

Zonas de alteración hidrotermal y condiciones actuales del yacimiento: un enfoque para determinar zonas productoras al oriente del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC

Juan Manuel Camacho Hernández

CFE, Residencia General de Cerro Prieto. Correo: juan.camacho02@cfe.gob.mx

Resumen

Los factores geológicos son determinantes, tanto para establecer nuevos sitios de perforación como para determinar el intervalo productor de un pozo nuevo. En el campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) una de los factores más importantes es la determinación de las zonas de alteración hidrotermal (ZAH) que se dividen en dos: zona mineralógica de sílice y epidota (ZMSE), sin presencia de CaCO_3 , y zona de transición mineralógica de sílice y epidota (ZTMSE), con presencia de CaCO_3 . Por otra parte, también se ha constatado que la continua variación de las condiciones termodinámicas del yacimiento (temperatura, presión y entalpía) es originada en buena medida por la explotación del recurso geotérmico. La ocurrencia de nuevas condiciones termodinámicas registradas en el yacimiento ha ocasionado la reubicación de pozos productores propuestos previamente, como ocurrió durante la antepenúltima etapa de perforación entre los años 2004 y 2006. Mediante la elaboración de secciones geológicas en la parte oriental del CGCP, se observa que los ajustes efectuados a las terminaciones de pozos las ubican en los límites entre la ZMSE y la ZTMSE, lo que a su vez guarda relación con las actuales y mejores condiciones termodinámicas registradas en el yacimiento. A partir de esto se propone un nuevo enfoque geológico para establecer posibles zonas productoras a futuro, lográndolo al interrelacionar las ZAH con las condiciones termodinámicas actuales del yacimiento geotérmico.

Palabras clave: Alteración hidrotermal, Cerro Prieto, condiciones termodinámicas, terminación de pozos, zonas de alteración.

Hydrothermal alteration zones and present reservoir conditions: an approach to define production zones at the eastern portion of the Cerro Prieto geothermal field, BC

Abstract

Geological factors are as essential for locating new wells as they are for defining the production zones of these wells. At the Cerro Prieto geothermal field (CGCP), one of the most important geological factors is identification of the hydrothermal alteration zones (ZAH). These are divided into silica and epidote mineralogical zones (ZMSE), without CaCO_3 , and silica and epidote mineralogical transition zones (ZTMSE), with CaCO_3 . It has been observed that the continuous variation of reservoir thermodynamic conditions (temperature, pressure and enthalpy) is due mainly to the exploitation of geothermal resources. The presence of new thermodynamic conditions recorded at the reservoir has led to the re-location of production wells originally located during the drilling campaign of 2004 to 2006. At the geological sections on the eastern part of the CGCP, adjustments made to the well completions lie on the limits between the ZMSE and ZTMSE zones. In turn, this is related to the current, superior, thermodynamic reservoir conditions. Based on this, a new geologic approach is proposed to define possible production zones for new wells, relating the ZAH zones to current thermodynamic reservoir conditions.

Keywords: Hydrothermal alteration, Cerro Prieto, thermodynamic conditions, wells completion, alteration zones.

1. Introducción

El campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) se localiza al sureste de la ciudad de Mexicali, Baja California (Fig. 1). Es el campo geotérmico más importante del país y el segundo campo más grande a nivel mundial. Se encuentra dividido en cuatro zonas: Cerro Prieto Uno (CP1), en la parte oeste del campo, Cerro Prieto Dos (CP2) al sureste, Cerro Prieto Tres (CP3) al noreste y Cerro Prieto Cuatro (CP4) localizado al noreste de CP2. La capacidad geotermoeléctrica instalada es de 720 MWe. El área total aproximada de explotación e inyección es de 33 km².

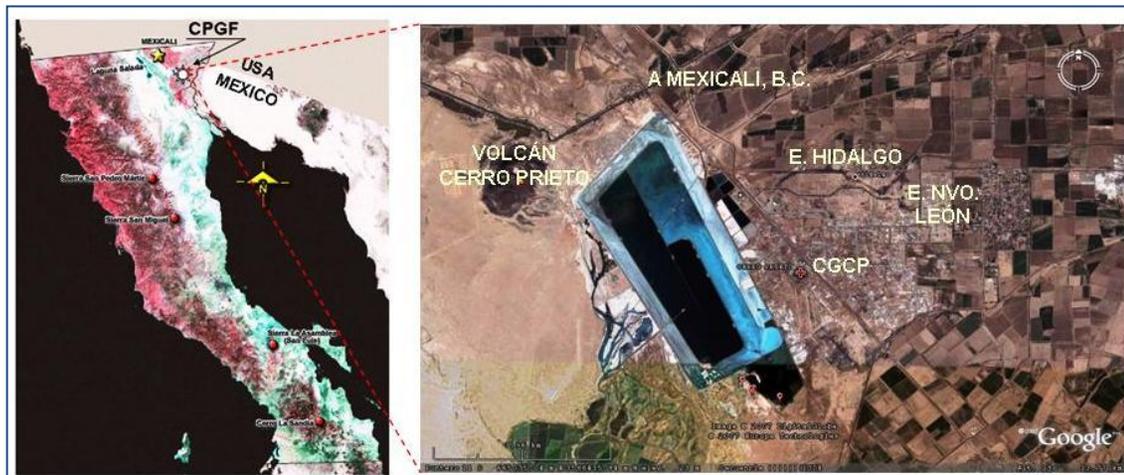


Fig. 1.
Ubicación del
Campo
Geotérmico de
Cerro Prieto
(CGCP)

