

Análisis de la evolución productiva del pozo M-19A del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC

Marco H. Rodríguez-Rodríguez y Francisco Romero-Ríos

Comisión Federal de Electricidad, Residencia General de Cerro Prieto, Carretera Pascualitos-Pescaderos, km. 26.5, Mexicali, BC. Correo: marco.rodriguez01@cfe.gob.mx

Resumen

El pozo M-19A ha sido el más productivo del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC, alcanzando una extracción de más de 40 millones de toneladas de fluido. Fue integrado a producción en febrero de 1975 y hasta junio de 2006 ha permanecido en producción en forma continua. Las mediciones mensuales de sus condiciones operativas y los análisis químicos e isotópicos del agua producida permiten identificar los procesos más significativos que han ocurrido a lo largo de esos más de 30 años en la zona donde se localiza el pozo. Se han identificado tres tipos de recarga dominantes que se presentan durante un periodo cercano a 10 años cada uno, los cuales son: a) una recarga de fluidos de menor temperatura al fluido explotado, aunque con un contenido químico de elementos conservativos e isotópico similar, b) una recarga de agua con fluidos de menor temperatura pero con agua química e isotópicamente diluida, y c) una recarga progresiva de agua de reinyección en frío, con una mayor concentración de cloruros así como de isótopos pesados. Los ritmos de explotación e inyección en la zona donde se localiza el pozo M-19A permiten especular que se puede tener una recuperación de la presión del yacimiento, lo cual se confirma con los cálculos de la presión del yacimiento utilizando datos de producción del pozo. La evolución de la presión en esa zona contrasta con la del resto del yacimiento, en donde se observa una mayor caída, en particular hacia las partes central y oriental del campo.

Palabras clave: Cerro Prieto, producción de fluidos, pozo M-19A, recarga de fluidos, química de fluidos, presión del yacimiento.

Analysis of productive evolution of well M-19A, Cerro Prieto geothermal field, BC

Abstract

Well M-19A has been the most productive in the Cerro Prieto field, producing around 40 million tons of fluid. The well went on line in February 1975 and was in continuous operation until June 2006. Monthly measurements for over 30 years of operating conditions and chemical and isotopic analyses of the fluids allow identification of the most significant processes occurring in the zone where the well is located. Three dominant recharge types have been identified, each lasting about 10 years. They are a) a recharge of fluids of lower temperature than the production fluids, even though the chemical and isotopic compositions are similar; b) a recharge of lower-temperature fluids with diluted chemical and isotopic compositions; and c) a progressive recharge of reinjected water with a higher chloride concentration and heavy isotopic composition. The production and reinjection rates for over 30 years of production history in the M-19A well zone allow for speculation of a reservoir pressure recovery, which is confirmed with a calculation using production data from well M-19A. The evolution of the reservoir pressure in the zone contrasts with the rest of the reservoir, where a constant pressure drop is observed, particularly toward the central and eastern parts of the field.

Keywords: Cerro Prieto, fluid production, well M-19A, fluid recharge, fluid chemistry, reservoir pressure.

Introducción

La respuesta del yacimiento a la explotación se analiza, entre otras formas, por las historias del comportamiento productivo y características químicas del fluido producido por los pozos. En el campo de Cerro Prieto, los intervalos productores de cada pozo explotan diferentes estratos, permitiendo caracterizar las diversas zonas productivas del campo. A mediados de 2006, en Cerro Prieto se tenían cerca de 300 historias productivas (HP) de pozos, con un tiempo promedio de producción de 10 años por cada pozo, divididas por lo regular en varias etapas productivas. De las 300 HP disponibles hasta junio 2006, 165 corresponden a pozos que se encuentran en operación; el resto son de pozos que han sido cerrados para la producción, por ser irreparables económicamente, de pozos utilizados como inyectores, o de pozos que se encuentran en proceso de integración después de ser reparados o que están programados para reparación. Lo interesante de la HP del pozo M-19A es que presenta el mayor historial productivo del campo, reflejando en forma general la respuesta del yacimiento a la explotación en la zona donde se ubica este pozo.

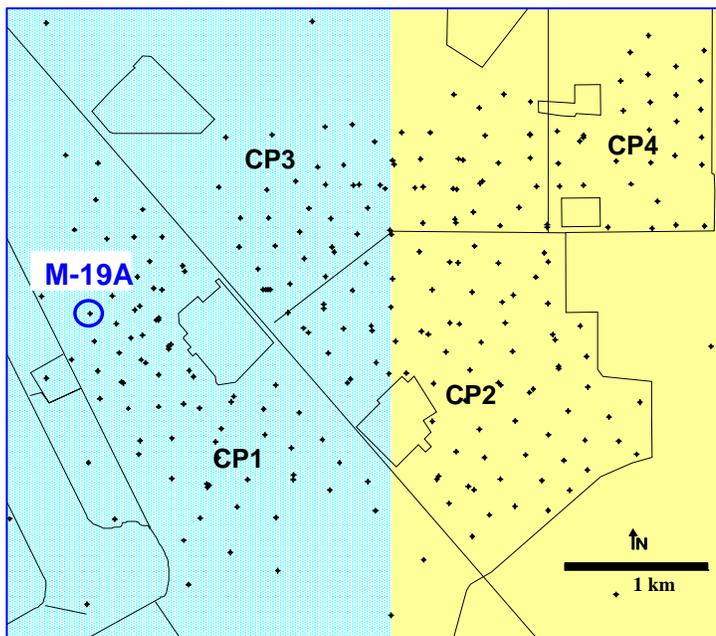


Fig. 1. Ubicación del pozo M-19A en Cerro Prieto.

