

Control de incrustación en instalaciones superficiales del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, BCS

Ruth Tapia Salazar

Comisión Federal de Electricidad, Residencia de Las Tres Vírgenes

E-mail: ruth.tapia@cfe.gob.mx

Resumen

Uno de los problemas más importantes en el campo geotérmico de Las Tres Vírgenes es la incrustación por sílice, la cual afecta no sólo a instalaciones superficiales como líneas de inyección de salmuera, sino también a los pozos inyectoros al reducir su capacidad de aceptación. El agua producida por los pozos productores se conduce hasta los pozos inyectoros por medio de tuberías de acero al carbón de 10 y 14 pulgadas de diámetro, que se ven afectadas por la incrustación de sílice. La incrustación ocurre debido a que cuando el fluido en dos fases es descargado a presión atmosférica, la salmuera separada, enfriada y concentrada, está usualmente sobresaturada con respecto a la solubilidad de la sílice amorfa. Aunque las tuberías se limpiaban mecánicamente, fue necesario seleccionar una técnica para prevenir la incrustación, para lo cual se estudiaron dos de los métodos que podían ofrecer mejores resultados, tomando en cuenta las condiciones del campo. Se adoptó finalmente la técnica de modificación del pH de la salmuera, dando como resultado que, a un año de su puesta en operación en el sistema general de inyección, no haya habido necesidad de realizar ninguna limpieza mecánica a las tuberías, lo que anteriormente se realizaba cada tercer día como mínimo. Esto constituye una importante mejora al sistema de suministro de vapor.

Palabras clave: Las Tres Vírgenes, incrustación, sílice, modificación de pH, salmuera.

Scaling control in superficial installations at the Las Tres Vírgenes, geothermal field, BCS

Abstract

Silica scaling is one of the most important problems in the Las Tres Vírgenes geothermal field. It affects not only the superficial installations, like brine injection pipelines, but also the injection wells where it reduces injection capacity. Separated brine passes from production wells to injection wells by means of steel pipelines 10 and 14 inches in diameter. The pipelines are affected by silica scaling that occurs when the two-phase fluid is discharged at atmospheric pressure and the separated brine is cooled and concentrated and then oversaturated with amorphous silica. Even when the pipelines were cleaned periodically, it was necessary to implement a technique for prevent scaling. Two methods considered appropriate to the specific field conditions were studied, and finally the technique of modifying the brine pH was adopted. After over a year of using this technique in the general injection system, no mechanical cleaning of the pipelines has been necessary—and once cleaning was needed at least every third day. This represents an important improvement in the steam supply system.

Keywords: Las Tres Vírgenes, scaling, silica, modification of pH, brine.

1. Introducción

El campo geotérmico de Las Tres Vírgenes se localiza en la Península de Baja California Sur, 32 km al NW de la ciudad de Santa Rosalía. El campo está en un complejo volcánico cuaternario, compuesto de tres volcanes alineados de norte a sur (Gutiérrez-Negrín, 1990), con un yacimiento geotérmico dominado por líquido.

Se han perforado 9 pozos, 6 productores y 3 inyectores, con profundidades entre 1290 y 2500 m. La composición del agua producida por los pozos es de tipo clorurado sódica, característica de una salmuera de origen geotérmico completamente equilibrada a temperaturas de 280° C. Las bajas concentraciones de magnesio indican que la interacción agua-roca tiene lugar a altas temperaturas y circulación profunda.

En la actualidad se presenta un problema muy importante en ese campo, que es la incrustación por sílice. Esto afecta no sólo a las instalaciones superficiales, como son las líneas de inyección de salmuera, sino que también reduce la capacidad de aceptación de los pozos inyectores.

Ese tipo de incrustación es característica de yacimientos de alta temperatura (generalmente temperaturas mayores de 200° C). El depósito ocurre debido a la reducción de solubilidad, ocasionada por la disminución de temperatura del fluido geotérmico, además del efecto de concentración debido al flasheo del fluido. Esta incrustación ocurre en zonas de baja temperatura del equipo en superficie, y en particular en la descarga de los pozos productores y en el sistema de inyección.

El agua producida por los pozos productores se conduce hasta los pozos inyectores por medio de tuberías de acero al carbón de 10 y 14 pulgadas de diámetro, las cuales se ven afectadas considerablemente por la incrustación de sílice, debido a que cuando el fluido en dos fases es descargado a presión atmosférica, el agua geotérmica separada, enfriada y concentrada está usualmente sobresaturada con respecto a la sílice amorfa y, por ello, se deposita sílice en las instalaciones superficiales (Hirowatari, 1987).

