

# **Análisis geológico-productivo enfocado a la exploración de la parte oriental del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC**

*Álvaro Aguilar Dumas*

Comisión Federal de Electricidad, Residencia General de Cerro Prieto. Carretera Pascualitos-Pescaderos km 26.5, Mexicali, B.C. México. Correo: [alvaro.aguilar@cfe.gob.mx](mailto:alvaro.aguilar@cfe.gob.mx)

---

---

## **Resumen**

La parte oriental del Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CGCP), conocida como Polígono Nuevo León, representa una área potencial con recursos geotérmicos comprobados, lo que demuestran siete pozos direccionales que se han perforado hacia el este, así como el pozo vertical M-200, localizado dentro del polígono. El pozo M-200 se perforó en 1984 y ha producido a la fecha alrededor de 4 millones de toneladas de vapor, estando integrado al sector CP-2 una producción de 68 t/h de vapor. Actualmente la parte oriental del CGCP, que representa el 25% del área total del campo, produce más de la mitad del total de vapor del campo. El suministro de vapor en los últimos años se ha logrado cubrir aumentando el número de pozos en operación localizados en la zona oriente del CGCP (Rodríguez, 2006), ya que es aquí donde hay condiciones de presión, entalpía y temperatura del yacimiento que son mejores que en otras áreas del campo. Sin embargo, en el mediano plazo se aprecia la necesidad de incorporar al Polígono Nuevo León al área de producción, y extender así la vida productiva del CGCP. Se realiza un análisis geológico y se presentan configuraciones de producción de vapor, temperatura y entalpía desde el CGCP hacia dicha área potencial.

*Palabras Clave:* Cerro Prieto, exploración, sector oriental, Polígono Nuevo León, producción de pozos.

## **Geological and production analyses focused on exploration of the eastern part of the Cerro Prieto geothermal field, BC**

### **Abstract**

The eastern part of the Cerro Prieto geothermal field (CGCP), known as Polígono Nuevo León, is an area with proven geothermal resources, as confirmed by seven directional wells located toward the east and by vertical well M-200 located inside the polygon. Well M-200 was drilled in 1984 and has produced about 4 million tons of steam to date. It is integrated into the CP-2 sector, producing 68 t/h of steam. Presently the eastern part of CGCP, representing 25% of the total field area, is producing over half of the steam for the entire field. In the last few years, the steam has come only after increasing the number of production wells located in the eastern zone of CGCP (Rodríguez, 2006), where pressure, enthalpy and temperature conditions are better than in other parts of the field. However in the long term it will be necessary to incorporate Polígono Nuevo León into the productive area to expand the productive life of CGCP. This paper includes a geological analysis, plus models for steam production, temperature and enthalpy for Polígono Nuevo León.

*Keywords:* Cerro Prieto, exploration, eastern sector, Polígono Nuevo León, well production.

---

---

## **1. Introducción**

El Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP), se compone de un yacimiento geotérmico de líquido dominante, alojado en un ambiente sedimentario. Está ubicado en una cuenca de tipo *pull-apart*, formada por los sistemas de fallas de Cerro Prieto e Imperial que son parte del sistema de fallas de San Andrés.

El CGCP empezó a explotarse comercialmente en 1973. A partir de esa fecha se ha extraído vapor geotérmico que se distribuye a las diferentes centrales generadoras. Actualmente se tiene una capacidad instalada de 720 MW y se extraen aproximadamente 5800 t/h de vapor para cumplir la demanda de las centrales. Hay un total de 353 pozos perforados, de los cuales alrededor de 170 se encuentran integrados al proceso productivo. El presente estudio se refiere específicamente a la parte este del campo, y tiene como objetivo evaluar las características geológicas y geotérmicas de la misma para tratar de incluirla al área de producción, extendiendo de esta manera la vida productiva del campo. Para ello, se realiza un análisis geológico y se presentan configuraciones de producción de vapor, temperatura y entalpía desde el CGCP hacia el área oriental, conocida como Polígono Nuevo León.

El CGCP se encuentra en el estado de Baja California, 30 km al sureste de la ciudad de Mexicali, entre los meridianos 115° 12' y 115° 18' longitud oeste y los paralelos 32° 22' y 32° 26' de latitud norte.

## 2. Geología

La zona geotérmica del Valle de Mexicali, se localiza dentro de la cuenca de Salton, que abarca desde el Salton Sea en la porción sur del estado de California, Estados Unidos, hasta el Golfo de California y forma parte del sistema tectónico de San Andrés, formado por fallas transcurrentes con desplazamientos normales, de dirección general NO-SE (Fig. 1).

Las fallas más importantes reconocidas en la zona del CGCP son la Cucapá, Cerro Prieto, Michoacán e Imperial (Aguilar, 2006).

### 2.1. Geología Regional

El CGCP está localizado en la planicie deltaica del Río Colorado, la cual forma parte de la depresión estructural conocida como depresión de Salton. A nivel regional el área corresponde a una gran cuenca de origen tectónico rellena de sedimentos continentales y marinos Terciarios-Cuaternarios, que sobreyacen a un basamento constituido por rocas graníticas. El límite occidental de la cuenca lo forma la Sierra Cucapá, que está compuesta por rocas ígneas intrusivas.

La estructura volcánica de Cerro Prieto consta de dos centros eruptivos superpuestos y es el origen de los afloramientos de rocas volcánicas andesíticas y riodacíticas (Vázquez, 1998).

