

La inversión del gradiente hidráulico y sus efectos en la hidrogeoquímica de dos grupos de pozos bien diferenciados, en la zona de La Muralla, Guanajuato, México

J.A. Ramos-Leal*
T. González-Morán**
J. Durazo**

Abstract

Local recharge shows very active dynamics in the zone of La Muralla. During the rainy season it generates most of the hydraulic charge in the south of the area producing flows towards the north. Nevertheless, during the dry season, the gradient is inverted producing a larger hydraulic charge in the north. The interaction of local and regional flows plays a very important role in the hydrogeochemical evolution of the wells. When recharge dominates, the dilution causes a decrease in the hydrogeochemical level, and during the dry season, the influence of deep flows that increase the hydrogeochemical concentration prevails. Well established variations in values of lithium, fluoride, chloride, and sodium allow differentiation of these two groups. Group A, where the northern wells are located, is related to deep flows, showing a higher concentration of hydrogeochemical components. Group B, located in the south, is associated with local recharge and shows low concentrations of these parameters.

Key words: Gradient inversion, Hydrogeochemistry, aquifer, dilution.

Resumen

En la zona de La Muralla, Guanajuato, la recarga local muestra una dinámica muy activa. Durante la temporada de lluvias, genera una mayor carga hidráulica, en la parte sur del área, produciendo flujos hacia el norte. Sin embargo, en época de secas, el gradiente se invierte presentando una mayor carga hidráulica, en la zona

* Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, 78216, San Luis Potosí, México, correo electrónico: jalfredo@ipicyt.edu.mx

** Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D. F., México, correos electrónicos: tglez@geofisica.unam.mx, durazo@geofisica.unam.mx

norte. La interacción de flujos locales y regionales juega un rol muy importante en la evolución hidrogeoquímica de los pozos. Cuando la recarga predomina, la dilución ocasiona una reducción en el contenido hidrogeoquímico del agua y en época de estiaje, al prevalecer la influencia de flujos profundos, se incrementan los valores de éstos parámetros. Variaciones bien establecidas en litio, flúor, cloro y sodio, permiten diferenciar dos grupos. El grupo A, ubicado en la zona norte de la batería, se relaciona con flujos profundos, presentado, mayor concentración en componentes hidrogeoquímicos; a diferencia del grupo B, localizado en la zona sur, asociado a la recarga local, que tiene bajas concentraciones, en estos parámetros.

Palabras clave: Inversión de gradiente; Hidrogeoquímica; Recarga; Proceso de dilución.

Introducción

El área de estudio se localiza en la parte central de México, en el Estado de Guanajuato, al sur de la ciudad de León (Figura 1).

La temperatura media anual es 18 °C, en las llanuras aledañas, con altitudes alrededor de 1800 msnm. En lo alto de los lomeríos y montañas, donde se alcanzan elevaciones hasta 2800 msnm., la precipitación media anual en el área es 632 mm (CEASG, 1999).

El área funciona como parteaguas superficial de dos cuencas hidrográficas muy importantes de la región.

La batería de pozos La Muralla construida en 1992, forma parte de la red de suministro de agua de esta ciudad, se distribuye en unos 15 km², esta superficie se sitúa sobre lomeríos de basaltos fracturados, en una zona de recarga y agua subterránea en tránsito.

Sus pozos extraen agua principalmente de un acuífero fracturado de tipo ignimbrítico. El acuífero ignimbrítico inició su extracción desde el año de 1992 a la fecha, cuenta con 19 pozos que contribuyen con un caudal de 200 lps, de agua potable a la red de agua de la ciudad de León.

En la zona de estudio se extrae agua que es el resultado de la mezcla entre flujos profundos y flujos locales. La zona acuífera al ser captada, se desequilibra. A causa de la intensa extracción en la zona, los niveles estáticos se profundizan hasta 3.6 m/año; el impacto que se ha generado en este acuífero se manifiesta en la variación de la calidad del agua subterránea.

En el presente estudio se discute la interacción que ocurre entre las aguas de flujo profundo y los flujos laterales asociados a la recarga local y su efecto en el proceso evolutivo de la hidrogeoquímica de la zona acuífera de La Muralla.