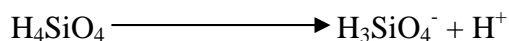
Los depósitos de sílice en líneas de inyección incrementan la frecuencia y costos de mantenimiento y, en el peor de los casos, los pozos inyectores llegan a incrustarse, con el consiguiente costo de limpieza.

El objetivo de este trabajo es describir un sistema para prevenir incrustación de sílice en instalaciones superficiales y pozos inyectores que garantice la disponibilidad del diámetro original de la tubería de inyección, que reduzca la limpieza mecánica de las mismas y haga eficiente el sistema de inyección del campo geotérmico. El método seleccionado fue el de modificación del pH del agua separada que se conduce por el sistema general de inyección.

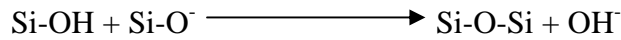
2. Antecedentes

El término incrustación se refiere en general al depósito de minerales provenientes del agua geotérmica o salmuera que contiene moléculas en suspensión, que no pueden ser disueltas en el agua por estar sobresaturada con respecto a ese mineral. Cada sistema geotérmico tiene diferentes problemas de incrustación, debido a la distinta composición, cantidad y carácter físico del agua geotérmica.

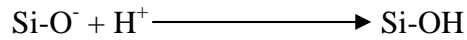
La ocurrencia de la incrustación de sílice depende de varias condiciones, como son la concentración del ácido silícico, la temperatura y el pH de la solución. El ácido silícico monomérico (H_4SiO_4) es un ácido débil que, sin embargo, puede ser ionizado parcialmente como $H_3SiO_4^-$ en una solución alcalina, como se muestra en la reacción:



Por otra parte, el ácido silícico puede considerarse como un grupo de cuatro radicales OH⁻, ligados a un átomo de Silicio (Si(OH)₄). Este grupo, conocido como “silinol”, tiene la propiedad de formar polímeros, que son agregados desordenados e irregulares de moléculas construidos mediante enlaces del tipo Si-O-Si, que se forman por colisión de moléculas con radicales -OH y -O⁻, conforme a la reacción:



Ahora bien, se ha observado experimentalmente que cuando el pH disminuye se inhibe la formación de los enlaces Si-O-Si y, por ende, la formación de polímeros, conforme a lo siguiente:



Por consiguiente, la polimerización del ácido silícico se detiene cuando el pH de la salmuera se ajusta del lado ácido. De esta forma la tasa de incrustación puede reducirse.

3. Estudios preliminares

Se realizó un estudio de medición del tamaño de partículas de sílice, con apoyo del Dr. Kevin Brown del *Geothermal Institute* de la Universidad de Auckland en Nueva Zelanda.

El estudio consistió en determinar el tamaño de la partícula de sílice en la presa de los pozos LV-3 y LV-4, para lo cual se tomaron muestras de agua a la entrada y a la salida de la misma. Las botellas utilizadas para el muestreo contenían un dispersante proporcionado por el *Geothermal Institute*, el cual permitió conservar la distribución original del tamaño de partícula y realizar, así, un análisis exacto.

De los resultados de las muestras analizadas se determinó que en la entrada de la presa las partículas tenían un diámetro de 4.9 a 7 nanómetros (nm). Se trata de partículas muy pequeñas, por lo que se asumió que el fluido probablemente no experimentaría depósito de sílice (Fig. 1).