De 2004 a 2006 se llevó a cabo la penúltima etapa de perforación de pozos productores en el CGCP. Dadas las condiciones del yacimiento registradas en el NE del CGCP (área de estudio), se decidió modificar los intervalos de terminación de 17 de los 30 pozos a perforar mediante aquel contrato. Algunas de las mejores condiciones termodinámicas, como temperatura, presión y sobre todo entalpía, se encontraron en estratos más someros de los propuestos en las terminaciones originales de esos 17 pozos. De acuerdo a lo anterior, el inicio de las nuevas terminaciones guarda mucha relación con los el límite entre las zonas de mineralización hidrotermal conocidas como ZTMSE (Zona de Transición Mineralógica de Sílice y Epidota) y ZMSE (Zona Mineralógica de Sílice y Epidota), estableciéndose de esta forma intervalos productores más someros que los propuestos originalmente.

En este trabajo se elaboran y discuten cuatro secciones geológicas ubicadas al NE del CGCP en las que se observa la ZTMSE y la terminación original y final de los pozos. Por el continuo dinamismo y evolución del yacimiento, específicamente dentro de la ZTMSE, se propone dar mayor atención a esta condición hidrotermal para futuras propuestas de terminación en pozos nuevos o a reparar. Además, debe tomarse en cuenta que la parte oriental objeto de este estudio es la que actualmente aporta más vapor al sistema de generación (alrededor del 50%), lo que se interpreta como un área con mucho potencial en cuanto a recursos geotérmicos comprobados (Aguilar-Dumas, 2006).

Para ejemplificar lo anterior, tómesese el caso del pozo 426 localizado en esta área. Para diciembre de 2007 reportaba una producción de vapor de 75.74 t/h y una entalpía de 2219.08 kJ/kg. Se sometió a reparación y se redujo su intervalo productor en 612 m, observándose después mejores condiciones de producción al

aumentar su entalpía. Esas mejores condiciones ocurrieron precisamente entre la ZTMSE y la ZMSE. Esta característica es muy similar para los 17 pozos con cambio en su terminación y perforados en aquella época.

2. Litología del campo geotérmico

Rocas prebatolíticas

Las rocas prebatolíticas están constituidas por rocas metasedimentarias del tipo de las calizas, areniscas y conglomerados (Barnard, 1968; Gastil *et al.*, 1975) y rocas metamórficas de alto grado como mármol, gneis, y esquistos (McEldowney, 1970; Gastil *et al.*, 1975), de edad mesozoica y en algunos casos probablemente paleozoica (Cinturón Metasedimentario). Estas rocas se presentan en las porciones oeste y sureste de la Sierra Cucapá. También se localizan rocas graníticas y metamórficas en la Sierra de Juárez.

Rocas batolíticas

Los principales ejemplos de este tipo de rocas cercanas al CGCP forman gran parte de la sierras de Cucapá y El Mayor. Son de tipo granítico y tonalítico y tienen una edad aproximada de 120 millones de años (Cretácico Inferior) de acuerdo con Gastil *et al.* (1975).

Rocas post-batolíticas y volcánicas

Las rocas volcánicas son por lo general andesitas, riolitas y dacitas de edad Mioceno-Plioceno (McEldowney, 1970; Gastil *et al.*, 1975). Se presentan únicamente en la Sierra Las Pintas a 75 km al suroeste del CGCP. Rocas riódacíticas del Pleistoceno y Holoceno constituyen principalmente el volcán de Cerro Prieto (Barnard, 1968; Gastil *et al.*, 1975).

El CGCP se restringe a las áreas formadas por los rellenos del Valle de Mexicali en la cercanía con cuerpos ígneos, tanto de origen intrusivo (Sierra Cucapá), como extrusivo (volcán de Cerro Prieto) (Puente-Cruz y De la Peña-Legorreta, 1978). Cerro Prieto se ubica en el margen suroeste del delta del Río Colorado dentro del Valle de Mexicali. Es en general una depresión tectónica rellena de sedimentos depositados por ese río y los provenientes de la Sierra Cucapá.

Se han definido tres unidades litológicas en el subsuelo del CGCP: (1) Los sedimentos clásticos no consolidados forman una alternancia de arcillas, limos, arenas y gravas dispuestos en forma lenticular, con un espesor que varía entre los 600 m (pozo M-105) y los 2215 m (Pozo Prian-1). Pueden considerarse dentro de esta unidad los sedimentos semiconsolidados representados por la lodolita y la lutita café. (2) Los sedimentos clásticos consolidados están constituidos por cuerpos lenticulares de areniscas y lutitas intercaladas; su espesor se estima entre los 2000 y 2500 m (Álvarez-Rosales, 1996). (3) Para el CGCP, las rocas batolíticas constituyen el basamento que subyace al relleno sedimentario compuesto por las unidades anteriores.

