



# El sistema hidrológico Esperanza-Oriental y su impacto sobre el acuífero de Tecamachalco, Puebla, *México*

*The Esperanza-Oriental Hydrological System and its Impact  
on Tecamachalco's Aquifer in Puebla State, Mexico*

Ismael del Carmen Sandoval-Montes, José Alfredo Ramos Leal y Janete Morán Ramírez

El sistema hidrológico Esperanza-Oriental se alimenta principalmente de los deshielos de los volcanes Pico de Orizaba y La Malinche, que se traducen en la disponibilidad de agua subterránea para el valle de Esperanza, con su consecuente aporte al valle de Tehuacán y la formación de cuerpos de agua superficiales en el valle Del Oriental (lagos de Totolcingo y Tepeyahualco). Estos valles han reducido sus áreas de captación y disponibilidad, así como la presencia de un gran número de lagos-cráter (axalapazcos), donde se observan los niveles estáticos del agua subterránea en la zona (algunos de ellos presentan descensos importantes); ambos sistemas alimentan al acuífero de Tecamachalco, que ha disminuido su disponibilidad de agua subterránea. Con base en un sistema de información geográfica, levantado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, se identificaron las cargas hidráulicas que dan origen a los flujos subterráneos que alimentan el acuífero de Tecamachalco, así como la evolución fisicoquímica que presenta el agua subterránea, identificada mediante diagramas de Mifflin (1988), Gibbs (1970), Piper (1953), Durov (1948) y relaciones iónicas, lo que ayudó a delinear los patrones de flujos para conocer la dependencia de este acuífero con el sistema Esperanza-Oriental.

**Palabras clave:** acuífero; axalapazcos; hidrogeoquímica; diagrama.

## Introducción

La zona de Tecamachalco se ubica al oriente del estado de Puebla, en la parte central de la República Mexicana (ver mapa 1), donde la actividad principal de sus habitantes es la agricultura, que se sustenta debido al agua que llega de la presa Manuel Ávila Camacho, conocida también como Valsequillo (207 Mm<sup>3</sup>/año, SEMARNAT, 2009) y la que se extrae del subsuelo por medio de pozos profundos (343 Mm<sup>3</sup>/año, SEMARNAT, 2009), los cuales han visto reducido de manera considerable sus gastos de extracción, lo que ha obligado a su restitución y, por consiguiente, llevados a mayor profundidad; sin embargo, el impacto que se le ha propiciado al

The *Esperanza-Oriental* hydrological system is fed mainly by the meltings that take place in *Orizaba* and *La Malinche* volcanoes, which mean availability of groundwater for *Esperanza* valley, with its consequent contribution to *Tehuacan* valley and the formation of surface water-bodies in the *Del Oriental* valley (*Totolcingo* and *Tepeyahualco* lakes), which have reduced their water collecting areas and availability, as well as the presence of a large number of crater-lakes (*axalapazcos*), since static groundwater levels are observed in the area (some of them have significant decreases). Both systems feed *Tecamachalco* aquifer, which has reduced its groundwater availability. Based on a Geographic Information System created by the National Institute of Statistics and Geography, the hydraulic loads that give rise to those underground streams that feed the aquifer *Tecamachalco* were identified as well as the physicochemical evolution present in groundwater. This was identified by Mifflin (1988), Gibbs (1970), Piper (1953), and Durov diagrams (1948), together with ionic relations, which helped to delineate those flow patterns that determine to what extent this aquifer is dependent on *Esperanza-Oriental* hydrological system.