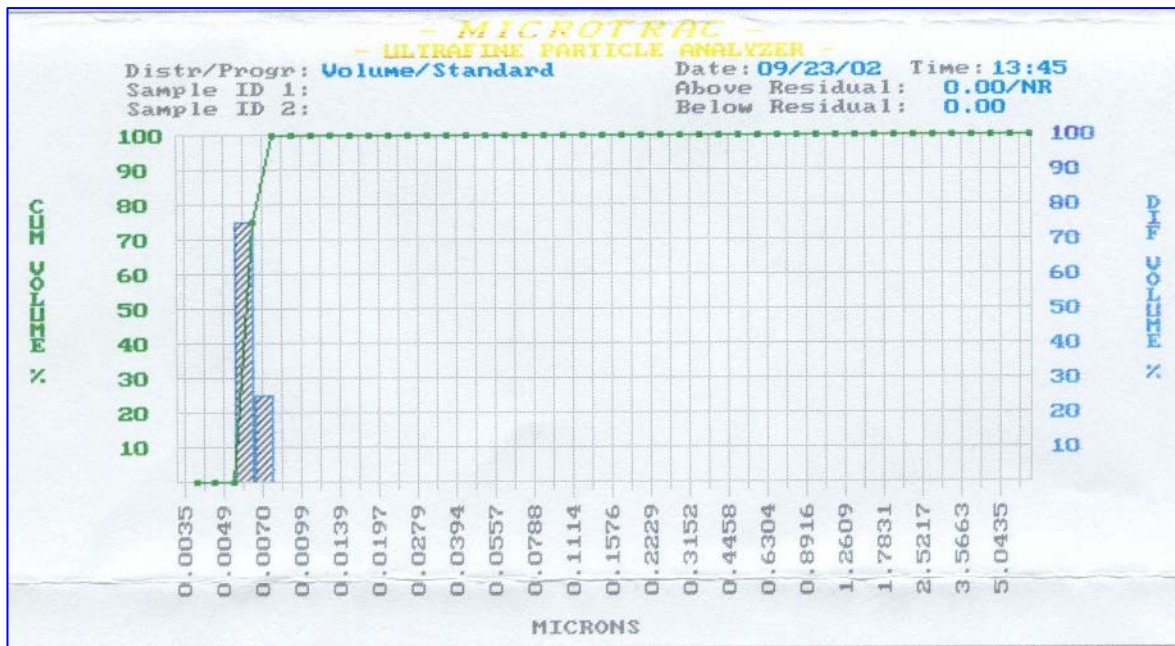


Fig. 1. Medición del tamaño de la partícula de sílice a la entrada del cárcamo

Por otro lado, en la salida de la presa las partículas presentaron un tamaño de 220 a 315 nm. Estos son coloides de sílice que han crecido en la presa y que sin duda dan lugar a depósitos de sílice voluminosos y difíciles de remover (Fig. 2).

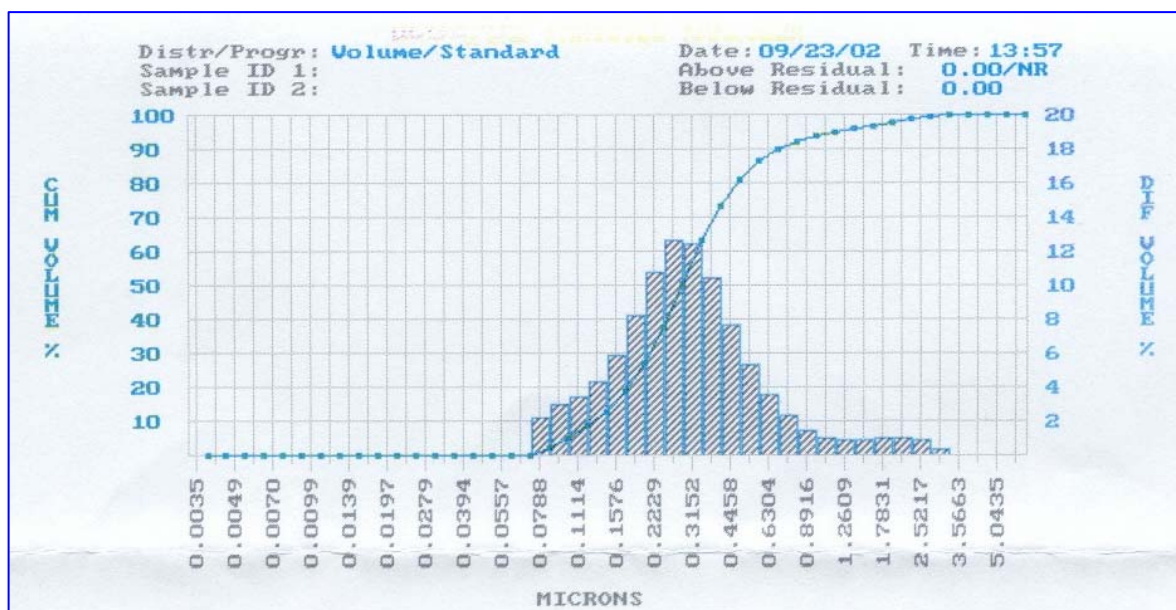


Fig. 2.
Medición del tamaño de la partícula de sílice a la salida del cárcamo.