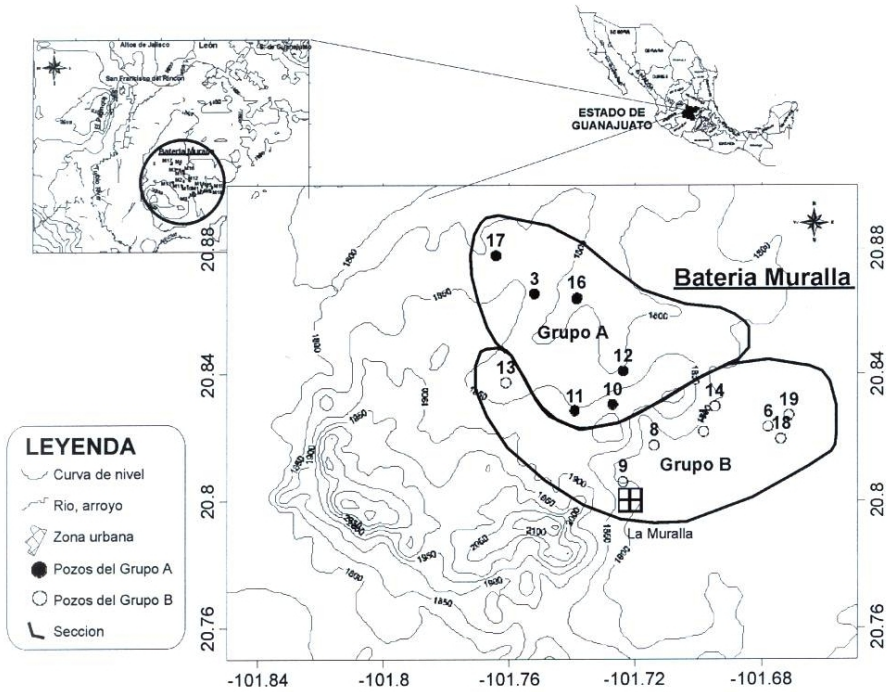


Figura 1. Localización de la batería de La Muralla, al sur de León, Guanajuato.

Antecedentes

La necesidad de abastecimiento de agua a la ciudad de León, Gto., ha propiciado en los últimos años la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento; así como, la realización de estudios más detallados en el acuífero de la zona de La Muralla y sus alrededores. En 1999, la Comisión Estatal de Aguas del Estado de Guanajuato (CEASG-UNAM, 1999) y el Instituto de Geofísica llevan a cabo un estudio hidrogeoquímico e isotópico para identificar las familias de agua en la región; así como, el origen de la recarga y las posibles conexiones hidráulicas con el Valle del Río Turbio. Estudios posteriores se llevaron a cabo en el 2000, por parte del Sistema de Agua Potable de León (SAPAL, 2001) y el Instituto de Geofísica, para realizar investigaciones en zonas aledañas a La Muralla, el Valle del Río Turbio y el Valle de León. Como resultado de estos trabajos, se han realizado investigaciones adicionales. Algunas de ellas han tratado, en detalle, las relaciones de mezcla en procesos que involucran aportes de aguas de origen termal. A su vez, han identificado los procesos de mezcla que marcan la composición química del acuífero (Ramos *et al.*, 2003a, 2003b).

Con base, en el historial hidrogeoquímico de cada uno de los 19 pozos que componen la Batería de La Muralla, se utilizó el contenido de cloruros para estimar tiempos de vida útil de los pozos de la batería. Utilizando el conjunto de pozos, se puede conocer el comportamiento del sistema acuífero y estimar su evolución a futuro.

Debe mencionarse que parte importante en el desarrollo de estos estudios, ha sido la adquisición de datos físicoquímicos que de manera continua, desde 1994 a la fecha, ha llevado a cabo el Sistema de Agua Potable de León (SAPAL, 2001). El resultado del análisis de diversos parámetros físicoquímicos seleccionados ha permitido identificar y clasificar dos grupos de pozos del área de La Muralla que presentan características, bien definidas uno del otro.

Geología del área

Geológicamente el área de estudio, ubicada en la provincia fisiográfica del Eje Volcánico Mexicano, es muy compleja. Esta ha sido afectada por numerosos eventos tectónicos y volcánicos durante el Cenozoico. Localmente la unidad más antigua, de la región, esta conformada por un conglomerado rojo muy compacto, conocido como Conglomerado Guanajuato (Quintero, 1986). Toma su nombre de los mejores afloramientos de esta unidad que se observan fuera del área de estudio, en la entrada a la ciudad de Guanajuato (Figura 2).