**Key words:** aquifer; *axalapazcos*; hydrochemical; diagram.

Recibido: 29 de mayo de 2015

Aceptado: 30 de marzo de 2016

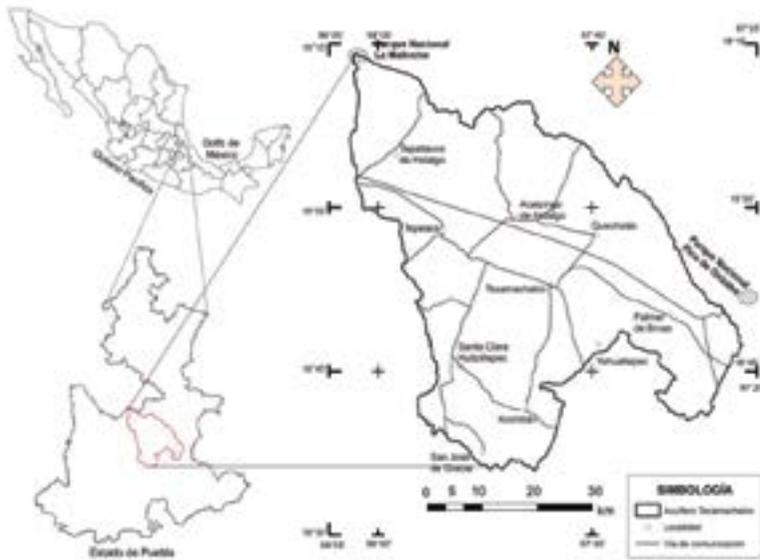
acuífero granular no se ha podido detener, por el contrario, este problema se ha agudizado en los últimos años, no sólo por los gastos de extracción, sino que su calidad se ha visto alterada debido a la infiltración de aguas superficiales con menor calidad fisicoquímica (Domínguez, 2005).

Mediante un sistema de información geográfica (SIG), levantado en el 2011 y publicado en el 2012 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se identificó la probable interrelación que existe entre el acuífero de Tecamachalco y el sistema hidrológico Esperanza-Oriental, que son alimentados por el deshielo de los volcanes Pico de Orizaba (ubicado al oriente) y La Malinche (al po-

**Nota:** se agradece a los árbitros anónimos quienes, con sus comentarios, ayudaron de manera sustancial a la elaboración del presente trabajo.

Mapa 1

### Localización del acuífero de Tecamachalco, Puebla, México



Fuente: INEGI, 2012.

niente), así como los posibles efectos que se le están ocasionando al acuífero debido a la infiltración de aguas residuales de menor calidad fisicoquímica, lo cual fue identificado mediante el uso de métodos geoestadísticos, que permiten identificar (con técnicas predictivas) el comportamiento de las variables en el espacio y que se confirmó con

el cálculo e interpretación de algunas relaciones iónicas y diagramas.

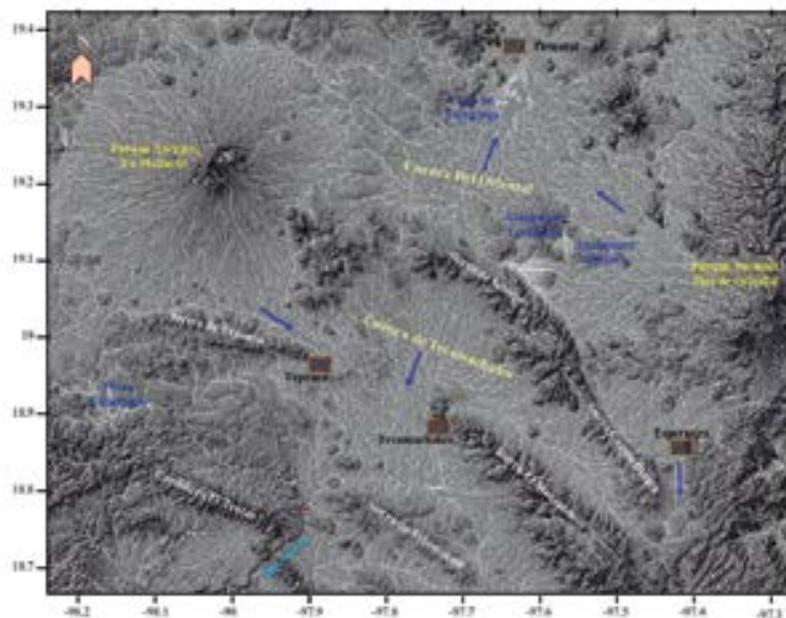
### Geología del área

La zona de estudio se encuentra inmersa en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, caracterizada por una serie de sierras, lomeríos y cuencas formadas por la presencia de lava, brechas y ceniza volcánicas; el sistema de topofomas lo constituyen llanuras aluviales con lomeríos, estrato-volcanes y mesetas volcánicas escalonadas; morfológicamente, el valle de Esperanza es una cuenca exorreica con salida hacia el Sur (valle de Tehuacán); la cuenca

Del Oriental es de tipo endorreica, que da origen a una serie de cuerpos de agua superficiales, como los lagos de Totolcingo y Tepeyahualco, con pendiente descendente hacia el Norte; la zona de Tecamachalco es una meseta escalonada debido a la diferencia de elevaciones con los dos valles, la cuenca que se forma es de tipo exorreica, con sali-