En la zona noroeste aledaña al campo geotérmico se encuentra el único afloramiento volcánico en la región, que es un domo riódacítico (Elders *et al.*, 1978) conocido como volcán de Cerro Prieto. Se ha inferido que el vulcanismo que le dio origen ocurrió hace 110 mil años, de acuerdo a estudios paleomagnéticos (De Boer, 1979).

3. Geología estructural

Cerro Prieto se encuentra ubicado dentro de la cuenca de Salton (Figura 2), que es una cuenca tectónica de forma casi triangular que se inicia al noroeste de Salton Sea, California, y que tiene aproximadamente 350 km de largo y 120 km de ancho en su extremo sur (Corona-Ruiz, 1996). Esta depresión estructural se formó a consecuencia de la definición del nuevo límite entre las placas del Pacífico y Norteamérica así como de la incorporación de la península de Baja California a la Placa del Pacífico, hace entre 12 y 6 Ma. Este proceso se completó hace 3 ó 4 Ma, en el Plioceno Tardío (Vázquez-González *et al.*, 1998).

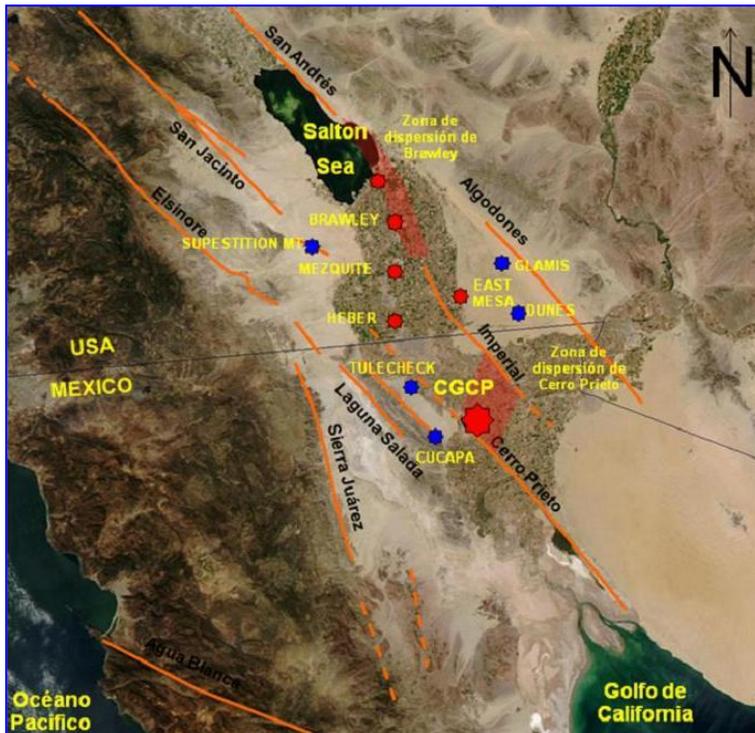


Fig. 2. Mapa estructural regional. (Tomado de Aguilar-Dumas, 2006).

conexión entre el sistema de San Andrés y las estructuras del Golfo de California. Sin tener una buena expresión geomorfológica, se extiende a lo largo de 75 km, desde 3 km al sur de la ciudad de Brawley, California, hasta el centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación N 42° W. Su velocidad de desplazamiento se ha estimado en 47 mm/año (Cruz-Castillo, 2002).

Falla Cerro Prieto

De rumbo NE-SW, con echado al SW de 75°-80°, es una estructura que pertenece al sistema de fallas Cerro Prieto (Aguilar-Dumas, 2006). Esta falla es de tipo dextral y se extiende a lo largo de 80 km desde el centro de dispersión Cerro Prieto hasta la Cuenca de Wagner (Figuras 2 y 3). El posible trazo de la falla es visible únicamente en su sector sur; la parte norte ha sido determinada por mecanismos focales y métodos geofísicos. Es la estructura que marca la frontera entre las placas de Norteamérica y del Pacífico en la región del valle de Mexicali, y su desplazamiento promedio es mayor a 50 mm/año (Cruz-Castillo, 2002).

Sistema de fallas H

Con rumbo NE-SW y echado al SE de 45° a 65° (Figura 3), es producto de los esfuerzos de tipo dextral entre la Falla Imperial y el sistema de la Falla Cerro Prieto (Aguilar-Dumas, 2006).

Falla Michoacán

Desde el punto de vista tectónico, el CGCP se encuentra dentro de una cuenca de tipo *pull-apart* (transtensional) perteneciente al sistema de fallas de San Andrés; el CGCP se encuentra limitado por dos importantes fallas de deslizamiento lateral derecho, conocidas como Imperial y Cerro Prieto, de orientación noroeste-sureste (Figura 2). Estas fallas principales están relacionadas con varias fallas secundarias con dirección noreste-suroeste que actúan como colectores de los fluidos geotérmicos (Quijano-León y Gutiérrez-Negrín, 2003).