La producción máxima de salmuera de los pozos es de 350 toneladas por hora (t/h), la cual es necesario transportar por medio de tuberías de acero hasta los pozos inyectoros. En condiciones normales de operación, después de tres días sin limpiar las tuberías el gasto a través de ellas disminuye hasta en 20 t/h, y en 50 t/h al cuarto día.

Los resultados obtenidos en un experimento de depósito de sílice (Tapia y Arvizu, 2004a), indicaron que la velocidad de depósito en las líneas de inyección en el campo de Las Tres Vírgenes es de 550 mg/dm² diarios. En el experimento se estudiaron dos alternativas de prevención de incrustación, concluyéndose que el método de tanque de retención disminuye hasta un 60% la incrustación y el método de modificación de pH la reduce hasta en un 90%, siendo por tanto este último la mejor alternativa.

4. Metodología

El método de modificación del pH es considerado como una alternativa en la prevención de incrustación. El método consiste en modificar el pH de la salmuera hasta el punto en el cual se evita la polimerización de la sílice, lo que depende de las características químicas de la salmuera.

Para confirmar el efecto preventivo de la modificación del pH, se rastreó la polimerización del ácido silícico en un rango de pH entre 3.5 y 7.3. Como conclusión se determinó que la polimerización de la sílice se evita a pH menores a 5.5 (Fig. 3), por lo que se tomó determinación de usar H₂SO₄ (al 98%) para el ajuste del pH de la salmuera.

Por otro lado, siendo la corrosión una de los posibles efectos secundarios del ajuste del pH, se determinó la corrosividad en la tubería de inyección, que es de acero al carbón. En la Figura 4 se puede apreciar que la velocidad de corrosión a la temperatura de inyección (entre 65 y 85° C) y al pH original (7.4) es de aproximadamente 0.07 mm/año, y que a la misma temperatura pero a un pH de 5 la velocidad de corrosión es

aproximadamente la misma. De ahí se concluyó que prácticamente no había riesgo de corrosión en las tuberías de inyección.