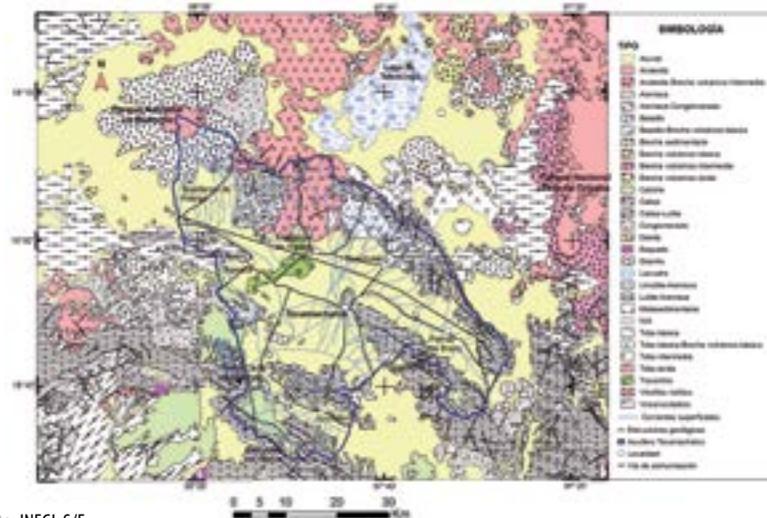
Imagen 1

### Principales rasgos geomorfológicos presentes en las cuencas Del Oriental, Esperanza y Tecamachalco, en Puebla, México



Fuente: INEGI, 2016.

## Geología y red hidrográfica en el acuífero de Tecamachalco, Puebla, México



Fuente: INEGI, S/F.

da natural hacia el Sur, al río Atoyac (ver imagen 1), donde descarga también el sistema subterráneo a través de algunos manantiales (Domínguez, 2005).

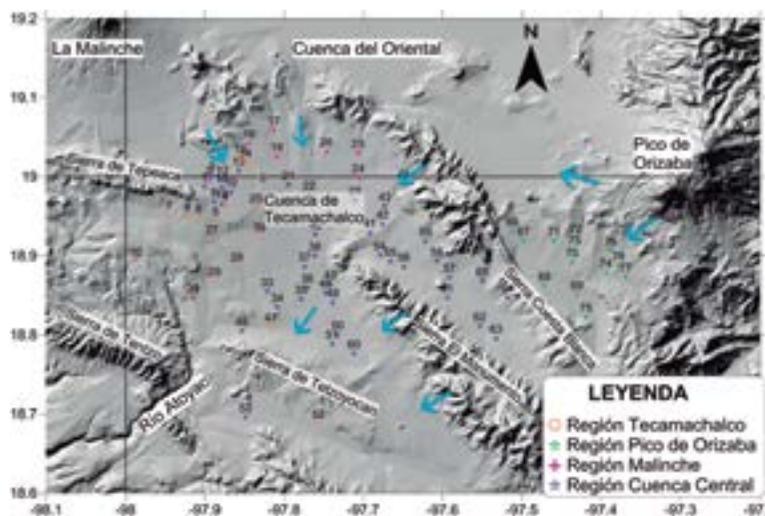
Las rocas que forman la columna estratigráfica del área de estudio (ver mapa 2) son sedimentarias del Cretácico Inferior de la Formación Orizaba, constituidas por calizas arrecifales con espesores de mil y hasta probablemente 3 mil m, que pudieran formar parte del acuífero inferior; del Cretácico

Superior han sido catalogadas algunas calizas prearrecifales y calizas-lutitas; rocas del Terciario Inferior están representadas por areniscas, conglomerados, andesitas, basaltos, brechas volcánicas y sedimentos volcanoclásticos; del Cuaternario se presenta una gran variedad de rocas asociadas a la formación del Eje Neovolcánico, como: basaltos, brechas volcánicas, tobas, conglomerados, caliche y travertinos, aunque el de mayor importancia por formar el acuífero más superficial es el aluvial,

donde se encuentran alojados la mayor cantidad de pozos que extraen el agua del subsuelo, que se asume como un medio de triple porosidad debido al grado de consolidación, la disolución de la matriz calcárea y de las discontinuidades presentes (Domínguez, 2005); infrayace a este material un acuitardo de espesor variable, que es la base del acuífero aluvial y la frontera con el calcáreo profundo.