A continuación se describen las principales fallas locales, relacionadas directamente con el CGCP.

Falla Imperial

Esta falla (Figura 2) delimita el lado oriental del centro de dispersión Cerro Prieto y forma parte de un límite intraplacas. Es la principal conexión entre el sistema de San Andrés y las estructuras del Golfo de California. Sin tener una buena expresión geomorfológica, se extiende a lo largo de 75 km, desde 3 km al sur de la ciudad de Brawley, California, hasta el centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación N 42° W. Su velocidad de desplazamiento se ha estimado en 47 mm/año (Cruz-Castillo, 2002).

Corresponde al mismo sistema de fallas Cerro Prieto, de rumbo NW-SE y echado variable al SE (Figura 3). Esta estructura y la falla Cerro Prieto forman un horst o bloque levantado que se acuña al sur (Aguilar-Dumas, 2006).

4. Zonas mineralógicas hidrotermales en el CGCP

Dentro del yacimiento geotérmico en explotación se encuentran zonas mineralógicas que han servido de referencia para establecer el inicio de una probable zona productora. Estas zonas mineralógicas han sido divididas para el caso del CGCP en tres grupos de minerales hidrotermales y diagenéticos (Elders *et al.*, 1979):

- Cementos rellenando poros: cuarzo, calcita, dolomita, feldespato potásico, pirita y pirrotita.
- Silicatos calcoalumínicos (producidos por reacciones de descarbonatación): epidota, prehnita, actinolita y wairakita.
- Minerales filosilicáticos autigénicos producidos por deshidratación y reacción de: caolinita, montmorillonita, illita-montmorillonita de capas mixtas, illita, clorita y biotita detríticas (illita, clorita y biotita hidrotermales).

A su vez estos minerales hidrotermales se presentan en asociaciones mineralógicas las cuales dependen de la temperatura, que dan lugar a las zonas siguientes.

- Zona de montmorillonita-caolinita (menos de 150-180° C, que corresponde al límite entre las unidades de sedimentos consolidados y no consolidados).
- Zona de illita-clorita (150-180° C a 230-250° C, que representa la primera aparición de epidota hidrotermal, y donde abundan los cementantes en poros).
- Zona de silicatos calcoalumínicos (230-250° C a 350° C; se presenta epidota en los poros de las areniscas, y frecuentemente hay wairakita acompañando a la epidota).
- Zona de biotita (mayor de 315-325° C; la epidota y actinolita persisten a través de esta zona; se observan trazas de clorita y prácticamente no hay illita).

5. Metodología y resultados

Se tomó como referencia en primera instancia la información geológica de 20 pozos productores, a 12 de los cuales se les modificó su intervalo productivo. Se analizaron características referentes a estratigrafía, mineralogía, situación estructural de la zona, además de datos complementarios del yacimiento, como temperatura y entalpías registradas, así como información técnica de intervalos con tipos de pérdidas de circulación registradas.

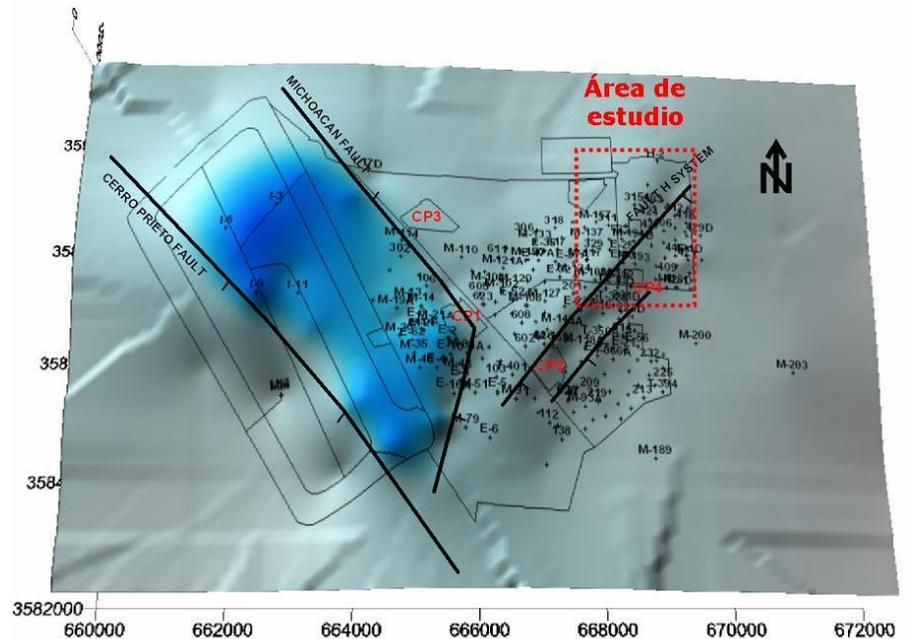


Fig. 3. Plano estructural del CGCP

Para llevar a cabo este trabajo se realizó el análisis geológico del subsuelo en la parte oriental del CGCP, correspondiente a las áreas de CP3 y CP4. Se ha seleccionado esta área de estudio por ser actualmente la de mayor eficiencia en cuanto a producción de vapor y con apropiadas condiciones termodinámicas comprobadas.