A continuación se analizan las condiciones geológicas en la zona donde se perforó el pozo M-19A. Posteriormente se presenta la evolución productiva y química del pozo, lo que permite identificar tres etapas con características de recarga diferentes. Con los datos de producción se reproduce la evolución de la presión del yacimiento, la cual parece presentar una probable recuperación en la zona, fundamentada en un balance de masa en esa zona del pozo. Posteriormente se compara el comportamiento del pozo M-19A con el de otros pozos de otras zonas del área de Cerro Prieto 1 (CP1), lo que permite resaltar las particularidades de cada zona.

Antecedentes

El pozo M-19A se localiza en la porción noroccidental de CP1, en la zona norte somera denominada alfa norte (Rodríguez *et al.*, 2000), como se indica en la Figura 1. El pozo fue construido entre el 8 de febrero y el 5 de abril de 1972, alcanzando una profundidad total de 1488 m, en agujero de 0.270 m (10 5/8") diámetro. El pozo quedó con tubería ranurada de 0.1936 m (7 5/8") de diámetro, de los 1054 m a los 1447 m de profundidad.

El pozo fue reparado del 28 de octubre al 6 de noviembre de 1973, al considerarse que por debajo de los 1300 m de profundidad podría haber una invasión de fluidos de menor temperatura. Por ello se colocó un tapón de cemento al fondo, cuya cima quedó a 1263 m de profundidad, dejando un intervalo para producir de 209 m de longitud.

De acuerdo con la columna litoestratigráfica descrita en el pozo M-19A, desde la superficie hasta 705 m se cortó la unidad de sedimentos clásticos no consolidados, consistentes en arcillas de color café claro, limos,

arenas finas a gruesas, gravas, fragmentos de arenisca mal cementada y restos de madera fósil. Entre los 705 y los 834 m de profundidad se encuentra el paquete de lutita café, considerada la capa sello del yacimiento, la cual descansa sobre la unidad de lutita gris, que consiste de lutitas de color gris oscuro y claro bien cementada, con intercalaciones de areniscas blanquecinas cuarcíticas con cementante calcáreo y presencia de pirita diseminada. Esta es la unidad productora, que hospeda a los fluidos geotérmicos, y en este pozo continúa hasta la profundidad total perforada. En las areniscas que la componen no se identificó la típica asociación mineralógica de sílice y epidota asociada con la zona productora en otras partes del campo. Como se sabe, la unidad de lutita gris descansa sobre el basamento granítico, que en la zona de CPI donde se perforó el pozo M-19A se encuentra alrededor de los 3000 m de profundidad.

Historia del comportamiento productivo

El pozo M-19A fue integrado al sistema de producción en febrero de 1975 y ha permanecido en producción continua por lo menos hasta la fecha en que se escribió este trabajo (agosto de 2006), por lo que no ha dejado de producir en 31 años.

En la Figura 2 se presenta el comportamiento histórico de la concentración de cloruros (Cl), la composición isotópica del oxígeno-18 y del deuterio, así como las temperaturas obtenidas con los geotermómetros de NaKCa y SiO₂. Se puede observar que de 1975 a 1985 la concentración de Cl se mantuvo en un rango estable de 9000 a 10,000 ppm, declinando en esa década alrededor de 93 ppm/año. De 1985 a 1995 ocurre una dilución, al bajar la concentración de Cl de 9000 a 6000 ppm, con la excepción de un incremento puntual en 1992 debido al arribo de agua de inyección proveniente del pozo inyector 104, inyección que fue suspendida ese mismo año. El ritmo de dilución de Cl en esta segunda década fue de 264 ppm/año. De 1995 a 2005 se observa un nuevo incremento de Cl de 6000 a 11,000 ppm, lo cual se debe a la gradual invasión de fluidos reinyectados de la laguna de evaporación. Este ritmo de incremento en cloruros es de 474 ppm/año (Fig. 2a).

De 1977 a 1985 la composición isotópica del oxígeno-18 varió de -8.21 a -8.75 ‰, manteniéndose dentro del rango (-6.5 a -9.5 ‰) determinado para las aguas geotérmicas del yacimiento de Cerro Prieto (Pérez, 2000), al igual que el deuterio, que en el mismo periodo varió de -93.2 a -96.4 ‰ (Fig. 2b), dentro del rango para aguas geotérmicas (-90 a -100 ‰).