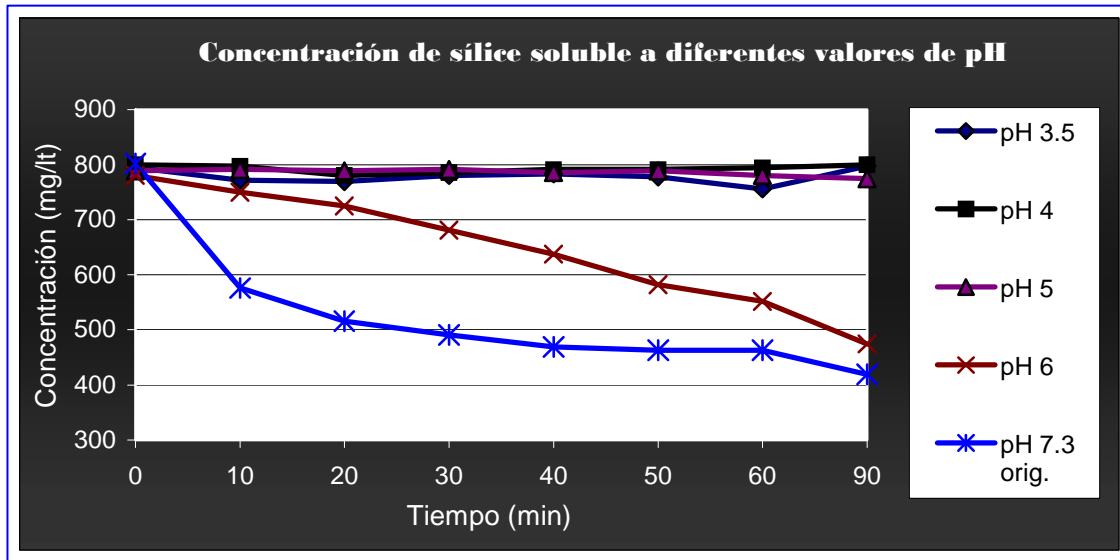


Fig. 3. Polimerización a diferentes tiempos y valores de pH

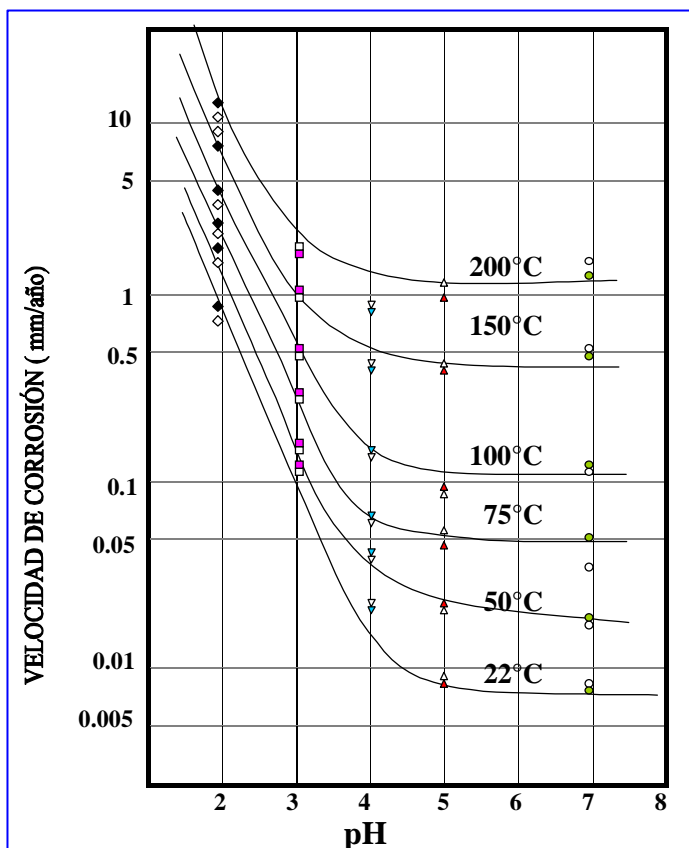


Fig. 4. Relación entre velocidad de corrosión y el pH en solución.

5. Desarrollo

Para llevar a cabo la modificación del pH en el sistema general de inyección, se tomó en cuenta la información de los estudios realizados anteriormente (Tapia y Arvizu, 2004b). Se llegó a la conclusión de que la dosificación del H₂SO₄ (98%) se realizara en el vertedor a la descarga del silenciador, ya que además de aprovechar para la mezcla la turbulencia que se genera en esa descarga, se evitaría cualquier pérdida de temperatura que pudiera provocar un aumento en la tasa de polimerización de sílice antes de que fuera posible inhibirla.

Los puntos de muestreo para la determinación y control de pH son las obras de toma de los cárcamos en la plataforma de los pozos LV-11 y LV-3/4 y la llegada al pozo LV-8, ya que es en estos puntos donde se esperaba que la mezcla fuera más homogénea y por lo tanto la lectura más representativa.

Los carretes de tubería que sirvieron como testigos de la tasa de incrustación se colocaron en las líneas de inyección de acero al carbón de 10 y 14 pulgadas de diámetro, después de la obra de toma de los cárcamos de los pozos LV-11 y LV-3/4, en aquellas zonas en donde se presentaba la mayor cantidad de incrustación.

Finalmente se tomó la decisión de medir también el gasto de agua conducido por las líneas de inyección hasta el pozo inyector LV-8 durante la prueba.

Se realizaron las siguientes actividades previas y durante la prueba:

- Acondicionamiento de las instalaciones (carretes, válvulas, bombas, etc.) y ubicación de puntos de dosificación y muestreo (Fig. 5), para tener un parámetro de referencia o comparativo del avance o mejora que se observase conforme se realizaba la prueba.