Aunque no esta expuesta en el área de estudio, la importancia de esta unidad radica en que funciona, como una unidad de baja permeabilidad que sirve como base de los acuíferos conocidos en la región.

Estudios en la zona de La Muralla, permiten establecer que la cima de esta unidad se encuentra entre los 254 m y 350 m de profundidad). Aunque en los valles de León y Turbio, se encuentra a profundidades de hasta 800 m. Esta unidad llega a presentar espesores mayores a los 400 m (CEASG, 1998).

Sobre la unidad conglomerática, se encuentra una unidad volcánica conocida como Ignimbrita Cuatralba, que constituye el acuífero más importante en la zona debido a que abastece a una de las principales baterías de pozos de la ciudad de León, Gto. En las perforaciones se le puede encontrar desde los 60 m de profundidad con espesores, que alcanzan los 110 m (CNA, 1997).

La unidad sedimentaria llamada Terciario Granular Indiferenciado, cubre a la roca ignimbritica. Este paquete sedimentario esta compuesto por materiales arenarcilloso con intercalaciones de gravas. Esta unidad esta ampliamente expuesta en la zona de estudio. En zonas topográficamente altas alcanza espesores, de hasta 90 m y en los valles de León y Turbio hasta 400 m. Su litología es variable, al oriente del área de estudio, presenta gravas y arenas y en los alrededores de La Muralla, predominan los materiales arcillosos (Figura 2).

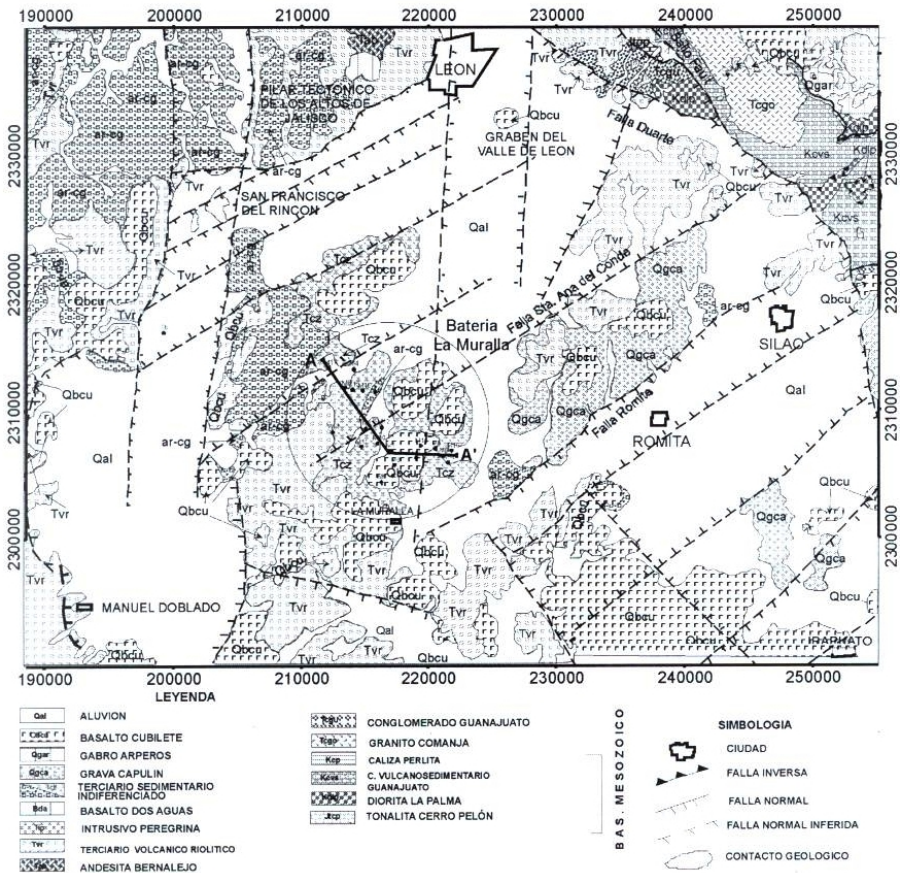


Figura 2. Geología regional de los valles de León, Río Turbio y área de Silao Romita.

Finalmente, el paquete sedimentario esta cubierto por rocas basálticas (Basalto Cubilete), en las zonas topográficamente altas y por aluviones en los valles.