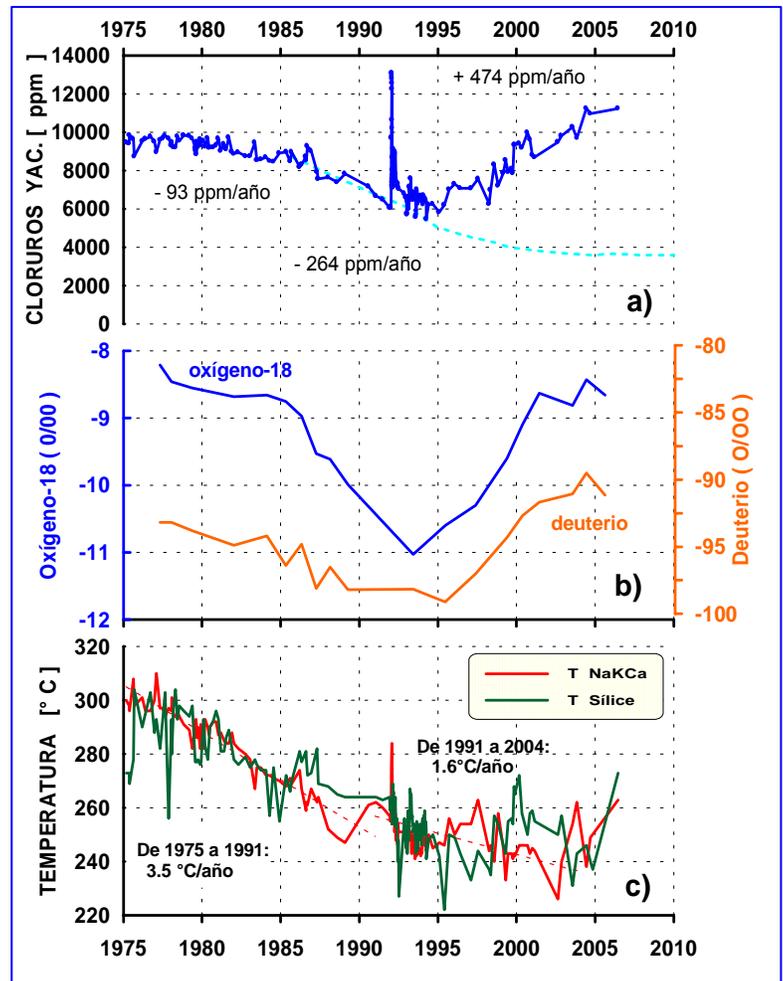


Fig. 2. Comportamiento del pozo M-19A. (a) Evolución de cloruros a condiciones de yacimiento; (b) evolución isotópica; (c) evolución de la temperatura geotermométrica.

De 1985 a 1994 el oxígeno-18 disminuyó su composición de -8.75 a -10.6 ‰, indicando la recarga de aguas isotópicamente ligeras, las cuales son de menor temperatura. El deuterio para ese mismo periodo, muestra una variación de -96.4 a -99.1 ‰, pero se mantiene dentro del rango de las aguas geotérmicas. Como los valores del oxígeno-18 sí salieron del rango para las aguas geotérmicas, puede concluirse que el oxígeno-18 parece ser más sensible y determinante que el deuterio para identificar las zonas con recarga de fluidos de menor temperatura.

De 1995 a 2005 se presenta un incremento en la composición de isótopos pesados por la presencia del agua de reinyección en la zona del pozo. Así, el oxígeno-18 se incrementó de -10.6 a -8.6 ‰, retornando a valores dentro del rango de aguas geotérmicas, mientras que el deuterio aumentó en este periodo de -99.1 a -89 ‰, logrando rebasar el límite del rango para aguas geotérmicas del yacimiento. Esto indica que para identificar la presencia del agua inyectada de la laguna de evaporación con isótopos pesados, el deuterio es el que proporciona una mejor respuesta.

En general, se puede observar que el comportamiento de los cloruros y de los isótopos es similar, ya que identifican una primera etapa de estabilidad de valores, seguida de una etapa de dilución para continuar posteriormente con una etapa de enriquecimiento, con una duración aproximada de 10 años por etapa.

La temperatura obtenida con los geotermómetros de NaKCa y de SiO₂ (T-NaKCa y T-SiO₂, respectivamente) presenta valores de 300° C durante 1975, declinando gradualmente a un ritmo de 3.5° C/año hasta 1991 cuando alcanza valores de 250° C.

De 1991 a 2004 el ritmo de declinación disminuye a 1.5° C/año, alcanzando valores aproximados de 240° C. Se tienen algunos datos con temperatura de 260° C, por ejemplo durante el año 2005, pero esto puede deberse a la invasión de agua de inyección proveniente de la laguna de evaporación, la cual aunque está a temperatura ambiente (20° C), al aplicar el geotermómetro llega a valores superiores a 280° C. Desde el año 1986 la T-SiO₂ se vuelve mayor que la T-NaKCa, lo que indica un proceso conocido como barrido de calor (Truesdell *et al.*, 1989).