Imagen 2

## Ubicación de muestras en el acuífero de Tecamachalco, Puebla



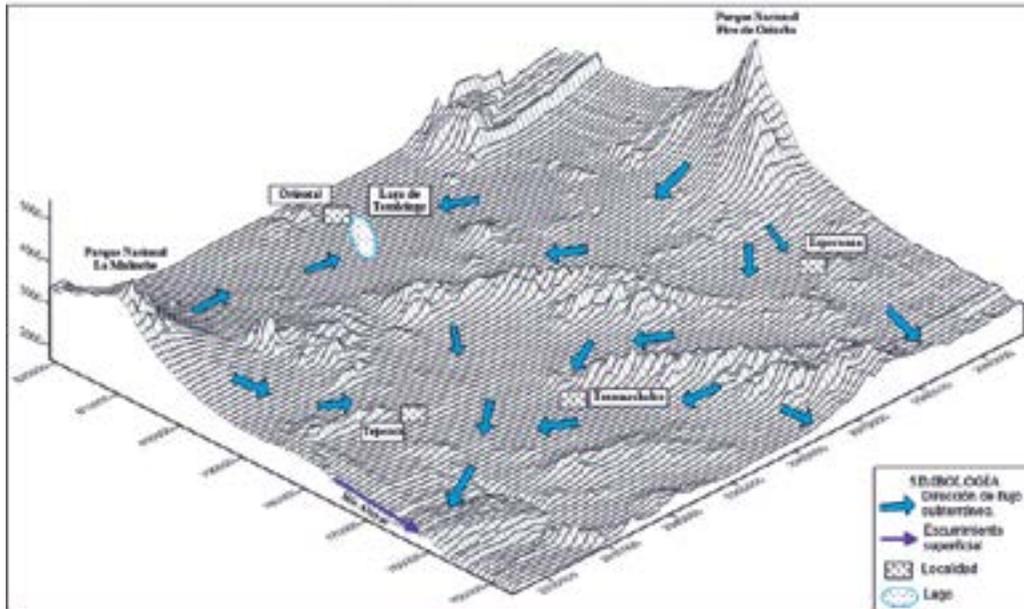
Nota: las líneas azules indican las direcciones de los flujos superficiales.

Fuente: INEGI, 2016.

## Metodología y desarrollo del trabajo

Para la realización de esta investigación se llevó a cabo un recorrido por la zona que comprende el acuífero de Tecamachalco (ver imagen 2), en la que

### Identificación de las direcciones de los flujos subterráneos en el sistema hidrológico Esperanza-Oriental-Tecamachalco, Puebla, México



Fuente: INEGI, 2012.

se identificaron y geoposicionaron 67 pozos, de un total de 937 reportados en la zona (SEMARNAT, 2009), a los que se les tomó una muestra de agua directamente de las descargas, preparadas y almacenadas con base en el protocolo de muestreo implementado por el Laboratorio de Análisis de Materiales del INEGI (2010); en campo, a las muestras de agua se les identificó el pH, temperatura y la conductividad eléctrica (CE); en los pozos que no se encontraban trabajando se les midió la profundidad del nivel estático con el fin de poder identificar las direcciones de los flujos subterráneos.

Con base en los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua subterránea colectadas en campo, donde se les identificó el contenido de aniones y cationes principales, así como la electroneutralidad de los resultados —y que resultó inferior a 6%, por lo que fueron considerados como aceptables (Hem, 1985)—, se procedió al análisis de la información mediante un manejador de SIG, con el que se configuraron diferentes parámetros fisicoquímicos para identificar e interpretar el comportamiento de las variables en el espacio mediante geoestadística; el método utilizado fue el Kriging (Díaz, 2002).

### Resultados y discusión

De acuerdo con las mediciones de los niveles estáticos y la determinación de las elevaciones de los brocales de los pozos, se configuraron las curvas de igual elevación del nivel estático referidas al nivel medio del mar, mediante las cuales se identificaron las zonas con mayor carga hidráulica y, por consiguiente, las direcciones de los flujos subterráneos que se presentan en el sistema (ver imagen 3), en el que se aprecian los aportes que hace el valle de Esperanza hacia la zona de Palmar de Bravo, donde parte de ella se fuga hacia la sierra El Monumento a través de estructuras geológicas o canales de disolución (reflejado en manantiales hasta hace algunos años), a donde llegan como aguas ligeramente frías debido a la velocidad con que éstas se desplazan hacia la zona (Sandoval-Montes, 2011) y alimentan a la parte sur-sureste del valle de Tecamachalco.