Hidrodinámica de la zona de La Muralla; variaciones estacionales

Los cambios en los gradientes y direcciones de flujo en temporada de lluvias y temporadas de estiaje establecen al acuífero de La Muralla como un sistema muy dinámico en el (Figura 3). La información de cargas piezométricas (Comisión Nacional del Agua (CNA, 1997), establecen la influencia que tiene la recarga local en el sistema acuífero. Durante la época de lluvia, las mayores elevaciones piezométricas se localizan al sur de la batería en donde se encuentran pequeñas serranías originando flujos hacia el norte (Figura 3a). Sin embargo, los datos de 1998 (CEASG,

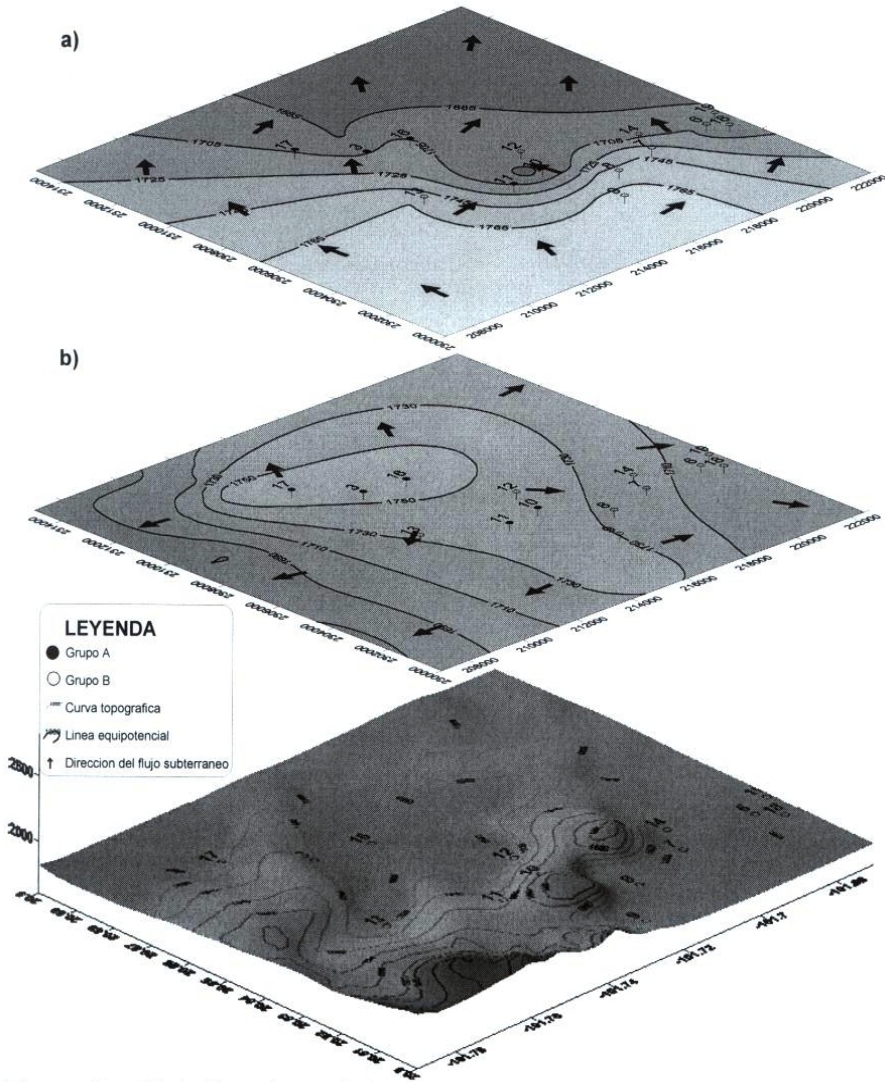


Figura 3. Dinámica piezométrica de la zona de La Muralla, mostrando los cambios de gradientes durante a) época de lluvia y b) temporada de estiaje.

1998), muestran que durante la época de estiaje se presenta una mayor elevación piezométrica, en la zona norte de la batería y una menor elevación piezométrica en los alrededores de la zona de La Muralla, lo cual implica que en época de estiaje los flujos se invierten, ocasionando en el área de la batería de pozos, una anomalía piezométrica (Figura 3b). La Figura 3a muestra, una inversión de gradiente y direcciones de flujo durante la temporada de lluvia, los flujos van de sur a norte, predominando la recarga local de la zona sur. La Figura 3b muestra, el comportamiento piezométrico en época de estiaje. Predominan los flujos profundos que alimentan al acuífero somero.