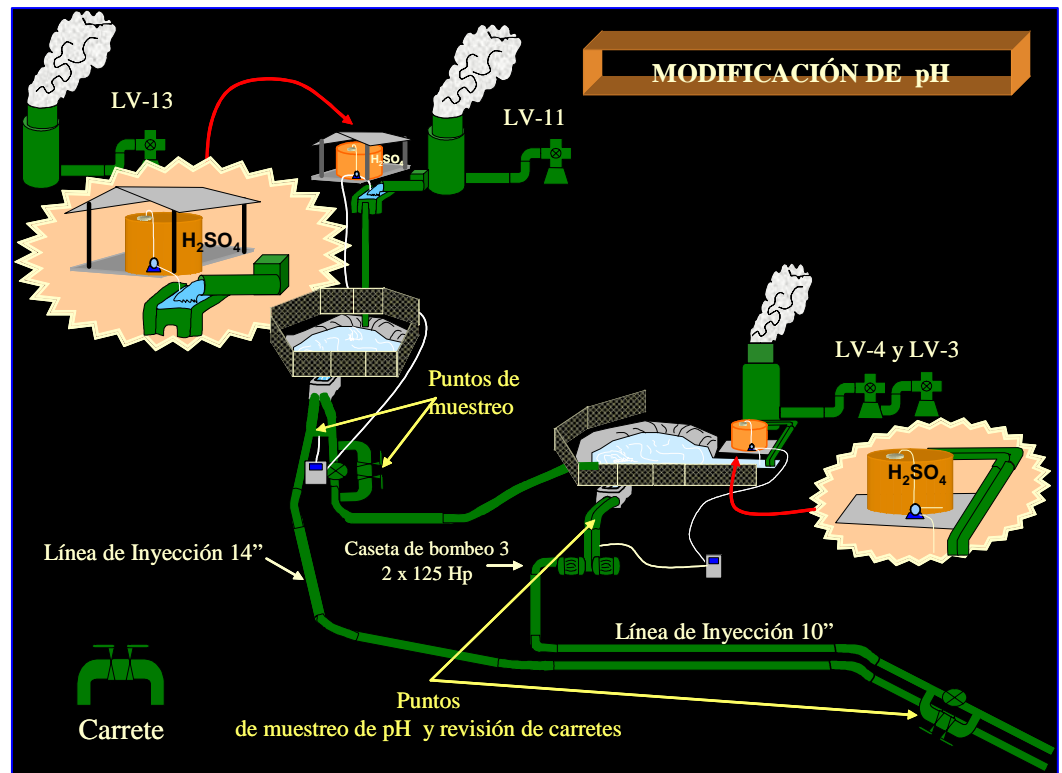


Fig. 5. Puntos de dosificación y muestreo.

- Limpieza total de los carretes testigo colocados después de la obra de toma de los cárcamos de los pozos LV-11 y LV-3/4 que sirvieron como indicadores físicos del avance de la incrustación.
- Acondicionamiento del sistema de dosificación por gravedad de H_2SO_4 (95 a 98%) (contenedores, válvulas, conexiones, mangueras, etc.).
- Instalación de un sistema de regadera de emergencia y sacos de cal como seguridad para posibles fugas o derrames.
- Entrega al personal implicado en la prueba del equipo de seguridad necesario, como trajes desechables, lentes, mascarillas con filtros para gases ácidos y guantes de neopreno resistentes a alta temperatura.
- Llenado de contenedores de $5m^3$ con H_2SO_4 (95 a 98%), ubicados en las plataformas de los pozos LV-11 y LV-3/4.
- Dosificación y medición continuas del gasto de H_2SO_4 (95 a 98%) inyectado en la descarga de los silenciadores al vertedor, hasta alcanzar el pH de 5 ± 0.5 , aprovechando la turbulencia que genera la descarga para el mezclado.

- Monitoreo continuo del pH en el sistema de inyección, recolectando muestras en la obra de toma de los cárcamos de los pozos LV-11 y LV-3/4 y en la caja de rompimiento del pozo LV-8.
- Monitoreo continuo del gasto de agua conducida hasta el pozo LV-8
- Revisión periódica de los carretes instalados en la línea, que servirían como testigos de la prueba.

6. Resultados

Durante el tiempo que duró la prueba se realizó un monitoreo continuo de pH en el sistema de inyección, tomando lecturas de este parámetro tres veces por turno y registrándolas en una bitácora. De acuerdo con el monitoreo se puede apreciar que aproximadamente el 90% del tiempo el pH permaneció dentro del rango establecido de 5 ± 0.5 (Fig. 6).