La distribución de los sedimentos en el Valle de Mexicali y Valle Imperial se ha visto afectada por el movimiento hacia el NO de la Península de Baja California a lo largo del sistema de Fallas San Andrés, desde hace aproximadamente cuatro millones de años. Se ha estimado una velocidad de desplazamiento de 36 mm al año a lo largo de la Falla San Andrés, que junto con el desplazamiento hacia el norte de la península de las fallas Imperial, Elsinore, Laguna Salada, Cerro Prieto, etc., sugiere un desplazamiento de rumbo N-NO del orden de 300 km de la península con respecto al continente. El efecto de este movimiento en la desembocadura del Río Colorado durante el Plio-Cuaternario es el alargamiento de las cuencas de Salton y de Cerro Prieto hasta convertirlas en cuencas tipo *pull apart*, elongadas en dirección NO, y la actividad magmática reciente que constituye la fuente de calor para el yacimiento geotérmicos (Lira, 2005).

## 2.2. Geología Local

Las unidades litológicas de la más antigua a la más joven son las siguientes:

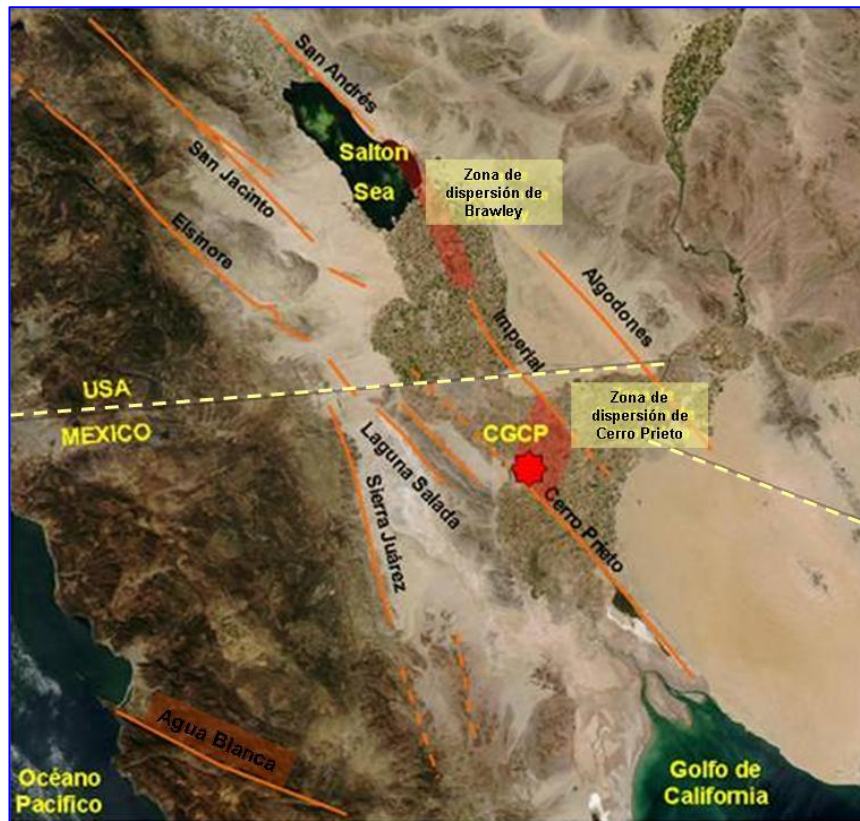


Fig. 1. Rasgos estructurales regionales relacionados con el CGCP

Rocas Batolíticas del Cretácico (*Edad aproximada de 120 Ma*): Los principales ejemplos de este tipo de rocas cercanas al CGCP, forman gran parte de la Sierra Cucupa y de la Sierra El Mayor, y son de composición granítica a tonalítica.

Rocas Sedimentarias del Terciario (*Edad de 13.5 a 1.8 Ma*): Compuestas por una secuencia de lutita gris a negro intercalada con areniscas de cuarzo de grano fino a medio. Los fluidos geotérmicos se alojan en las areniscas. La cima de esta unidad está constituida por lutitas de color café y lodolitas, y en el área del Polígono Nuevo León se estima encontrarla entre los 1800 y 2400 m de profundidad.

Depósitos Aluviales del Pleistoceno y Reciente (*Edad de 1.8 millones a 100 mil años*): En el CGCP se les conoce como Sedimentos Clásticos No Consolidados (SCNC) y están conformados por secuencias de arenas,

gravas y arcilla plástica color café. Su espesor varía entre 500 a 2300 metros, estando su base a mayor profundidad en el sector oriental del CGCP.

Rocas Extrusivas del Cuaternario: Están presentes en el volcán Cerro Prieto y son de composición andesítica a riodacítica.

## 2.3. Geología Estructural

Localmente se observan tres importantes fallas en la zona (Figura 2), que son las de Cerro Prieto, Michoacán y el llamado sistema de Fallas H.

Dentro del CGCP la falla Cerro Prieto (FCP) es de rumbo NE-SO, con echado al SO de 75°-80°. Pertenece al sistema de fallas Cerro Prieto, el cual es un sistema del tipo dextral que se extiende desde el centro de dispersión de Cerro Prieto hasta la Cuenca de Wagner. El trazo de la falla es visible únicamente en su sector sur; la parte norte ha sido determinada por mecanismos focales y métodos geofísicos. Con base en la localización de hipocentros de movimientos sísmicos, se ha calculado que la FCP se extiende 34 km adicionales al noroeste de su último afloramiento reconocido, aproximadamente a 32° 42' de latitud N (Magistrale, 2002). Es la estructura que marca la frontera entre las Placas de Norteamérica y Pacífico, en la región del Valle de Mexicali; su desplazamiento promedio es mayor a 50 mm al año (Cruz-Castillo, 2002).