Discusión y Resultados

Como se ha mencionado anteriormente, la batería de pozos de La Muralla está formada por 19 aprovechamientos, que extraen agua para uso potable. El análisis de información fisicoquímica a lo largo de seis años, muestra una marcada diferenciación en composición y evolución hidrogeoquímica, en diferentes pozos, debido a procesos hidrodinámicos y a condiciones geológicas del sistema acuífero.

Influencia de los procesos tectónicos y volcánicos en la clasificación de los grupos

Como resultado de los procesos tectónicos y volcánicos, en la zona de estudio se presentan estructuras geológicas (fosas y pilares), que juegan un papel muy importante en el comportamiento piezométrico y químico de los pozos. Aunque a nivel regional, la batería de pozos La Muralla, forma constituye un solo sistema acuífero, a escala local, en la batería de La Muralla, se pueden diferenciar dos grupos de pozos con características fisicoquímicas propias (Figura 4).

El análisis de la información fisicoquímica a lo largo del tiempo (Ramos *et al.*, 2003) y la utilización de graficas de dispersión, entre elementos conservativos como fluor, litio, cloruros y no conservativos como, sodio y sulfatos (Figura 4) permitió la identificación y selección de dos grupos de pozos.

Espacialmente, se define el primer grupo de pozos (Grupo A), localizado al norte, en una zona, de elevación relativa respecto al entorno y que estructuralmente corresponde a un horst (pilar). Los pozos de este lugar, son más calientes y presentan mayor concentración de sulfatos, sodio, cloruros, litio y fluor. El otro grupo, en la parte sur, (Grupo B). Los pozos están perforados topográficamente a menor nivel, que el grupo A. Estructuralmente, están localizados en una fosa tectónica. Este grupo de pozos se caracteriza por tener una menor concentración de sodio, sulfatos, litio, fluor, cloruros y temperatura (Figuras 4 y 5).