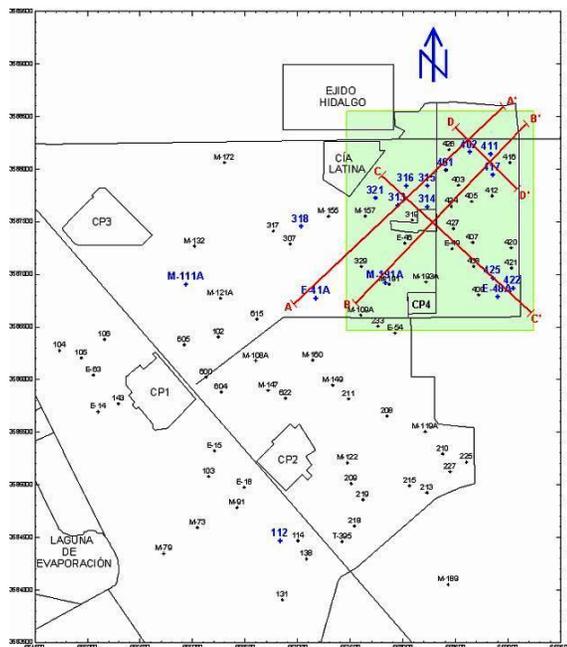


Fig. 4. Ubicación de las 4 secciones geológicas dentro de la zona de estudio al oriente del CGCP

A continuación se presentan cuatro secciones geológicas, ubicadas en la Figura 4 y denominadas A-A' y B-B' con dirección NE-SW, y C-C' y D-D' con dirección NW-SE conformadas por 12 de los 17 pozos a los que se modificó su intervalo productor, y por 8 pozos más de la zona. Las secciones se muestran y analizan en conjunto a continuación (Fig. 5).

Estructuralmente la zona de las cuatro secciones está influenciada por el trazo del sistema de fallas H, lo que puede relacionarse con la existencia en el área de relieves de falla según reportes de muestras de canal, recorte en bloque, arenisca disgregada, e hidrotermalismo (zonas de argilización). Todas esas características encontradas en los pozos se ven influenciadas por la traza de fallas de ese sistema estructural (Fig. 5).

Por otra parte, al entrar en el tema de producción, se observa que al comparar los valores de vapor y entalpía entre los pozos con terminaciones modificadas respecto a los pozos con terminaciones más profundas, es claro que las mejores condiciones de producción están relacionadas con la ZTMSE. Tómese, por ejemplo, el caso del pozo 402 (Fig. 5), cuyo intervalo modificado quedó en el límite entre la ZTMSE y la ZMSE y que registra el valor más alto en cuanto a producción de vapor y el segundo mejor en cuanto a entalpía (Tabla 1).

Otro caso que sirve para ejemplificar mejores condiciones de yacimiento, es el pozo 416 comparado con el pozo 417. De acuerdo a la información que se muestra en la Tabla 1, en el pozo 416 cuya terminación está por debajo de la ZMSE (Fig. 5) se reportan valores de 60.53 t/h de vapor y una entalpía de 1402.44 kJ/kg. Obsérvese entonces que al modificar la terminación del pozo 417 para dejarla entre el contacto de la ZTMSE y la ZMSE, se registran condiciones de yacimiento incluso mejores que las del pozo aledaño 416.

POZO	INTERVALO PRODUCTOR PROPUESTO (mBNT)	INTERVALO PRODUCTOR REAL (mBNT)	PRODUCCIÓN VAPOR (t/h)	ENTALPÍA (kJ/kg)
402	2 400 - 2 800	2 344,47 - 2 647,62	80,07	2 151,39
416	----	2 446,57 - 2 848,65	60,53	1 402,44
417	2 400 - 2 800	2 384,84 - 2 696,56	66,94	2 001,28

Tabla 1. Intervalos productores, producción y entalpía en los pozos 402, 416 y 417 del CGCP

Para sustentar las mejores condiciones de producción de los pozos analizados anteriormente y su relación con terminaciones más cercanas a la ZTMSE se considera a continuación la información de producción y la cantidad de vapor del pozo 426 (Tabla 2). En una primera etapa productora, con una terminación profunda, el pozo tuvo una producción promedio entre 20 y 25 t/h de vapor con entalpías entre 1150 y 3150 kJ/kg (Rodríguez *et al.*, 2005). Después de su intervención (etapa 2), el pozo quedó con un intervalo productor más

somero y ubicado entre la ZTMSE y la ZMSE. Para diciembre de 2007 este pozo registraba una producción de vapor de 75.74 t/h y una entalpía de 2219.08 kJ/kg. Así, se observa una ganancia sustancial, tanto de producción de vapor como de entalpía, lo que implica una mayor fracción de vapor.