La falla Michoacán pertenece al mismo sistema de fallas Cerro Prieto, de rumbo NO-SE y echado variable al SE. Esta estructura y la falla Cerro Prieto forman un *horst* o bloque levantado que se acuña al sur. En este bloque se aloja el sector del CGCP conocido como Cerro Prieto I (CP-1) (Fig. 2).

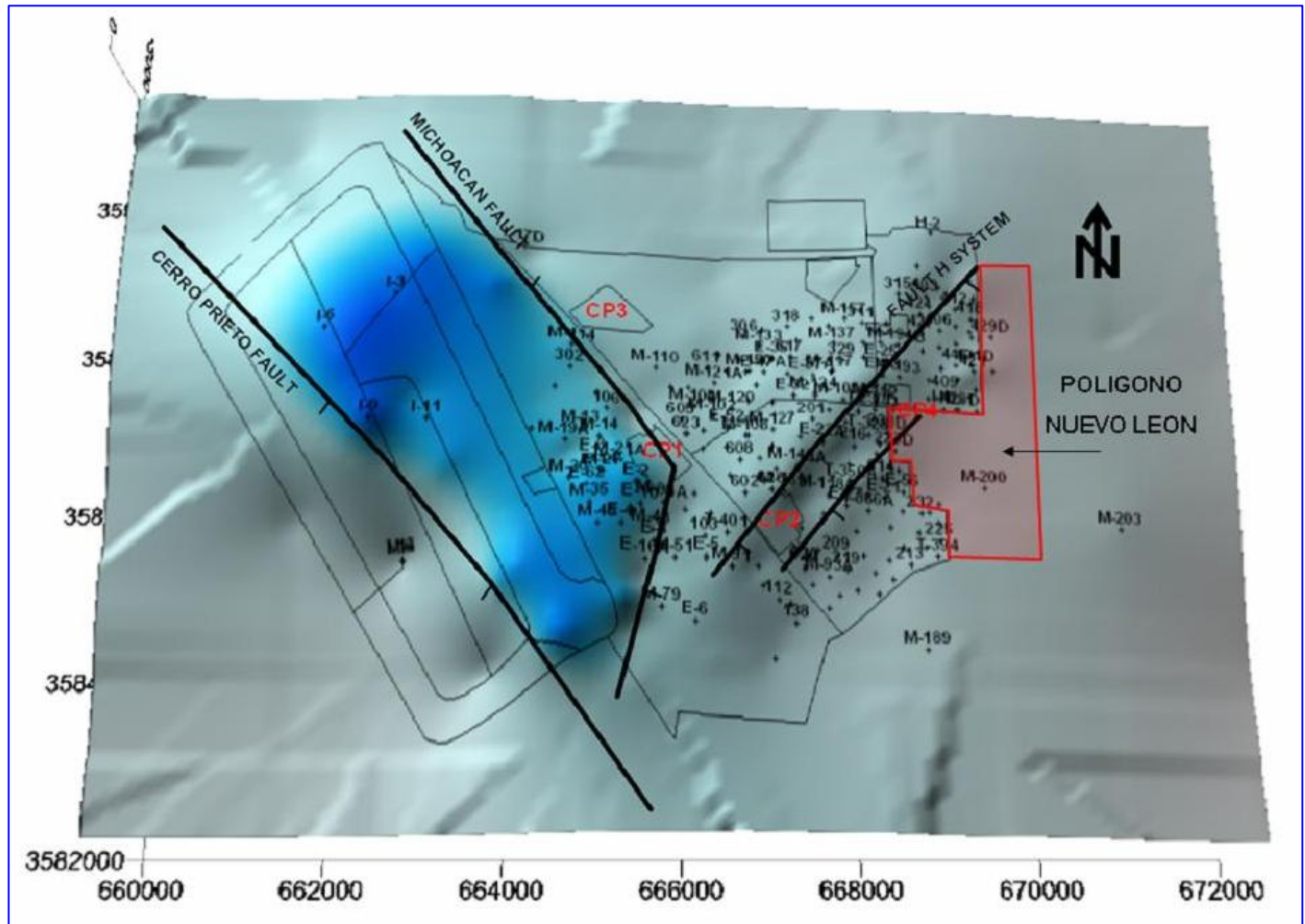


Fig. 2. Rasgos estructurales en el CGCP, representados en la cima de la Lutita gris.

El sistema de fallas H, de rumbo NE-SO y echado al SE de  $45^\circ$  a  $65^\circ$ , es producto de los esfuerzos de tipo dextral entre la Falla Imperial y el sistema de Fallas Cerro Prieto.

La cuenca tectónica en donde se encuentra el yacimiento está limitada al este por la Falla Imperial y al oeste por la Falla Michoacán.

Esto define cuatro bloques estructurales claramente definidos, en donde: CP-1 se encuentra en el bloque alto central (AC) y la cima de la Lutita Gris se halla entre 400 y 700 metros bajo el nivel del terreno (mbnt); CP-2 y CP-3 están en el bloque bajo central (BC), con la cima de la Lutita Gris entre 1000 y 1500 mbnt; CP-4 en el bloque bajo este (BE), con la cima de la Lutita Gris entre 1800 y 2400 mbnt; y el bloque caído al oeste (BO), donde la cima de la Lutita Gris se conoce a más de 2000 m de profundidad (pozo I-15). El Polígono Nuevo León, se encuentra también en el bloque bajo este (BE).