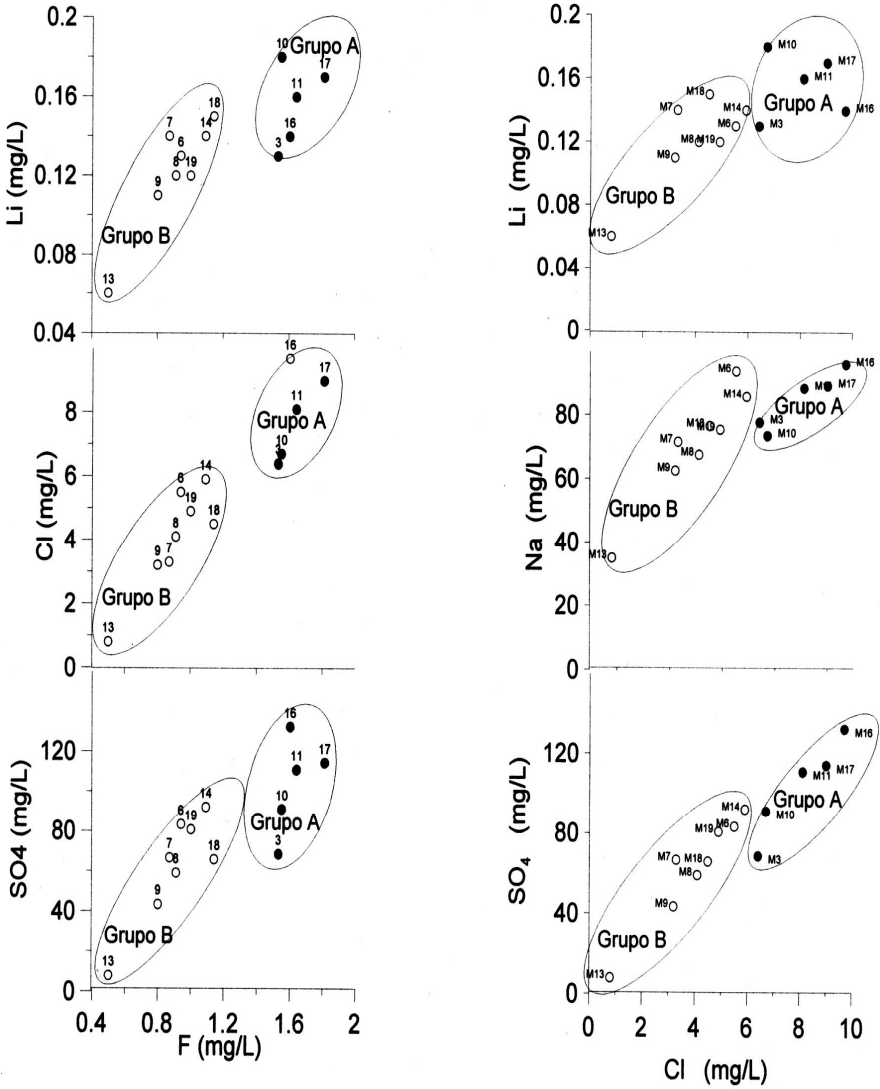


Figura 4. Dispersión de F/Li, F/Cl, F/SO₄, Li/Cl, Na/Cl y SO₄/Cl de los dos grupos A y B en los pozos en la zona de La Muralla.

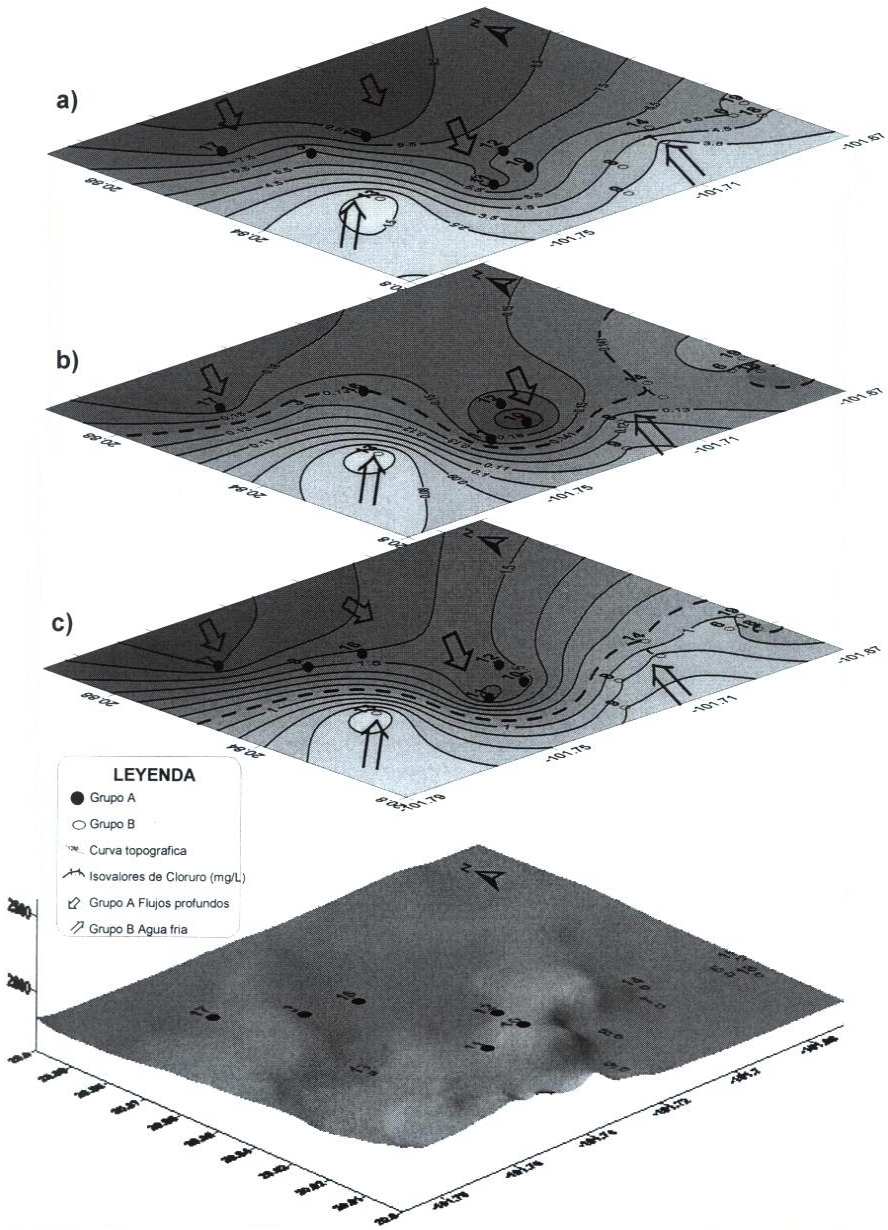


Figura 5. Distribución espacial de Cloruros, Litio y Fluor en los Grupos A y B de la zona de La Muralla.