Muy importantes resultan los flujos provenientes de la parte norte (valle Del Oriental), por donde probablemente llegaba la mayor carga hidráulica que alimentaba al acuífero de Tecamachalco, en especial antes de los ritmos de explotación subte-

rránea del acuífero Del Oriental y que han ocasionado el descenso en los niveles de los axialapazcos, sobre todo los más cercanos al valle de Tecamachalco, como el de San Miguel Tecuitlapa y Aljojuca en el estado de Puebla.

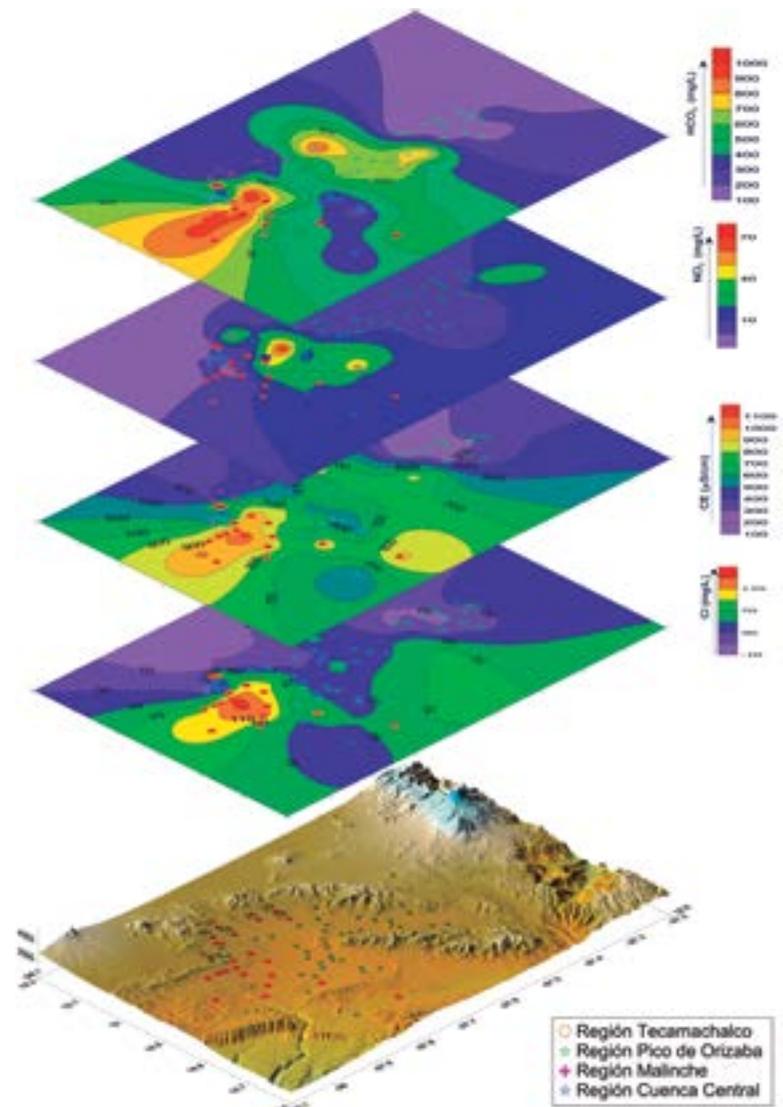
Cabe mencionar que el cuerpo de agua superficial que se forma por el deshielo del volcán La Malinche (lago de Totolcingo) ha disminuido de manera considerable su área de captación debido a los desvíos en los escurrimientos que descienden del volcán y que impiden su llegada al lago, el cual se ha reducido hacia el norte, por lo que, si originalmente contribuía con parte del gasto que se infiltraba hacia el subsuelo, éste se ha visto mermado, pero al parecer continúa contribuyendo con carga hidráulica, como se aprecia en los gráficos de calidad química del agua (ver imagen 4).

Por el lado noroeste, la zona de Tepeaca es alimentada por flujos subterráneos de los deshielos de La Malinche, que son encauzados por la Sierra de Tepeaca hacia el oriente, hasta prácticamente llegar al centro-sur del acuífero de Tecamachalco e incorporarse a los flujos provenientes del norte y descargar el sistema completo hacia el río Atoyac a través de algunos manantiales (ver imagen 4).