### 3. El Polígono Nuevo León

El CGCP se encuentra dividido en cuatro sectores conocidos como CP-1, CP-2, CP-3 y CP-4. Para efectos de este trabajo el campo se dividió en tres áreas, denominadas como área occidental, área central y área oriental. El área oriental comprende CP-4, parte de CP-2 y el Polígono Nuevo León (PNL), el cual representa un área potencial con recursos geotérmicos comprobados ya que hay siete pozos direccionales (429D, 431D, 428D, 230D, 231D, 223D y 228D) que se han perforado en las partes orientales de CP4 y CP2, así como el pozo vertical M-200, perforado directamente en el PNL (Fig. 3).

El PNL se localiza en terrenos ejidales pertenecientes al Ejido Nuevo León del Municipio de Mexicali, BC, y está formado por tierras de uso agropecuario con una superficie de 312 hectáreas.

Actualmente las zonas con mejores producciones de vapor, mayor temperatura y mejor entalpía del CGCP se localizan en la parte oriental del campo. Por ello, es necesario extender el área de explotación del campo hacia el PNL, a fin de garantizar el suministro de vapor con la cantidad y oportunidad necesaria.

Desde el punto de vista geológico, el PNL se encuentra en una cuenca tipo *pull apart*, formada entre la Falla Michoacán al oeste y la Falla Imperial al este.

En el PNL el inicio de la Zona de Sílice y Epidota (ZSE), que es indicativa de la zona productora, se localiza a partir de los 2300 m de profundidad en su porción noroeste, pero se profundiza hacia el sureste por lo menos hasta los 3000 m. Por lo tanto, la profundidad propuesta para futuro pozos a ubicar en el PNL está entre 2750 y 3450 m, con intervalos de producción de 2350 a 3450 m (Lira, 2000).

Se configuraron en planta los datos de las mediciones que se reportan por parte de la Residencia de Suministro de Vapor, entre ellas: producción de vapor en t/h (Fig. 4), entalpía en kJ/kg (Fig. 5) y temperatura en grados Celsius (Fig. 6). Estas configuraciones resaltan las áreas de mejor producción y mayores temperaturas y entalpías, que se ubican justamente hacia la porción oriental del campo, lo que ratifica la necesidad de ampliar el área de producción hacia el PNL, para extender así la vida productiva del CGCP.

Así, en la Figura 4 se puede apreciar que los pozos que se perforen en el PNL tendrán probablemente producciones superiores a las 50 t/h, pudiendo llegar hasta las 80 t/h en su parte media. En la Figura 5 se observa que en ese mismo polígono los fluidos de los pozos podrían presentar entalpías superiores a los 2000 kJ/kg, con máximos probables de hasta 2600 kJ/kg en su porción noreste. En la Figura 6, finalmente, la configuración permite pronosticar temperaturas hasta de 370° C para esos mismos pozos.

Por su parte, los pozos direccionales 429D, 431D, 230D, 231D, 223D, 228D se localizan prácticamente en la periferia del PNL, mientras que el pozo vertical M-200 se encuentra dentro de él, en su porción centro-sur, como se observa en las figuras 4, 5 y 6. Este pozo vertical se ubica a 875 m al oriente del pozo E-56, que pertenece al sector CP-2, y a 843 m al sur del pozo 423, que está localizado sector CP-4. Por lo tanto, se halla en pleno PNL. La producción conjunta de esos pozos direccionales más la del pozo vertical es de 428 t/h de vapor, lo que arroja un promedio de 61 t/h por pozo, con una entalpía media de 1984 kJ/kg. En particular, el

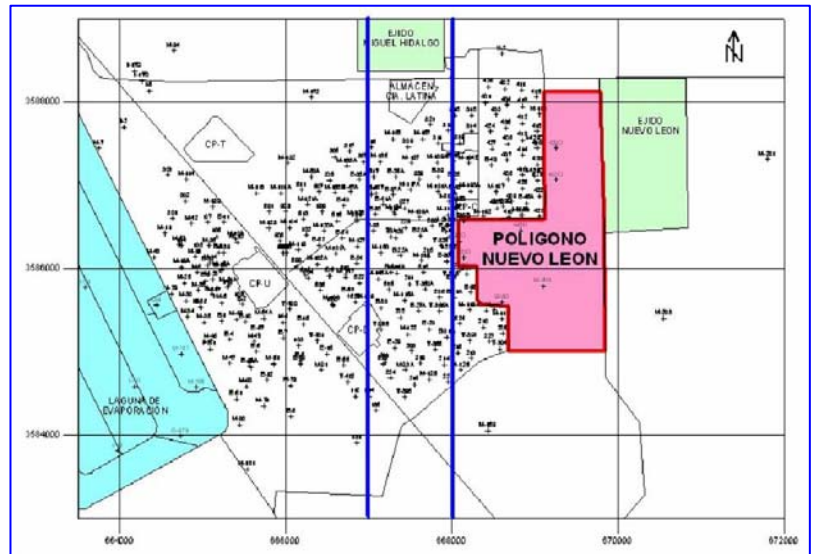


Fig. 3. Ubicación del Polígono Nuevo León en el CGCP.

pozo M-200 se perforó en 1984 y ha producido a la fecha alrededor de 4 millones de toneladas de vapor. Actualmente se encuentra integrado al sector CP-2 con 68 t/h de vapor, 39 t/h de agua y una entalpía de 2,088 kJ/kg.