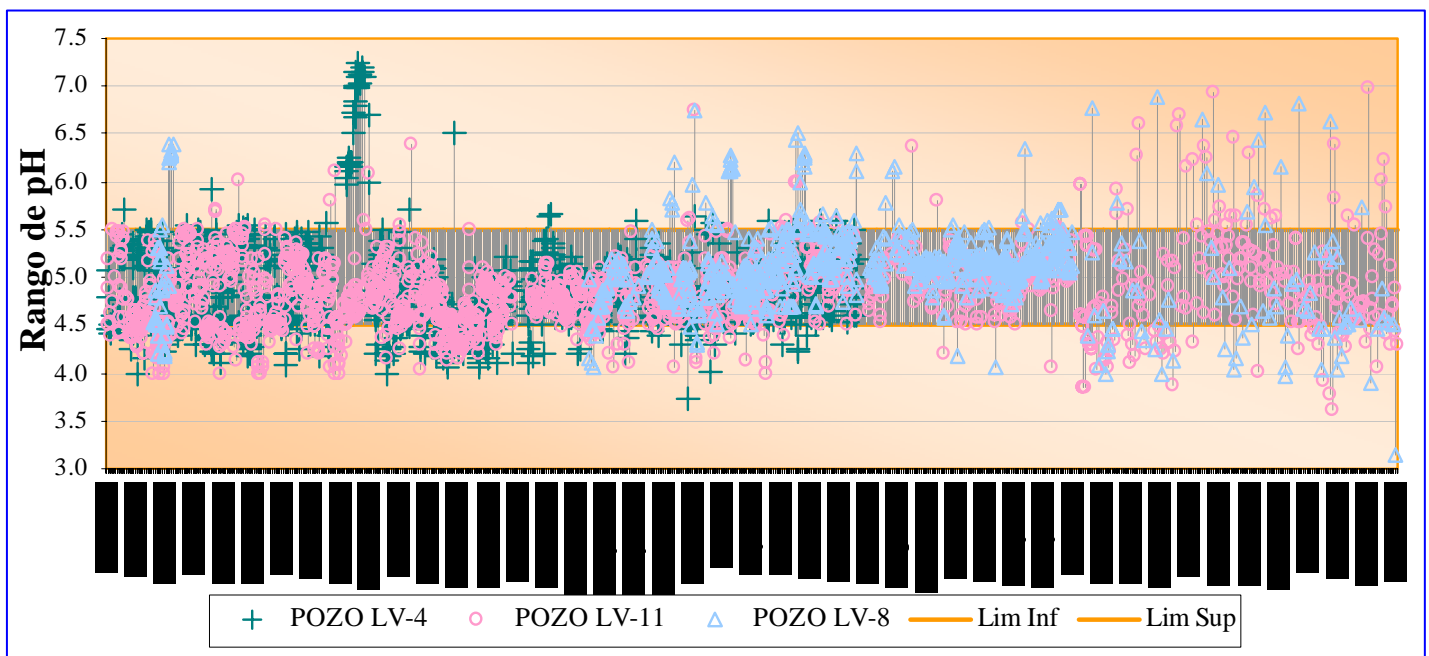


Fig. 6. Variación del pH en el sistema general de inyección en el año 2005.

Cuando se regula el pH hasta el punto en el que se evita la polimerización de la sílice se puede apreciar un cambio de coloración considerable en el agua.

Durante la prueba se midió diariamente el gasto de agua manejado por bombeo hacia el pozo LV-8 a condiciones máximas (válvulas totalmente abiertas), durante una hora aproximadamente, para evaluar de manera directa su evolución. En la Figura 7 se puede apreciar que el gasto de inyección fue muy estable, ya que sólo se aprecia una mínima reducción en el gasto de aproximadamente 10 ton/h a lo largo de 80 días.

Los carretes testigo colocados en la línea de inyección fueron desconectados y revisados periódicamente. Después de un año, sólo se percibió una mínima capa de incrustación de un máximo de 19 mm de espesor en las zonas más críticas de la línea, siendo mucho menor en los puntos más cercanos al pozo inyector, y sin que se apreciara ningún indicio de corrosión provocado por el manejo del agua a pH bajo.

Debido a los buenos resultados alcanzados, al concluirse la prueba el sistema de modificación del pH fue puesto en servicio de manera permanente.

