part of the field) and by the northwest-southeast fault. These bodies are found most commonly in the area of greatest thickness and greatest lithological change within the unconsolidated sediments. The same occurs with the mudstone bodies.

The gray shale is distributed throughout the field. The sandstone bodies vary in thickness, being very thick in the western and northwestern part, and thinning towards the southeast.

TECTONICS

In the area of the Cerro Prieto field there are two fault systems: the Cerro Prieto system, which strikes northwest-southeast, formed by the Imperial and the Cerro Prieto faults; and the Volcano system, running transverse to the first, in which four faults have been recognized to date, based on the configuration of the top of the gray shale.

The displacements of the fault located in the eastern end of the field are estimated to be 200 m in its northeastern portion and 240 m in its southwestern portion. To the west we find another fault, almost parallel to the one just described, with 110 m of displacement in its northern portion (well M-117) and 550 m in its far southwestern portion (well M-101). Further to the west we find a third fault, also striking northeast-southwest, with 230 m displacement in its northern part and 500 m in its southern part. All three faults have their largest displacement in their southwestern portions. The fourth fault, striking northwest-southeast, has an estimated displacement of 100 m in its far southeastern portion and 300 m in its far northwestern portion. The location of its greatest displacement is the opposite of the three faults mentioned above. These faults are considered to be normal.

These displacements were estimated on the basis of the depths of the top of the gray shale, and not on the basis of its marker horizon.

Cross-sections of the consolidated sediments (Figure 10)

These east-west cross-sections constructed through the wells show large changes in slope, which are attributed to faulting.

The coffee-colored shale and mudstone bodies are identified by changes in slope, and are partly responsible for reducing these slopes.

CEMENT AND EPIDOTE ZONES

Four zones have been identified in the consolidated sediments at Cerro Prieto according to the type of cement in the sandstones and the presence of the mineral epidote. From lower to higher temperature, these zones are: 1) Calcium carbonate zone; 2) Calcium carbonate and silica zone; 3) Transition zone (silica, and carbonate-scarce and epidote); 4) Silica and epidote zone (see Table 2).

The temperatures were taken from isotherm maps based on Kuster temperature logs. These zones have vertical as well as horizontal zonations (see Figures 11 and 12).

Configuration of the silica and epidote zone
(Figure 13)

The top of this zone is found at 1650 m depth in well M-123. To the east it deepens to 2600 m in well T-364.

These displacements were estimated on the basis of the depths of the top of the gray shale, and not on the basis of its marker horizon.

Cross-sections of the consolidated sediments
(Figure 10)

These east-west cross-sections constructed through the wells show large changes in slope, which are attributed to faulting.

The coffee-colored shale and mudstone bodies are identified by changes in slope, and are partly responsible for reducing these slopes.

CEMENT AND EPIDOTE ZONES

Four zones have been identified in the consolidated sediments at Cerro Prieto according to the type of cement in the sandstones and the presence of the mineral epidote. From lower to higher temperature, these zones are: 1) Calcium carbonate zone; 2) Calcium carbonate and silica zone; 3) Transition zone (silica, and carbonate-poor and epidote); 4) Silica and epidote zone (see Table 2).

The temperatures were taken from isotherm maps based on Kuster temperature logs. These zones have vertical as well as horizontal zonations (see Figures 11 and 12).

Configuration of the silica and epidote zone
(Figure 13)

The top of this zone is found at 1650 m

depth in well M-123. To the east it deepens to 2600 m in well T-364.

CONCLUSIONS

1. The configuration of the gray shale has a step-like morphology, dropping to the east. These "steps" are attributed to the tectonism of the area.
2. The areas characterized by steep dips in the gray shale have been considered to be fault escarpments.
3. Four faults were detected, based on the depth to the top of the gray shale. These faults coincide with the zones characterized by closely spaced contour lines. This agreement confirms the existence of these faults.
4. The coffee-colored shale and mudstone bodies are recognized by the changes of slope, extending the area of lesser slopes, and reducing those of steeper ones.
5. It seems that the higher temperature zones are intimately related to the faults.
6. The configuration of the gray shale between wells O-473 and M-101 may change depending on the depths at which wells M-47 and M-49 intercept the top of this formation. These depths have been estimated at 750 m for well M-47, and 900 m for well M-49.
7. These configurations are subject to change as more wells are drilled in the field.