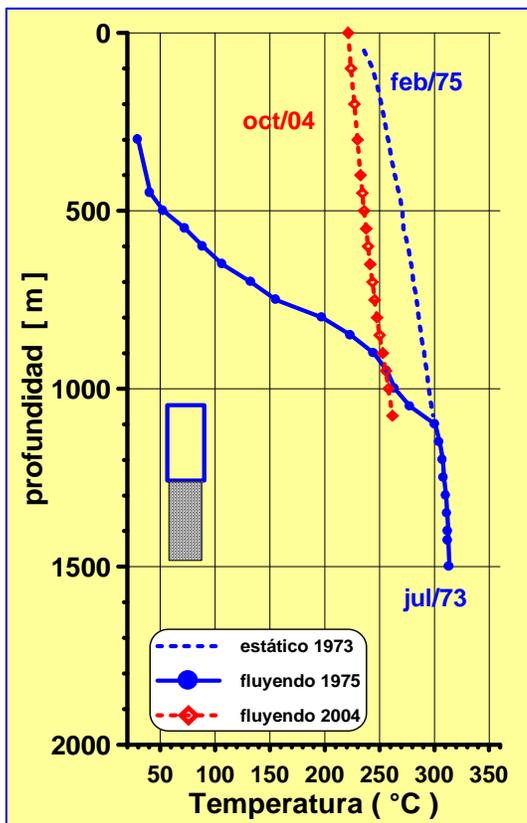


Fig. 3. Registros de temperatura en el pozo M-19A.

En la Figura 3 se presentan registros de temperatura corridos en el pozo M-19A en 1973, 1975 y 2004. Se observa una buena correspondencia con las temperaturas geotermométricas mencionadas (Fig. 2b). Así, los registros de 1973, con el pozo sin fluir, y de 1975, con el pozo fluyendo, indican temperaturas de 300° C en la zona del intervalo ranurado. Por su parte, el registro de 2004, con el pozo fluyendo, revela una temperatura de 260° C en la misma zona del intervalo productor. Todas estas temperaturas coinciden con las calculadas con los geotermómetros mencionados.

El flujo de vapor y líquido a presión de separación, así como la entalpía, presión de cabezal y el diámetro del orificio de la placa de producción (DOPP), se muestran en la Figura 4 (a), (b) y (c), respectivamente.

Entre 1975 y 1985 el flujo másico se mantiene estable, con valores promedio de 56 t/h para el vapor y de 130 t/h para el líquido, pero para el siguiente periodo de 1985 a 1995 presenta una declinación de vapor de 3.6

t/h/año. En el periodo de 1995 a 2004 la producción de vapor se presenta estable, incluso con una muy ligera recuperación de 0.6 t/h/año, como se muestra en la Figura 4a.

La entalpía de producción se mantiene con un valor dominante de 1300 kJ/kg hasta 1993, aunque durante algunos años presenta incrementos de hasta 1500 kJ/kg (1975 y 1976) y 1400 kJ/kg (entre 1988 y 1992). De 1994 a 2006 la entalpía promedio se mantiene en el orden de los 1100 kJ/kg, con algunos altibajos en el rango de 1000 a 1200 kJ/kg (Fig. 4b).

La historia de la presión de cabezal se puede explicar en parte por los cambios en los DOPP. De 1975 a mediados de 1988 la presión de cabezal se mantiene estable, con un promedio de 7.3 bar, mientras que la presión de separación fue de 6.9 bars y el DOPP de 20.3 cm (8"). De mediados de 1988 a principios de 1993, el DOPP se mantuvo en 12.7 cm (5"), y la presión de cabezal declinó de 12 a 8 bars (Fig. 4c).

En 1993 se reduce el DOPP a 8.89 cm (3.5") y se mantiene así hasta mediados de 2006. La presión de cabezal en 1993 se incrementó hasta 16 bars, declinando gradualmente a 14 bars en 1995 y manteniéndose así hasta el año 2000, cuando presenta un incremento gradual hasta los 17 bars para conservarse así hasta 2004, presentando posteriormente ligeras variaciones. Los últimos cambios de presión ocurrieron sin haber cambio en el DOPP (Fig. 4c).

Uno de los puntos más sobresalientes que surgen al analizar la historia productiva del pozo, es su estabilidad en el flujo másico de vapor y agua, así como la recuperación de la presión de cabezal, a pesar de que el pozo ha recibido recarga de fluidos de menor temperatura, como lo indican los geotermómetros, así como de haber recibido fluidos diluidos durante 10 años y de reinyección en los siguientes 10 años, según lo indicado por la evolución de los cloruros y la isotopía (Fig. 2). Pero, como un reflejo de este tipo de recarga, se ha observado la declinación, ya mencionada, en la entalpía de producción (Fig. 4b).

Lo que puede explicar la estabilidad en la producción del pozo M-19A puede ser una recuperación de la presión del yacimiento en la zona del pozo, por lo que en la siguiente sección se hace un cálculo de la presión del yacimiento en esa zona.

Calculo de la presión del yacimiento

Para realizar este cálculo se tomaron en cuenta las condiciones de flujo másico (vapor más agua), la entalpía de producción y la presión de cabezal del pozo M-19A, así como su geometría, pero no se consideró ninguna reducción en el diámetro de las tuberías del pozo por incrustación. En total se elaboraron 15 cálculos de la