Cabe recordar además que la porción oriental del campo representa una cuarta parte de la extensión

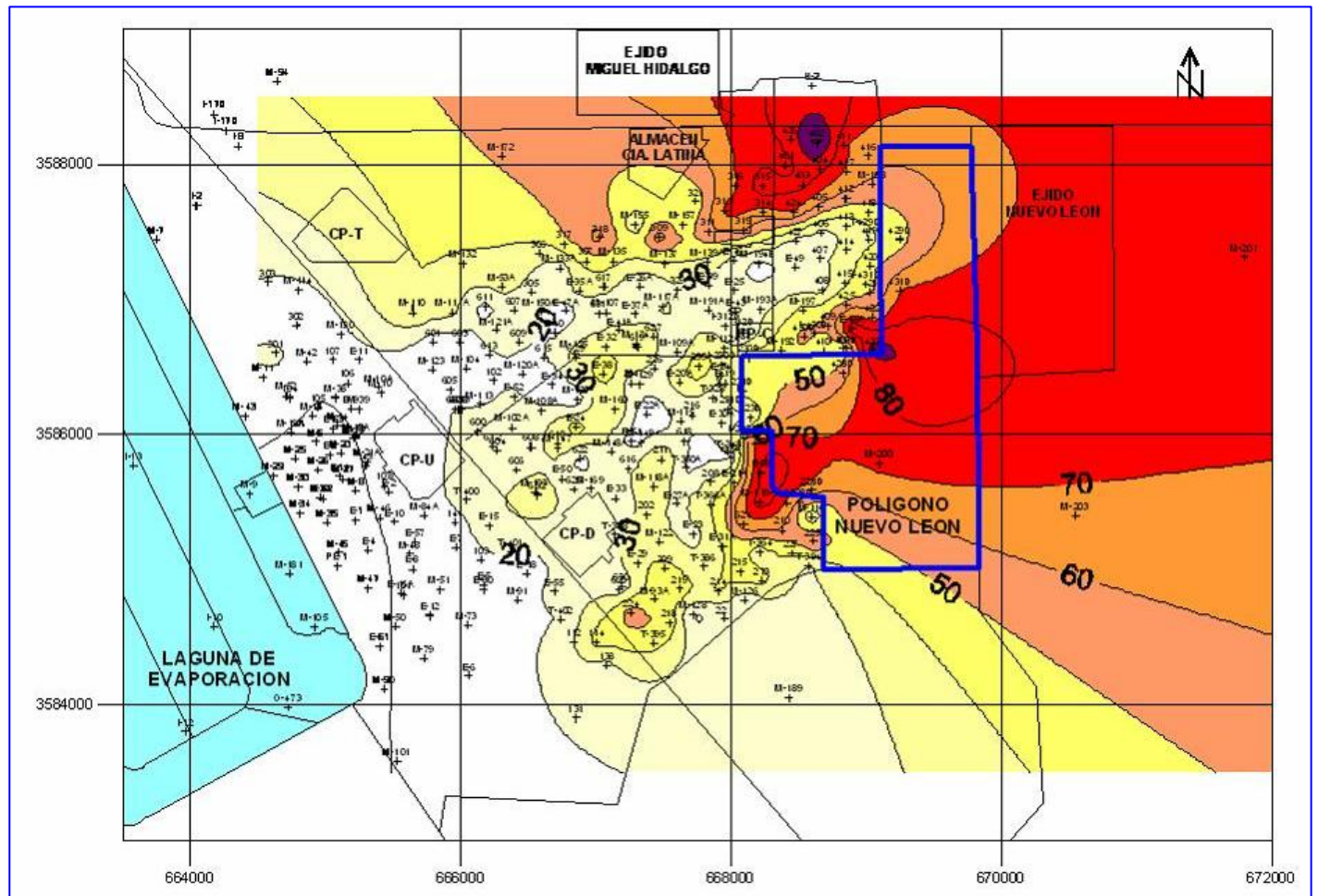


Fig. 4. Curvas de igual producción de vapor en t/h en el CGCP y el PNL.

superficial del CGCP. Sin embargo, en ella están localizados pozos que producen actualmente alrededor de 3 mil t/h de vapor, que es más del 50% de la producción total de vapor del campo (Rodríguez, 2006).

Lo anterior hace evidente la necesidad de integrar el área del PNL al área productiva del CGCP. Con ello, los futuros nuevos pozos que se perforaran ahí tendrían altas probabilidades de resultar buenos productores y contribuirían a satisfacer las necesidades de vapor en el mediano y largo plazo.

#### 4. Condiciones probables del yacimiento en el PNL

Es probable que algunas condiciones anómalas que se presentan en el sector CP-4 ocurran también en el subsuelo del PNL. Entre ellas cabe destacar:

- La zona se encuentra afectada por la influencia del sistema de Fallas H (Fig. 2).
- Los estudios de isotopía indican la presencia de fluidos más someros que pueden estar infiltrándose al yacimiento a través de dicho sistema (Fig. 7).