POZO 426			
ETAPA	INTERVALO PRODUCTOR (mBNT)	PRODUCCIÓN VAPOR (t/h)	ENTALPÍA (kJ/kg)
1 PROFUNDO	2 580 - 3 192	20 a 25	1 150 - 3 150
2 SOMERO	2 392 - 2 700	75,74	2 219,08

Tabla 2. Producción y entalpía del pozo 426

Como se ha visto en los casos anteriores, la mejor evolución del yacimiento y las mejores condiciones termodinámicas ocurren en estratos geológicos menos profundos (y en algunos casos de menor temperatura), hacia la parte oriental del CGCP. Esto difiere de consideraciones anteriores que definían zonas productoras a partir de la aparición o registro en el yacimiento de asociaciones mineralógicas (en este caso ZMSE) con altos rangos de temperatura.

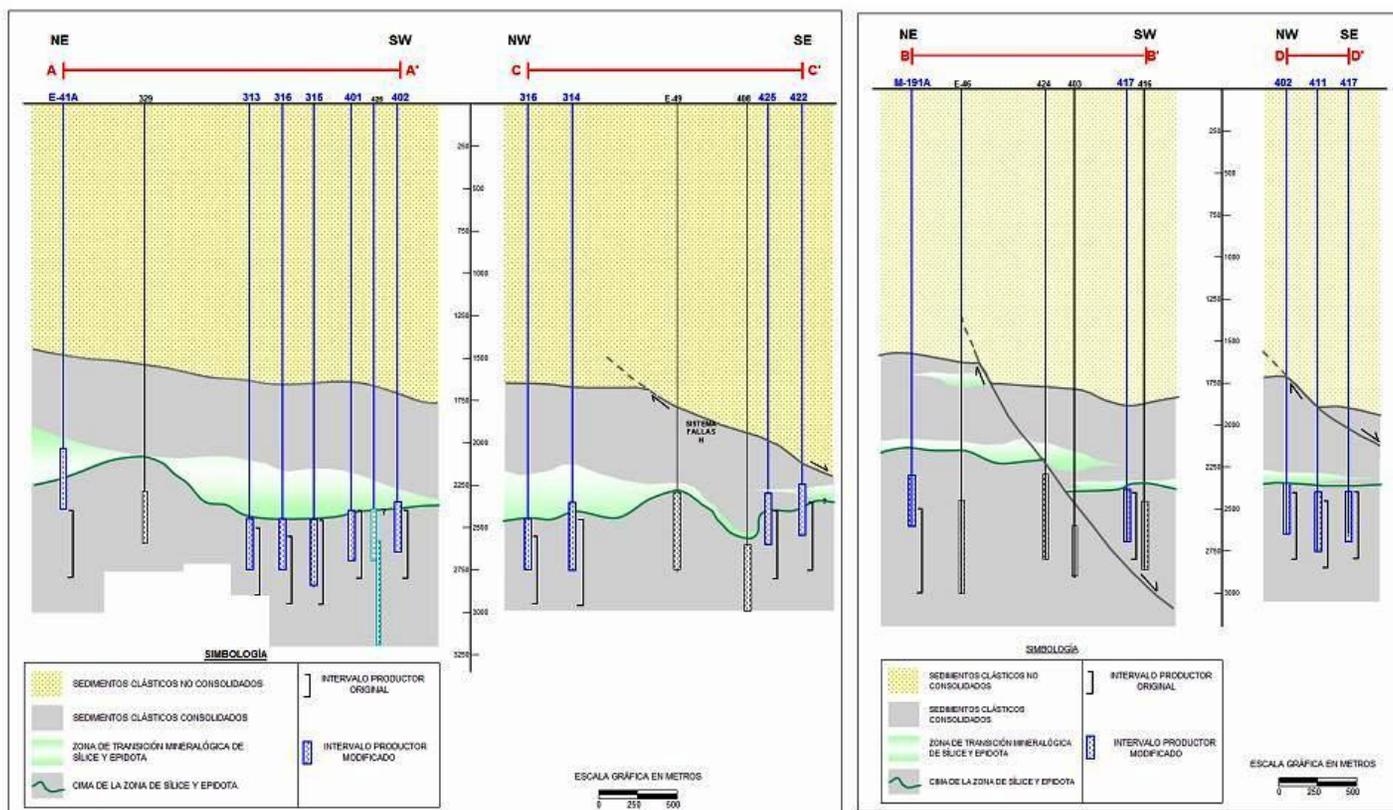


Fig. 5. Secciones geológicas A-A', C-C', B-B' y D-D'

En la zona de estudio el inicio de la zona de alteración hidrotermal (ZAH) se presenta en promedio por debajo de los 2200 m, donde se registran temperaturas mayores a los 230° C de acuerdo a los registros de temperatura de pozos en la zona (Fig. 6). Al analizar las zonas productoras finales de los pozos en los que éstas se cambiaron y compararlas con los registros térmicos correspondientes, se observa que a mayores profundidades el incremento de temperatura es mínimo, ya que ésta se mantiene o en algunos casos hasta se invierte (pozo 401). Esto sustenta más el hecho de que actualmente las mejores condiciones termodinámicas del yacimiento se presentan en zonas térmicas de menor temperatura, que son las áreas de transición mineralógica en la parte oriental del CGCP.