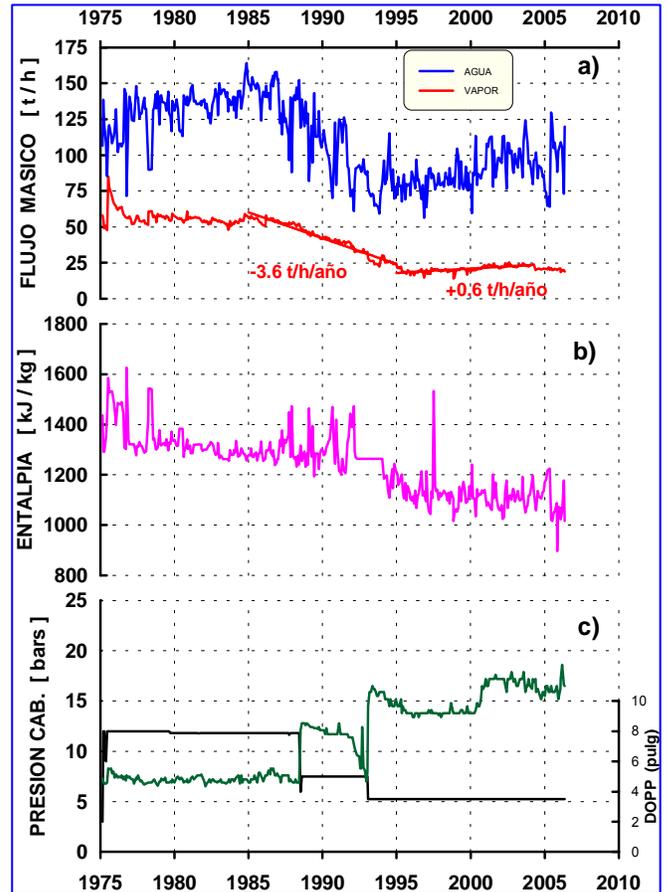


Fig. 4. Evolución de la producción del pozo M-19A. (a) Flujo de vapor y líquido, a presión de separación, (b) Entalpía de producción y (c) Presión de cabezal y Diámetro del Orificio de la Placa de Producción (DOPP).

presión del fondo fluyendo (Pff), representativos de las condiciones prevalecientes a lo largo de su historia productiva, como se indica en la Figura 5 (a), (b) y (c).

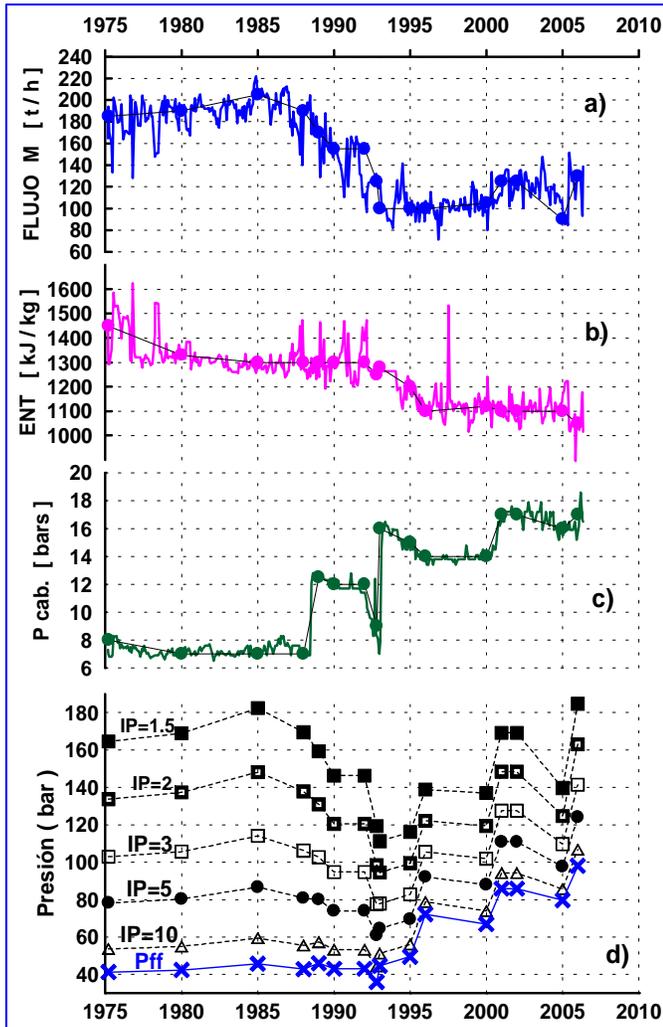


Fig. 5. Historia productiva del pozo M-19A. (a) Producción de mezcla; (b) Entalpía; (c) Presión de cabezal; (d) Presión de yacimiento para diferentes índices de productividad (IP) de 1.5, 2, 3, 5 y 10, así como presión de fondo fluyendo (Pff) en cruces de color azul.

en 1975 se puede considerar el IP de 2 t/h/bar, que es cuando se tiene la mayor FVff. De 1980 a 1993, la FVff promedio fue de 0.12, por lo que un IP de 3 se considera aceptable. Finalmente, de 1995 a 2006 el IP puede ser entre 5 y 10. El resultado sobresaliente en este ejercicio es observar que de 1995 a 2006, independientemente del IP utilizado, se presenta un incremento de la P_y cercano a 30 bars.

Es importante señalar que en los pocos casos en donde ha ocurrido un incremento en la presión de cabezal a lo largo de varios años de historia productiva sin tener cambios en los DOPP, ello se ha debido a incrementos en la entalpía en zonas de alta permeabilidad vertical, como el caso reportado del pozo NL-1 (Rodríguez, 2003).