Influencia de las características litológicas de los pozos

Información litológica de las columnas de los pozos ubicados en las zonas topográficamente altas, muestran la presencia, en la parte superficial, de material sedimentario granular y basaltos. Estas unidades superficiales juegan un papel primordial como zona de captación. Funcionan como transmisores de la recarga local. Bajo estos materiales se encuentra una delgada capa de materiales granulares (40 m). Inmediatamente después se encuentra el acuífero, en explotación, constituido por ignimbritas. Este esquema litológico, permite entender el rol que juegan las formaciones geológicas y los aspectos estructurales que proporcionan, al grupo A, una alta sensibilidad a perturbaciones, como la recarga local, efecto debido a la carencia de un grueso paquete sedimentario que minimice estos aportes.

En el caso del grupo B, la sensibilidad de la recarga puede ser menor debido a que el paquete granular tiene un mayor espesor; sin embargo, los flujos laterales tienen una mayor importancia.

Distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos y su correlación con aportes profundos o locales

A continuación se presentan configuraciones para diferentes parámetros fisicoquímicos, realizadas para la zona de estudio. Una vez establecidos, los dos clasificaciones, utilizando los diagramas de dispersión para F/Li, F/Cl, F/SO₄, Li/Cl, Na/Cl y SO₄/Cl, del muestreo realizado en 1999, durante la época de lluvia (CEASG, 1999). Su análisis permite establecer las cotas de separación de cada uno de los parámetros y correlacionar la influencia de flujos profundos o aportes de tipo local.

Distribución del ion cloruro. La figura 5a muestra, la distribución de concentración de cloruros en el campo de pozos. Como se observa el grupo A tiene concentraciones de cloruros por encima de los 6 mg/L, en tanto que el B tiene concentraciones menores a este valor. La zonificación con valores bajos de cloruros representa entradas de recarga local, baja en cloruros, en la zona sur. Los valores mas altos de cloruros se registran en el pozo 4 y 16, el valor mínimo se registra en el pozo 13.

Distribución de Litio. En la Figura 5b, de distribución del litio, el Grupo A, puede asociarse con flujos profundos y concentraciones por encima de 0.14 mg/L. Para el Grupo B, asociado a la recarga local en la zona sur, presenta niveles por debajo de este valor. El valor más alto se registra en el pozo 10 y el mínimo en el pozo 13.

Distribución de Fluor. Como se observa en las Figura 5c, se presentan flujos de recarga local provenientes del sur del área de estudio. Este flujo tiene como características una baja concentración de F. El valor más alto se registra en el pozo 7 y el mínimo en el pozo 13. La isolínea de 1.3 separa a ambos grupos.

Comportamiento Temporal; influencia estacional

El análisis de información fisicoquímica (SAPAL, 2001) ha permitido estudiar la evolución de diferentes parámetros hidrogeoquímicos, en ambos grupos de la batería de La Muralla. Los resultados indican variaciones, con una alternancia de incrementos positivos y negativos a lo largo del tiempo. Un símil equivalente de este comportamiento se presenta en pruebas de campo, con bombeo sinodal, en donde se utilizan dos bombas que inyectan y extraen agua de forma alternativa (Rasmussen *et al.*, 2003). Como consecuencia de tales pruebas se obtiene un comportamiento sinodal de las fluctuaciones del nivel del agua en el acuífero.

En la naturaleza se producen estas fluctuaciones periódicas y se relacionan con diferentes fenómenos como: la precipitación, evapotranspiración, presión barométrica y en zonas costeras, debido a las fluctuaciones de la marea.

En nuestro caso de estudio el comportamiento periódico puede ser originado por el aporte de flujos locales de agua baja en cloruros (Grupo B), en época de lluvia que provoca un proceso de mezcla que diluye las concentraciones de cloruros del agua termal, característica del Grupo A.

El proceso de dilución puede continuar poco después de la temporada de lluvias, de tal forma que nuevamente, los flujos profundos empiezan a predominar hasta alcanzar valores similares a los que presentaron en el pasado. De igual forma, los gradientes hidráulicos van variando paulatinamente hasta invertir los flujos y el comportamiento temporal de los diferentes parámetros químicos se vuelve periódico.