Con base en la discusión anterior, se propone que independientemente de los factores termodinámicos y de condiciones geológicas propicias en el subsuelo para establecer un intervalo productor adecuado en un pozo, se ponga mayor atención en la mineralogía registrada, específicamente en la ZTMSE. De esta manera pueden establecerse nuevos parámetros para indicar fronteras de zonas productoras con altos valores de vapor y de entalpía, aunque no necesariamente con altas temperaturas.

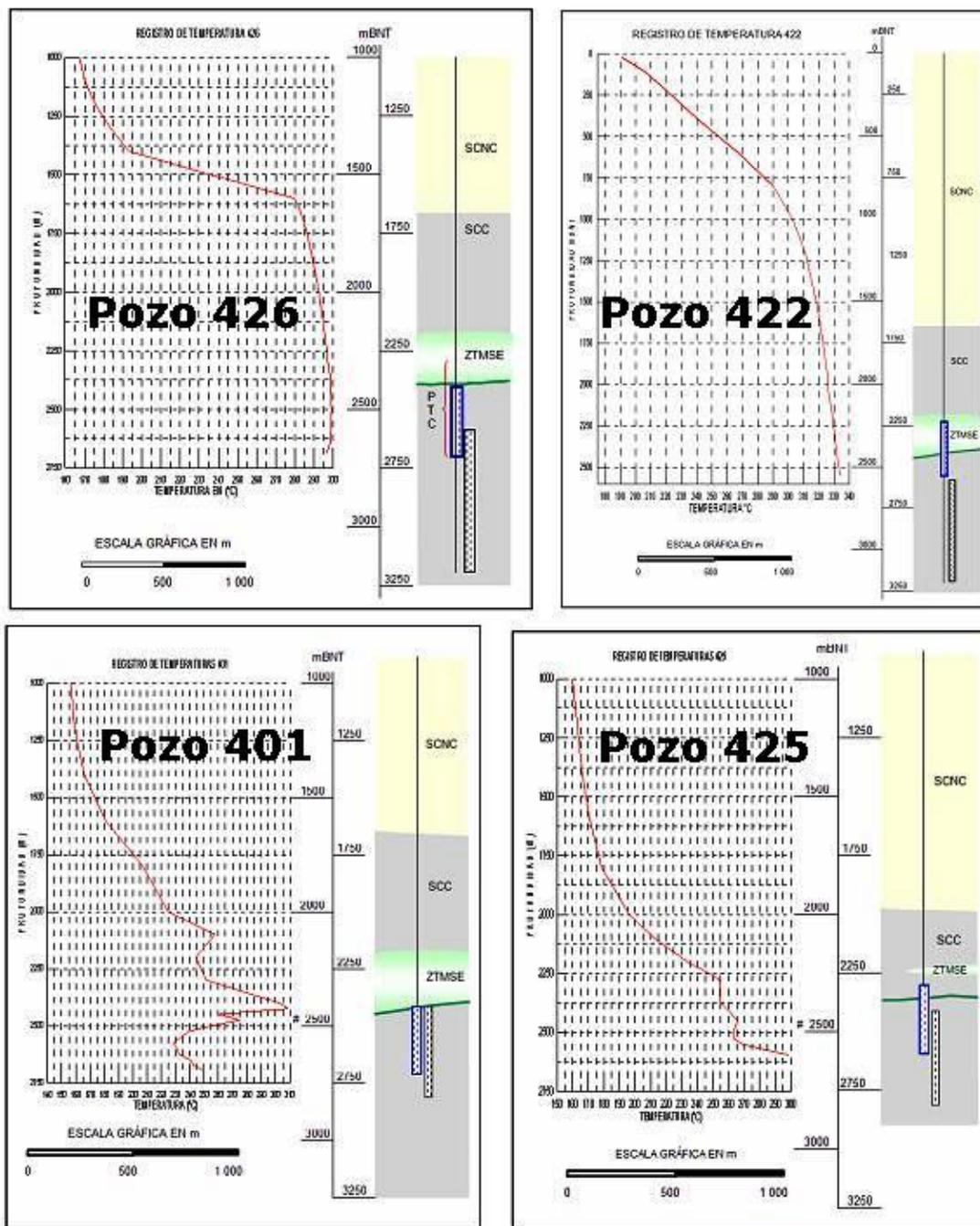


Fig. 6. Registros de temperatura en cuatro de los pozos involucrados en este estudio

6. Conclusiones

- En el CGCP uno de los factores tomados en cuenta para la determinación de zonas propicias de explotación y, por tanto, para decidir la terminación de nuevos pozos, ha sido ubicarlas por debajo de la ZMSE con

intervalos productores profundos. Pero en la porción oriental del campo, se observa actualmente que las mejores condiciones del yacimiento han evolucionado hacia estratos menos profundos, lo que permite establecer intervalos productores más someros. De esta forma, se propone tomar en cuenta a la ZTMSE como una característica importante para determinar zonas productoras al este del CGCP.