Balance de masa en la zona del pozo M-19A

Los resultados de la evolución de la Pff se señalan con X de color azul en la Figura 5d. Ahí se puede observar que la Pff se mantuvo estable en alrededor de 42 bars entre 1975 y 1993, valor que está muy por abajo de la presión de yacimiento para esa zona en esos tiempos: la presión de yacimiento a 1263 m de profundidad estaba en el rango de 140 a 100 bars. El valor para Pff en ese periodo está incluso por debajo de la presión de saturación de líquido a la temperatura inicialmente medida por registros de fondo, ya que a 300° C la presión de saturación de líquido es de 85.8 bars.

De lo anterior se desprende que en ese periodo productivo se tenían dos fases en el yacimiento. De acuerdo a los cálculos, la Fracción de Vapor del pozo en el fondo fluyendo (FVff) presentó variaciones en el rango de 0.20 a 0.12 en el periodo de 1975 a 1993. De 1993 a 1995 la FVff fue disminuyendo hasta haber una sola fase líquida, y mantenerse en esas condiciones hasta 2006.

Habiendo obtenido la Pff, se procedió al cálculo de la presión de yacimiento (P_y) empleando diferentes índices de productividad (IP) y utilizando la correlación lineal, así como un flujo horizontal, el cual es característico en esta zona del yacimiento (Rodríguez *et al.*, 2000), en contraste con otras zonas del yacimiento donde la permeabilidad vertical juega un papel determinante (Rodríguez *et al.*, 2006). Lo anterior se debe a que se ha observado que el IP ajustado a pozos en fase líquida por lo regular alcanza valores de hasta 10 t/h/bar, mientras que en pozos con alta fracción de vapor llega a valores de hasta 1 t/h/bar. Así, para reproducir la P_y

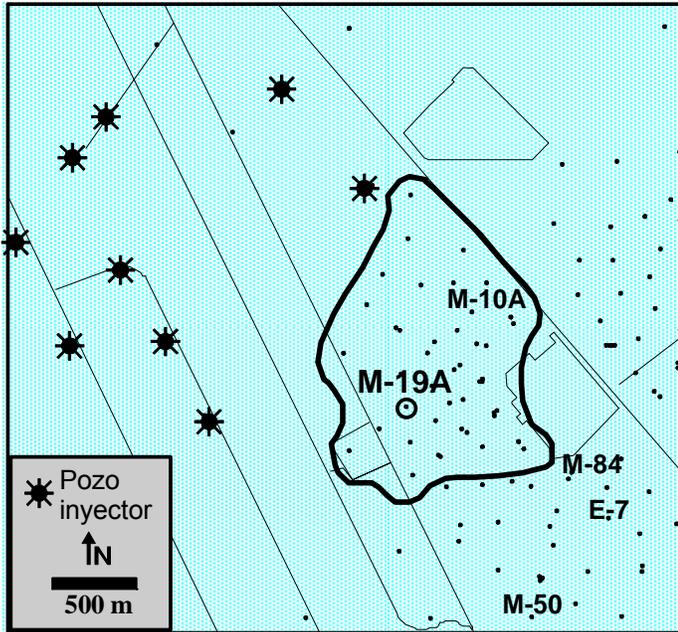


Fig. 6. Área considerada para el balance de masa en la zona del pozo M-19A, y localización de los pozos referidos en el texto.

entonces empieza a declinar para llegar a 1500 t/h en 1990, para posteriormente aumentar hasta unas 1800 t/h en 1995 y volver a declinar gradualmente hasta reducirse a cerca de 500 t/h en el año 2006.

Por su parte, el flujo másico de agua inyectada empezó en 1990, aunque se suspendió en algunos periodos durante 1991 y 1992. En 1993 la inyección en la zona llegó a cerca de 1000 t/h, manteniéndose con altibajos con un gasto promedio de 1260 t/h para el periodo de 1993 a 1998, y de 1180 t/h para el periodo de 1999 a julio de 2006. Como se puede observar en la Figura 7, a partir de 1998 se tuvo en la zona analizada un mayor gasto de inyección que el gasto extraído.

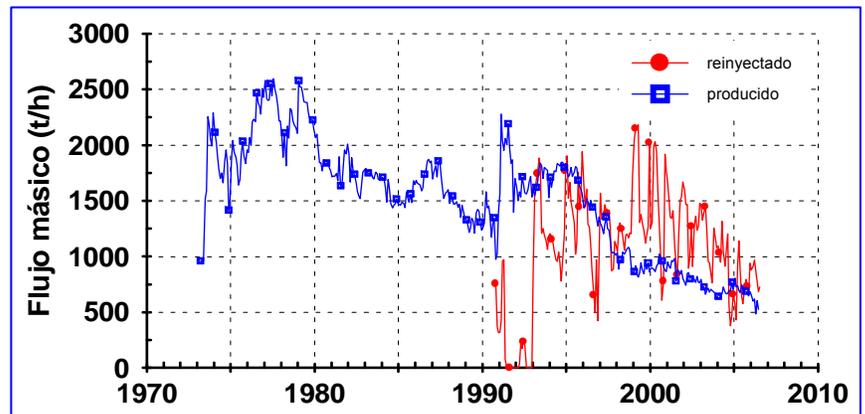


Fig. 7. Flujo másico de masa extraída y reinyectada en los pozos indicados en la Figura 6.