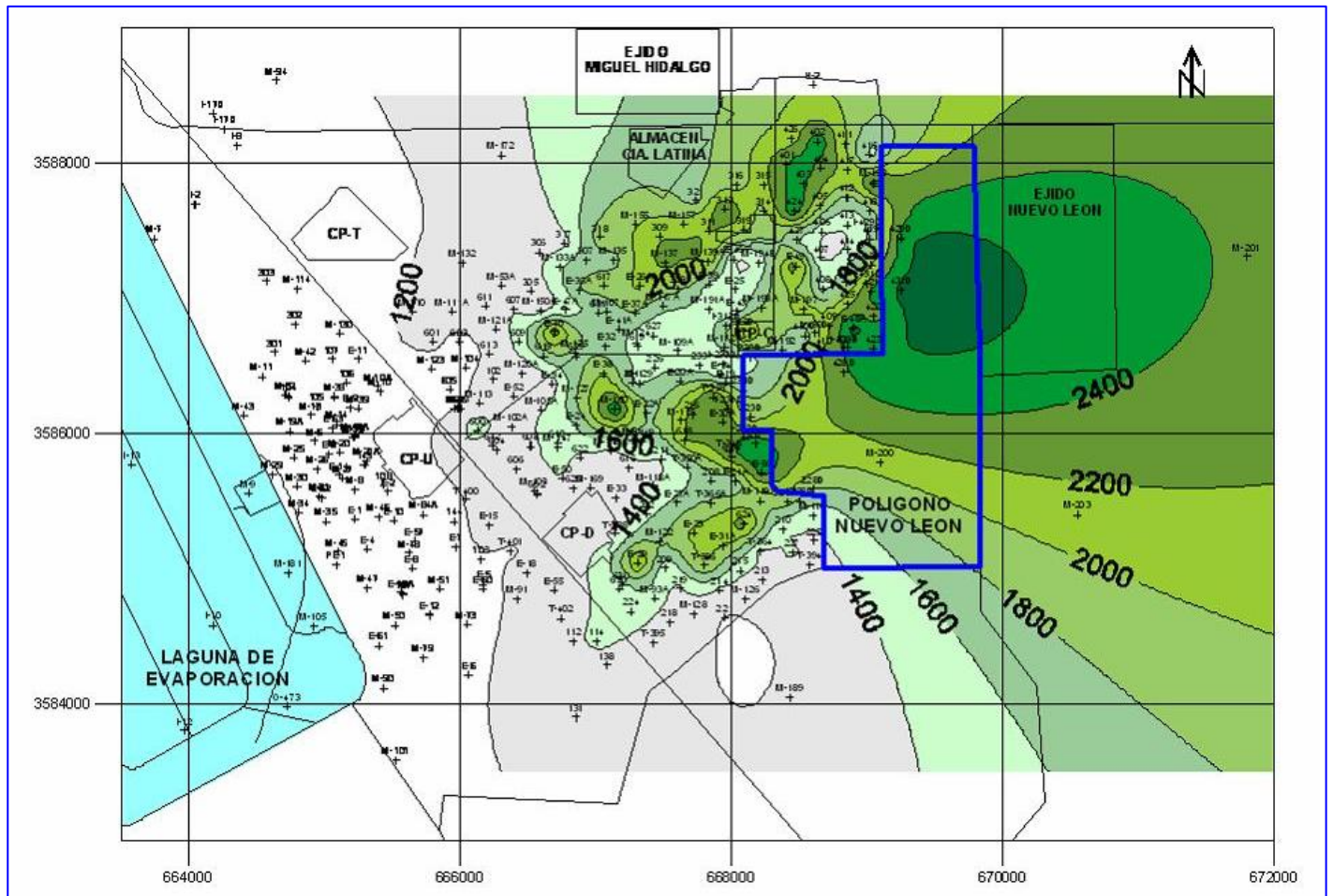


Fig. 5. Curvas isoentálpicas en el CGCP y en el PNL.

- La zona productora probablemente estará a mayor profundidad que el inicio de la cima de la ZMSE. En particular, es probable que no se presente la zona conocida como el “domo”, que es un “levantamiento” importante de la cima de la ZMSE (Fig. 7).
- En los últimos años se han detectado condiciones corrosivas en tuberías de pozos ubicados en el sector CP-4, tales como los pozos 409, 410, 430D, NL-1, M-192, 428D, 423, 424, 425, 429D, 431D y M-198, algunos de los cuales han arrojado fragmentos de sus tuberías de revestimiento. Estos pozos presentan entalpías altas, un proceso de ebullición importante y de condensación de vapor, debido a la escasa recarga del yacimiento en esta área. Sin embargo, parece descartada la existencia de un yacimiento hidrotermal ácido (IIE, 2006).

Es importante comentar también que hacia el PNL se ubica la denominada anomalía magnética Nuevo León, que es uno de los principales resultados de los estudios magnetométricos realizados desde 1977 en el CGCP, y que en su momento se asoció a la probable ubicación de la fuente de calor en el subsuelo del polígono.

En efecto, las altas temperaturas a profundidades relativamente escasas, sugieren que en el subsuelo del PNL se encuentre la fuente de calor del sistema, que ha sido modelada como una intrusión ígnea joven, de entre 30 mil y 50 mil años de antigüedad, posiblemente de composición gabroica y que podría ubicarse a unos 5 kilómetros de profundidad (Elders *et al.*, 1982).