- Debido al continuo registro y monitoreo de las condiciones termodinámicas del yacimiento, se ha observado que éste parece evolucionar hacia estratos someros dentro de la unidad litológica de sedimentos clásticos consolidados (SCC) en la parte oriental del CGCP. De ahí que se haya tomado la decisión de reevaluar y cambiar las zonas productoras de 17 de los 30 pozos perforados durante el penúltimo contrato de perforación, llevado a cabo de 2004 a 2006.

- Se ha constatado también mediante registros de temperatura que no necesariamente una perforación profunda garantiza mejores condiciones térmicas (altas temperaturas). En cambio, sí pueden presentarse condiciones propicias en cuanto a temperatura y entalpía en la ZTMSE.

- Las condiciones hidrotermales registradas en el subsuelo y su relación con la evidente eficiencia productiva y mejores condiciones del yacimiento en la parte oriental del CGCP, sirven de soporte para tomar en cuenta a la ZTMSE como elemento importante para establecer zonas productoras nuevas y definir la terminación de nuevos pozos, al menos en esa zona del campo.

- Se ha concluido que las mejores condiciones termodinámicas tienden a presentarse actualmente a profundidades más someras, esto es, en los límites o fronteras entre la ZTMSE y la ZMSE en el subsuelo de la parte este del CGCP. Por ello puede postularse que conforme evolucione paulatinamente el yacimiento geotérmico se registrarán nuevas condiciones termodinámicas que deberán tomarse en cuenta e integrarse a los criterios para determinar las zonas óptimas de explotación del recurso geotérmico.

Referencias

- Aguilar-Dumas, A.M., 2006. Nuevo enfoque del modelo geológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. Residencia General de Cerro Prieto. Residencia de Estudios. *Memorias de la I Reunión Interna de Mejora Continua*, CFE, pp. 1-10.
- Álvarez-Rosales, J., 1996. Pozo profundo del campo geotérmico de Cerro Prieto Baja California, México: Propuesta: Informe interno RE-96/15, Departamento de Geología y Geofísica, Residencia de Estudios. Residencia General de Cerro Prieto, CFE. Inédito.
- Barnard, F., 1968. Structural geology of the Sierra de los Cucapas; Northeastern Baja California, México, and Imperial County, California. Tesis de doctorado. University of Colorado. 155 p. Inédito.
- Corona-Ruiz, M., 1996. Actualización del Modelo Geológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. CFE-Cerro Prieto. Residencia de Estudios, Departamento de Geología y Geofísica. Reporte Técnico Interno RE-009. 24 p. Inédito.
- Cruz-Castillo, M., 2002. Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México. Instituto Mexicano del Petróleo. Boletín *GEOS*, Unión Geofísica Mexicana, p. 37-42.
- De Boer, J., 1979. Paleomagnetism of the Quaternary Cerro Prieto, Crater Elegante, and Salton Buttes volcanic domes in the northern part of the Gulf of California rimboschism. *Actas del Segundo Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto*. Mexicali, B.C., México, pp. 91-98.

- Elders, W.E., J.R. Hoagland, y S.D. McDowell, 1978. Zonas mineralógicas hidrotermales en el yacimiento geotérmico de Cerro Prieto. *Actas del Primer Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto*. Mexicali, B.C., México, pp. 76-79.
- Gastil G., R.P. Phillips, and E.C. Allison, 1975. Reconnaissance geology of the state of Baja California. Cit. por: Puente-Cruz, I., A. De La Peña-Legorreta y E. Díaz-Cabral, 1979: Modelo Geológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. *Actas del Segundo Simposio del Campo Geotérmico de Cerro Prieto*, Mexicali, B.C., México, pp. 29-57.
- McEldowney, R.C., 1970. An Occurrence of Paleozoic fossils in Baja California, México. *Geological Society of America, Abstracts with programs*, Vol. 2.
- Puente-Cruz., I. y A. De La Peña-Legorreta, 1978. Geología del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. *Actas del Primer Simposio del Campo Geotérmico de Cerro Prieto*, Mexicali, B.C., México, pp. 17-40.
- Quijano-León, J.L., and L.C.A. Gutiérrez-Negrín, 2003. An Unfinished Journey. 30 years of geothermal-electric generation in Mexico. *Geothermal Bulletin*, Vol. 32, No. 5, September-October 2003, pp. 198-205.
- Rodríguez-Rodríguez, M.H., J.S. De León-Vivar, A. Pérez-Hernández, y M. Corona-Ruiz, 2005. Relación entre la terminación de pozos y la producción de vapor para el Campo Geotérmico de Cerro Prieto. CFE, reporte interno de la Residencia General de Cerro Prieto, Residencia de Estudios, Departamento de Yacimientos, 12 p. Inédito.
- Vázquez-González., R., J. Ramírez-Hernández, A. Martín-Barajas, C. Carreón-Diazconti, y O.R. García-Cueto, 1998. Estudio geohidrológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. CICESE, informe técnico interno preparado para la CFE No. RE-05/98, 132 pp. Inédito.