La zona analizada tiene una superficie de 1.64 km². En su subsuelo puede asumirse una porosidad global del orden del 10% (0.1), y la densidad del fluido ahí contenido es de 712 kg/m³ en promedio, ya que es la densidad que corresponde al agua líquida saturada a 300° C. Tomando en cuenta, además, que el fluido extraído acumulado hasta junio de 2006 en la zona analizada es de 438 millones de toneladas, la caída teórica del nivel habría sido de 3750 metros si no existiera ninguna recarga hacia la zona. Sin embargo, el nivel medio de esa zona del yacimiento en 2006 se mantiene en un rango de entre 200 y 500 m. Por lo tanto, es evidente que sí ha habido recarga a través de las fronteras de la zona analizada, y de que esta recarga ha sido de cuando menos 397 millones de toneladas hasta la fecha del análisis (junio de 2006).

La variación de la presión de un yacimiento geotérmico depende, entre otras cosas, del balance entre la masa que entra y sale del sistema, además de la variación de la fracción de vapor y la temperatura del fluido. Por lo tanto, en esta sección se incluye un balance entre los gastos medidos de explotación y los de la reinyección, para la zona que se indica en la Figura 6. En este ejercicio, para los gastos de explotación se consideró la producción de los pozos tanto someros como profundos de la zona norte de CP1, mientras que para los gastos reinyectados se tomaron en cuenta únicamente los nueve pozos inyectoros localizados hacia el noroeste y en la laguna de evaporación, que se indican en la mencionada figura.

Los gastos producidos y reinyectados de los pozos se presentan en la Figura 7. En ella se puede observar que la explotación en esa zona empezó en 1973, alcanzando en 1975 cerca de 2000 t/h y se incrementó hasta 2500 t/h durante 1978. A partir de

Ahora bien, si tanto la recarga natural como la artificial (el agua inyectada) que recibe la zona es mayor al volumen másico extraído, es posible que en esa zona se esté presentando una recuperación de la presión de yacimiento. Esta recuperación se podría ver reflejada en los pozos productores siempre y cuando la entalpía del fluido en el yacimiento no disminuyera significativamente. Al parecer este ha sido el caso del pozo M-19A, a diferencia de la mayor parte de los pozos de la zona. Esos demás pozos, particularmente los de mayor profundidad, han sufrido una sustancial disminución en la entalpía de sus fluidos, lo que ha provocado que gradualmente vayan dejando de producir.

Por otro lado, la producción másica de la zona analizada hacia mediados de 2006 es, como se indicó antes, de unas 500 t/h (ver Fig. 7). De acuerdo con cálculos basados en las concentraciones de cloruros de los pozos productores e inyectores, aproximadamente la mitad de esas 500 t/h que se producen en la zona corresponde a agua de inyección. Si se considera que en el margen noroeste de la laguna se inyecta un total de 750 t/h de agua, puede estimarse que, descontando las 250 t/h que se extraen en la zona analizada, las restantes 500 t/h de agua inyectada se están desplazando hacia zonas productoras localizadas hacia el oriente de la misma zona analizada, de acuerdo con el flujo predominante que se ha determinado para la zona norte de CP1 (Rodríguez *et al.*, 2000).

Comparativo del comportamiento del pozo M-19A con pozos de otras zonas de CP1

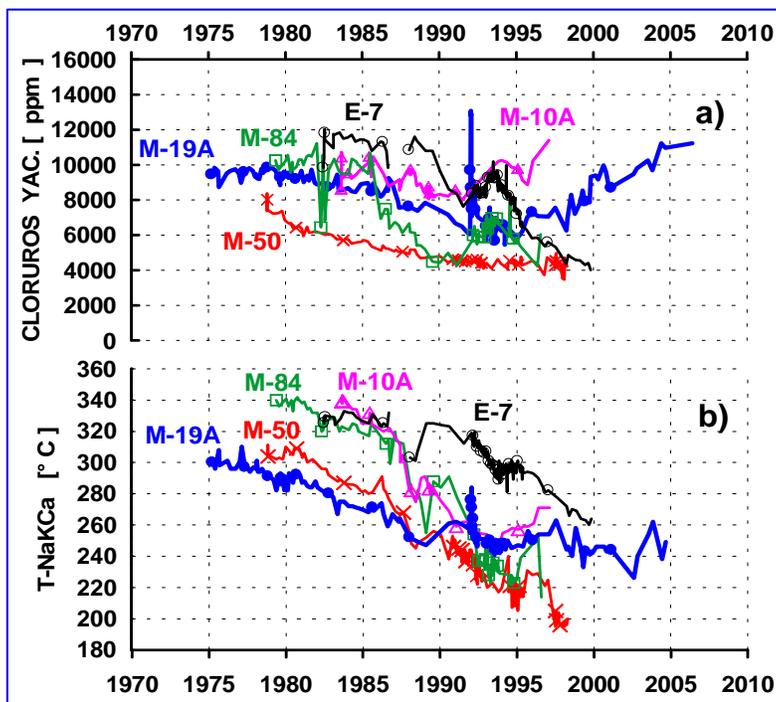


Fig. 8. Evolución de la concentración de cloruros y de la temperatura con el geotermómetro de NaKCa para los pozos M-19A, M-10A, M-50, M-84 y E-7.