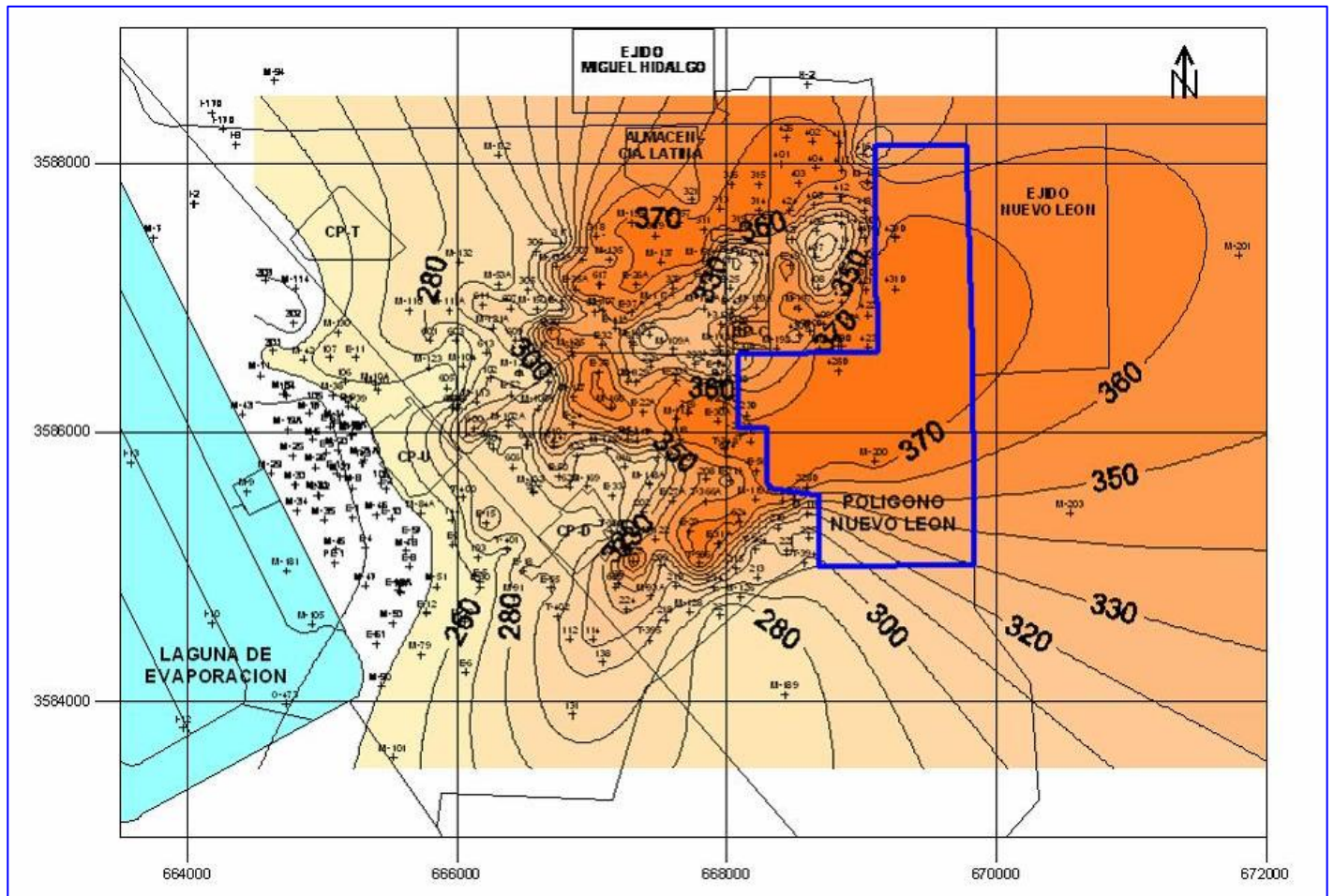


Fig. 6. Configuración de isotermas en el CGCP y el PNL.

La zona de debilidad cortical generada durante el Terciario sería la responsable del emplazamiento de dicho intrusivo básico en la cuenca de Cerro Prieto, el cual a su vez es el causante de la anomalía magnética Nuevo León. El intrusivo parece haber sido alimentado por nuevas intrusiones magmáticas debidas a la actual tectónica extensional del Golfo de California (Lira, 2000).

## 5. Conclusiones y recomendaciones

- El yacimiento geotérmico del CGCP es dinámico. Con el paso del tiempo y debido a los procesos de producción, las mejores condiciones se han ido desplazando y profundizando hacia su porción oriental. A la fecha es evidente que las zonas de mejor producción de vapor, entalpía y temperatura se encuentran en esa parte, es decir hacia el Polígono Nuevo León.
- La demanda de vapor en los últimos años se ha logrado cubrir porque se ha aumentado el número de pozos en operación ubicados en la zona oriental del CGCP (Rodríguez, 2006), ya que es aquí donde hay condiciones de presión, entalpía y temperatura del yacimiento mejores que en otras áreas del campo. A mediano plazo es necesario integrar al PNL al área de producción actual, y extender así la vida productiva del CGCP.



- Las condiciones geológicas de la parte norte del PNL se estiman similares a las que actualmente se conocen en el sector CP-4. Así, el PNL estará afectado por la influencia del sistema de fallas H, lo cual provoca infiltración de fluidos más someros al yacimiento, y probablemente presentará como zonas con fluidos corrosivos.