La interacción de los flujos fríos, que presentan bajas concentraciones de elementos conservativos, con los flujos profundos con mayor concentración de elementos conservativos, en la zona norte de la batería, se puede asociar con el comportamiento similar al de un pistón. En épocas de lluvia aumenta la recarga, dando origen a importantes flujos laterales en la porción sur que diluyen las concentraciones de elementos conservativos y bajan la temperatura en la zona norte. En pocas de estiaje se elevan la temperatura y las concentraciones de elementos conservativos en la zona norte, ocasionando una anomalía piezométrica que permanece en la zona de la batería hasta el siguiente cambio estacional.

Conclusiones

El análisis de información fisicoquímica y el uso de diagramas de dispersión para varios parámetros (F/Li, F/Cl, F/SO₄, Li/Cl, Na/Cl y SO₄/Cl) permiten establecer la existencia de dos grupos de agua con características bien definidas. Se han clasificado dos grupos de pozos en la batería de La Muralla.

El grupo (A) tiene altas concentraciones de Li, Cl, F y SO₄ y puede ser asociadas al flujo regional profundo alimentado a través de fallas profundas. Se ubica en la zona norte del área.

El otro grupo (B), se caracteriza por bajas concentraciones de Li, Cl, F y SO₄ y con mayor influencia de recarga local, generada en la parte sur del área.

El efecto piezométrico muestra una dinámica muy activa en la zona. En época de lluvias, la recarga local genera una mayor carga hidráulica, en la parte sur del área; sin embargo, en época de estiaje, el gradiente hidráulico se invierte presentando mayor carga hidráulica, en la zona norte de la batería. Esta interacción de flujos de flujos locales y regionales, juega un rol importante en la hidrogeoquímica de los pozos. De manera, que cuando tenga mayor influencia de recarga predominara el proceso de dilución, ocasionando una disminución en los valores de los parámetros hidrogeoquímicos y en época de estiaje prevalecerá la influencia de flujos profundos, incrementando el contenido de estos parámetros hidrogeoquímicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG) y del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL) por las facilidades que otorgaron en la información para la elaboración del presente trabajo.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1997. "Estudio Complementario de La Muralla, Guanajuato". Reporte Técnico. Estudio realizado por el Consorcio de Empresas de Ingeniería, S.A. de C.V., 35 pp.
- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Guanajuato (CEASG), 1998. "Estudio hidrogeológico y modelo matemático del Acuífero del Valle de León". Geofísica de Exploraciones, Guysa, S.A de C.V, Reporte Inédito, 66 pp.
- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Guanajuato - Universidad nacional Autónoma de México (CEASG-UNAM), 1999. "Estudio Isotópico para la Caracterización del Agua Subterránea en la Zona de La Muralla, Guanajuato". Reporte Técnico, Instituto de Geofísica - UNAM, 73 pp.
- Durazo, J., A. Cortés, J. A Ramos-Leal, A. Ramírez-Guzman and K. Johannesson. 2000. "Isotopic Identification of Deep Sources in Well-Water". Reporte Interno 2000-8, Instituto de Geofísica, UNAM, 11 pp.
- Quintero-Legorreta, O., 1992. Geología de la región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 10, 6-25.
- Ramos Leal, J. A., J. Durazo, T. González-Morán, A. Ramírez- Guzmán, K. Johannesson, and A. Cortés, 2003. "Producción Insostenible de un campo de pozos

advertida por lo coincidente de la desmineralización y profundización del agua subterránea”. Reporte Interno, Instituto de Geofísica, UNAM. 7 pp.

Ramos Leal, J., A., Ramírez-Guzmán, J. Durazo, A. Cortés, A., Perry, and K. Johannesson,. 2003. “A New Method to Determine the Useful Live of the Well-field of Muralla”, Guanajuato, Mexico. Reporte interno, Instituto de Geofísica, 27 pp.

Rasmussen, T. C., K.G Haborak,. and M.H Young, 2003. “Estimating aquifer hydraulic properties using sinusoidal pumping at the Savannah River site, South Carolina, USA”. *Hydrogeology Journal*,11, 4, 466-482.

Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León- Universidad Nacional Autónoma de México (SAPAL- UNAM), 2001. “Estudio Isotópico e Hidrogeoquímico de La Zona León- Río Turbio, Guanajuato”. Reporte Técnico. Instituto de Geofísica, 78 pp.