19A. Los fluidos del pozo M-10A, en cambio, mantienen sus concentraciones de cloruros por arriba de las 8000 ppm.

En relación a la temperatura calculada con el geotermómetro de NaKCa (Figura 8b), se puede observar que las temperaturas iniciales de todos los otros pozos fueron superiores a la del pozo M-19A, llegando a los 340° C en los pozos M-10A y M-84 y a los 320° C en el E-7, y coincidiendo en todos los casos con las respectivas temperaturas medidas por registros de fondo. Sin embargo, en todos ellos se observa un

Con el objeto de resaltar el comportamiento del pozo M-19A, se compara su historial de concentración de cloruros y la evolución de la geotermometría de NaKCa con las de otros cuatro pozos del área de CP1 (pozos M-10A, M-50, M-84 y E-7) cuya ubicación puede verse en la Figura 6. La comparación se grafica en la Figura 8.

En la Figura 8a se observa que cuando cada pozo empieza a producir la concentración de cloruros de sus fluidos se mantiene en el rango de 8000 a 12000 ppm, que es el rango definido para aguas geotérmicas antes de la explotación del campo. El pozo con una mayor dilución de Cl en su inicio es el pozo M-50, localizado al sur de CP1. La concentración inicial de Cl en los pozos M-84 y E-7 es mayor a la del pozo M-19A, pero ambos presentan una dilución más pronunciada con el paso del tiempo, llegando a valores de hasta 4000 ppm, lo cual contrasta con la mayor estabilidad del M-

abatimiento de temperatura más pronunciado que el del pozo M-19A el cual, como se comentó antes, resulta ser bastante estable desde el punto de vista térmico.

Conviene agregar que los cuatro pozos comparados han dejado de fluir en las diferentes fechas indicadas en la Figura 8.

El contraste en el comportamiento de cada pozo se debe a varios factores, entre los que están sin duda su localización y terminación. Estos factores afectan la cantidad y calidad de la recarga, por ejemplo la temperatura del agua de recarga. Por ello se puede decir que la localización y terminación del pozo M-19A han favorecido una recarga bastante continua, aunque haya sido de baja temperatura, lo que a su vez le ha permitido a este pozo mantener su producción por más de 30 años, en contraste con la gran mayoría de los pozos de CP1.

Conclusiones

El análisis de la historia de producción del pozo M-19A indica que el pozo ha recibido diferentes tipos de recarga de fluido durante sus más de 30 años de producción ininterrumpida. Es posible dividir esa historia en tres periodos de una década cada uno, en el primero de los cuales, de 1975 a 1985, el pozo presentó un gran estabilidad productiva y valores constantes en la concentración de cloruros y de isótopos pesados en los fluidos producidos. En el segundo periodo, de 1985 a 1995, se observa una clara dilución de cloruros y de isótopos pesados, así como una declinación en la producción de fluidos. Finalmente, en el tercer periodo de 1995 a 2006 hay evidencias de una recarga con mezcla de agua de inyección.

La recarga de fluidos en los alrededores del pozo tiene temperaturas relativamente bajas, lo que ha provocado una disminución en la entalpía y en la temperatura del fluido producido. Sin embargo, la declinación no ha sido tan marcada como en la gran mayoría de los pozos de CP1. La recarga, aunada a una disminución en el ritmo de explotación en la zona, ha permitido una recuperación de la presión de yacimiento, la cual se manifiesta en el pozo M-19A desde 1995 en forma de una mayor estabilidad productiva y de un incremento en la presión de cabezal.

Por otra parte, este trabajo hace patente la importancia de analizar en forma multidisciplinaria el comportamiento de un pozo, así como de tratar de comprender el comportamiento global del entorno de la zona, para poder correlacionar adecuadamente las observaciones con sus causas reales.

Agradecimientos

Se agradece al personal del Departamento de Yacimientos de la Residencia de Estudios de Cerro Prieto por mantener una continua discusión sobre el comportamiento del yacimiento, lo que ha permitido una mejor comprensión de los procesos que ocurren en el mismo a fin de lograr una explotación más eficiente y sustentable.

Referencias

Pérez Hernández, A. (2000) Caracterización general de los procesos en el yacimiento utilizando variables geoquímicas y termodinámicas básicas. Reporte interno de la CFE No. RE-031/00. Inédito.

- Rodríguez R., M.H., H. Gutiérrez-Puente y J. de León-Vivar (2000). Updated fluid flow model for the CP1 area of Cerro Prieto. *Proceedings of the 25th Geothermal Reservoir Workshop*, Stanford, California, pp. 388-397.
- Rodríguez R., M.H. (2003) Response of the Northeastern Cerro Prieto Wells to Exploitation. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, Vol. 27, pp. 779-784.
- Rodríguez R., M.H., J.S. de León Vivar, A. Pérez Hernández y M. Corona Ruiz (2006). Relación entre la terminación de pozos y la producción de vapor para el campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. *Geotermia*, Vol. 19, No. 1, pp. 41-51.
- Truesdell, A.H., B. Terrazas, L. Hernández, C.J. Janik, J.L. Quijano, and R. Tovar (1989). The response of the Cerro Prieto reservoir to exploitation as indicated by fluid geochemistry. *Proc. CFE-DOE Symp. in Geothermal Energy*, DOE CONF 8904129, pp. 123-132.