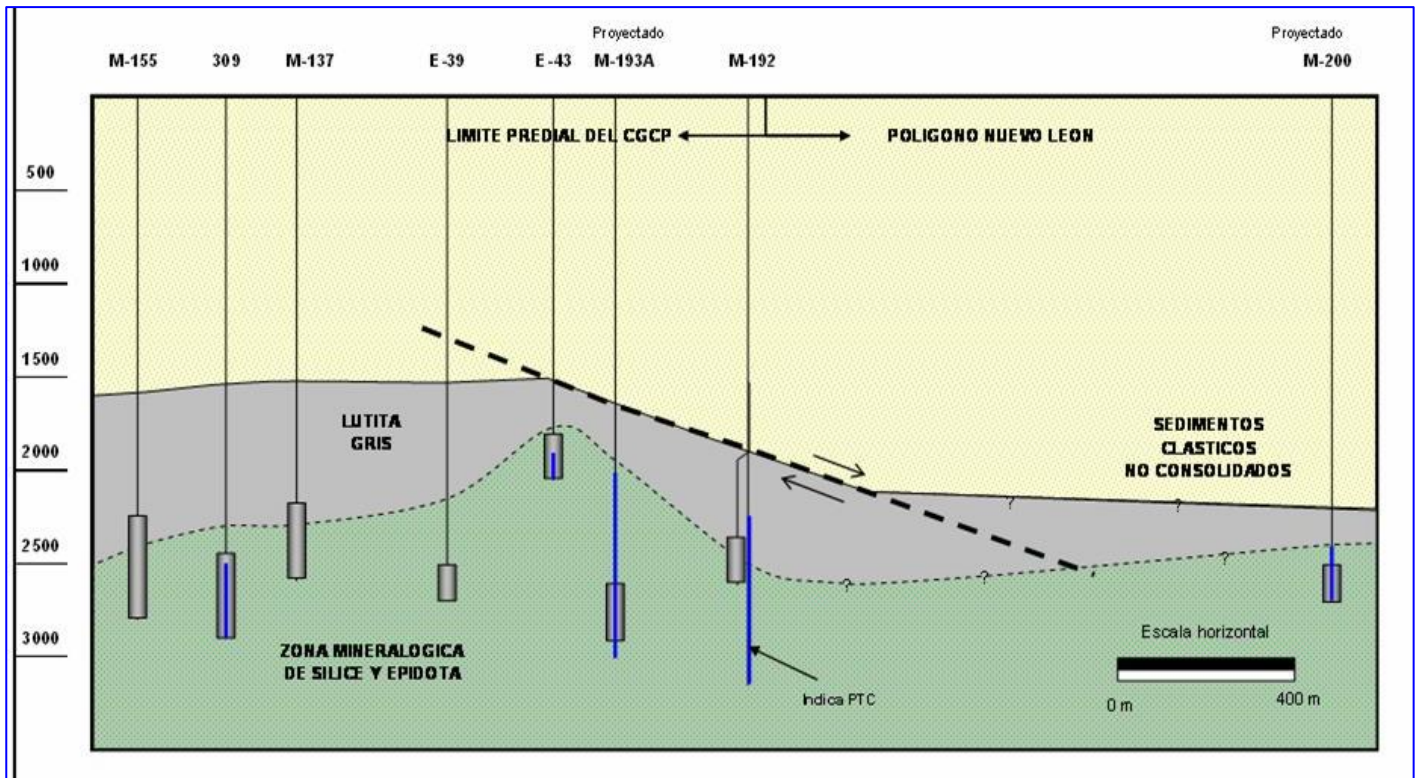


Fig. 7. Sección geológica NO-SE, viendo al NE.

- Dado que el PNL se ubica en la zona donde se ubicó la anomalía magnética Nuevo León, la perforación de pozos en esa área servirá también para definir y estudiar mejor esa anomalía y su relación con la fuente de calor del sistema geotérmico.

## Referencias

- Aguilar, A., 2006. Update of the Cerro Prieto Geological Model. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, Vol. 30, pp. 3-7.
- Cruz-Castillo, M., 2002. Catálogo de las Fallas Regionales Activas en el Norte de Baja California, México. Informe interno del Instituto Mexicano del Petróleo, Mexico. Inédito.
- Elders, W.A., D.K. Bird, A.E. Williams, P. Schiffman, y B. Cox, 1982. Modelo para una fuente de calor del sistema magmático hidrotermal de Cerro Prieto, Baja California, México. *Cuarto Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto Baja California, México*, Vol. 2, pp. 661-681.
- IIE, 2006. Estudios Geocientíficos del Polígono Hidalgo del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. Reporte IIE/11/12875 01/F, Febrero 2006. Inédito.
- Lira H., H., 2000. Condiciones geológicas del Polígono Nuevo León. Informe Interno RE-021/2000, CFE, Residencia General Cerro Prieto. Inédito.

- Lira Herrera, H., 2005. Actualización del modelo geológico conceptual del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. *Geotermia*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-46.
- Magistrale, H., 2002. The relation of the southern San Jacinto fault zone to the Imperial and Cerro Prieto faults. In: Barth, A., ed., *Contributions to Crustal Evolution of the Southwestern United States*, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 365, pp. 271-278.
- Rodríguez, M.H., 2006. Análisis de la producción de vapor del CGCP y su perspectiva. Informe interno, CFE, Residencia General Cerro Prieto. Inédito.
- Vázquez G., Rogelio, 1998. Estudio geohidrológico del campo geotérmico Cerro Prieto. Informe Técnico RE-05/98, CICESE. Inédito.