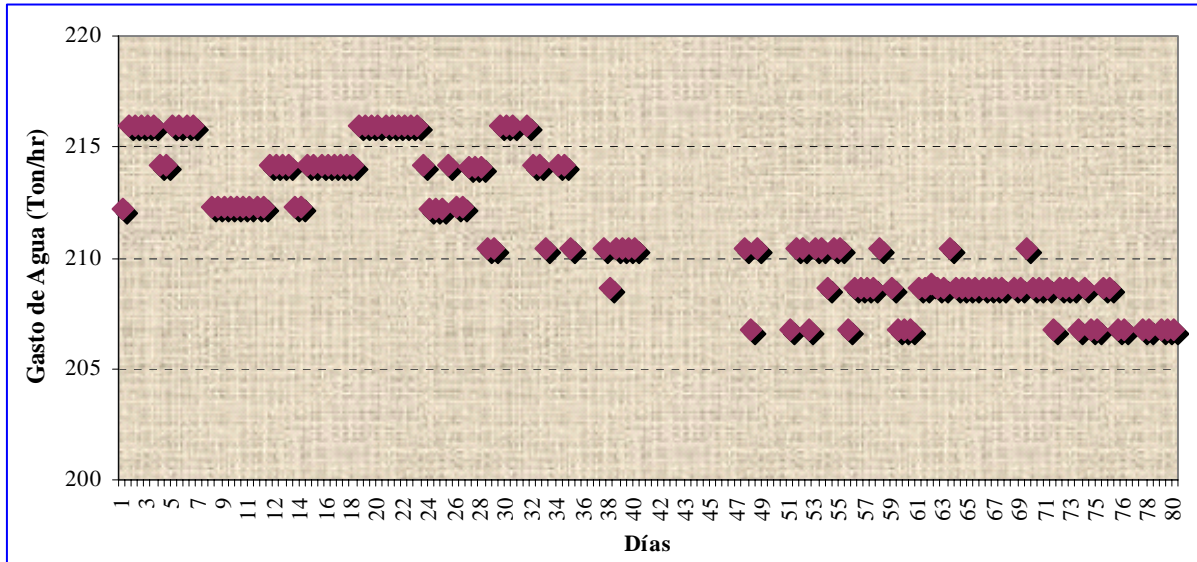


Fig. 7.
Variación en el gasto de salmuera inyectada en el pozo LV-8.

7. Costos

Para estimar el consumo de ácido necesario para ajustar el pH original a 5.0, se realizaron pruebas de titulación en un litro de salmuera de los pozos productores, determinándose así la cantidad necesaria de H_2SO_4 por tonelada de salmuera, que resultó ser de 30.8 mililitros.

Así, y considerando que el costo de un litro de H_2SO_4 (95 a 98%) es de aproximadamente 7 pesos, el costo del ácido por tonelada de salmuera tratada resulta ser de 12 centavos.

Tomando en cuenta la cantidad de salmuera producida por los pozos productores durante un año completo, estimando el tiempo que permanecen abiertos a producción, puede calcularse que el costo anual del tratamiento de la salmuera para todo el campo de Las Tres Vírgenes es del orden de los 350 mil pesos, o de unos 32 mil dólares americanos.

8. Conclusiones y recomendaciones

- El método de modificación del pH de la salmuera se considera como una excelente alternativa para prevenir la incrustación de sílice en las líneas de inyección y en los pozos inyectoros del campo de Las Tres Vírgenes, ya que ha logrado reducir hasta en un 90% la velocidad de incrustación.
- Antes del tratamiento de la salmuera, a condiciones normales de operación se observaba una reducción en el gasto de inyección hasta de 20 t/h después de tres días sin limpiar tuberías, la cual llegaba hasta 50 t/h al cuarto día. Aplicando el método de modificación de pH, la reducción en el gasto de inyección fue de tan sólo 10 t/h en tres meses sin efectuar actividades de limpieza.
- La corrosión en las tuberías a la temperatura de inyección (65 a 85° C) es aproximadamente la misma para la salmuera con pH original (7.4) que para la salmuera con pH modificado (5.0), de unos 0.07 mm por año, por lo que el método de modificación de pH no aumenta el riesgo de corrosión.

- En la prueba se observó que en los carretes testigo, después un año, sólo se percibía una capa de incrustación de un máximo de 19 mm de espesor en la zona más crítica de la línea.
- La puesta en práctica el método de modificación del pH de la salmuera, además de reducir la incrustación en las instalaciones superficiales se evita en gran escala el azolve e incrustación de los pozos inyectoros, lo que equivale a alargar su vida útil.

Referencias

- Gutiérrez Negrín, L.C.A. (1990) Litología, mineralogía y geotermometría del pozo LV-2, Las Tres Vírgenes, B.C.S. *Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía*, Vol. 6 (2), pp. 185-211.
- Hirowatari, K. (1987) Investigation of Reinjection of Low Temperature Brine, *Chinetsu Gijitsu*, Ser. 31, Vol.12.
- Tapia S., Ruth y Noé Arvizu M. (2004a) Estudio sobre Velocidad de Deposición de Sílice y Métodos de Prevención en el Campo Geotérmico Las Tres Vírgenes, BCS. CFE, Informe interno de la Residencia de Las Tres Vírgenes, número GQLV-02/04. Inédito.
- Tapia S., Ruth y Noé Arvizu M. (2004b). Modificación de pH como Método de Prevención de Deposición de Sílice en Instalaciones Superficiales del Campo Geotérmico de Las Tres Vírgenes, BCS. CFE, Informe interno de la Residencia de Las Tres Vírgenes, número GQLV-03/04. Inédito.