La configuración e interpretación de algunos de los parámetros fisicoquímicos —como:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , CE y  $\text{Cl}^-$ — (ver imagen 4), muestran que en el valle de Palmar de Bravo se extrae agua con mayor evolución fisicoquímica, indicando que los aportes llegan del Pico de Orizaba. Por el área de Quecholác, al norte-noreste, se identifica una anomalía hidrogeoquímica con una posible conexión con los axialapazcos de Aljojuca y Tecuitlapa, donde la disponibilidad de agua subterránea es buena y la evolución química que presenta la

Imagen 4

### Distribución espacial de parámetros fisicoquímicos con base en 67 muestras de agua colectadas en la zona de estudio



**Nota:** los valores se reportan en mg/l.  
**Fuente:** INEGI, 2012.

zona pudiera ser de origen geogénico, debido a la presencia de rocas sedimentarias de origen calcáreo en contacto con basaltos, por donde se pudiera alimentar el acuífero de la zona a través de algunas estructuras geológicas, sin descartar la posible infiltración de aguas evaporadas de los axialapazcos.

En las zonas de recarga, el contenido de iones en el agua subterránea es baja y, en la medida que ésta circula hacia la zona de descarga, el agua pue-

de disolver más minerales que le aportan iones (interacción agua-roca). El contenido iónico en el agua subterránea afecta de manera directa a la CE, que es la capacidad que tiene el agua de conducir la corriente eléctrica, de tal manera que ésta aumenta de la zona de recarga a la de descarga.

En la zona centro-norte del acuífero de Tecamachalco se definen entradas de flujos de agua subterránea norte-sur, donde las configuraciones de  $\text{HCO}_3^-$ , CE y el ion  $\text{Cl}^-$  apoyan en la identificación de las entradas de éstos, lo que pudiera estar relacionado con la infiltración de aguas con presencia de agroquímicos y un enriquecimiento en sodio, aunque las concentraciones del ion  $\text{Cl}^-$  son bajas y pudiera indicar la infiltración de aguas de reciente precipitación.

Al noreste del área se ubican algunas anomalías hidrogeoquímicas asociadas a rocas de origen sedimentario con presencia de yesos (evaporitas), lo cual las enriquece en sulfatos y carbonatos, sin descartar la influencia que tiene la infiltración de aguas evaporadas de la presa Valsequillo con las que se

riega buena parte de esta zona (Domínguez, 2005), así como la infiltración de aguas residuales que son desalojadas de las plantas de tratamiento<sup>1</sup> a los canales de riego, que son utilizadas aguas abajo para el riego de algunos cultivos.

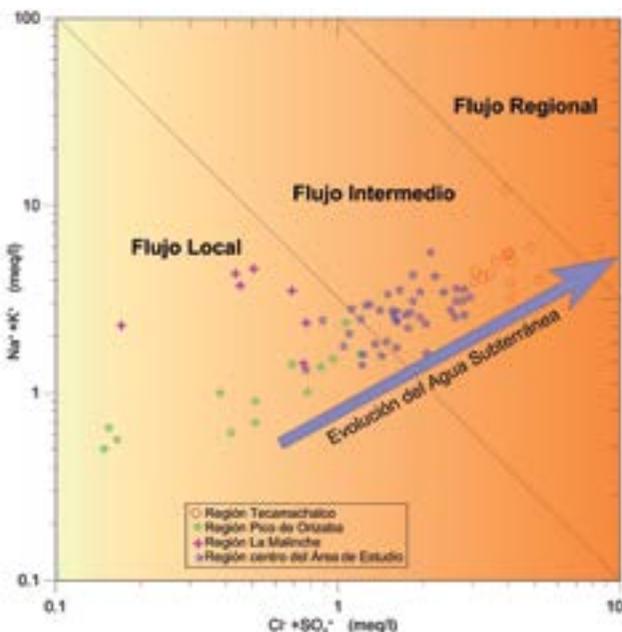
La representación gráfica de la evolución química del agua subterránea con base en diagramas permite identificar su tendencia hacia los miembros extremos, patrones de tendencia o puntos que se aíslan por completo debido a su composición y que son indicativos de algún tipo de anomalía; para su graficado, se utilizaron diagramas de Mifflin, Durov, Piper y Gibbs, en los que se aprecia la evolución del agua subterránea, con algunos puntos que se asocian a fuentes potenciales de contaminación debido a descargas de aguas residuales, como se puede apreciar en la distribución del ion  $\text{NO}_3^-$  (ver imagen 4).

Las relaciones iónicas son empleadas como apoyo en la identificación de los posibles orígenes de las aguas subterráneas o procesos de mezclas que se presentan en el subsuelo; la relación  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ \text{ vs. } \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  es propuesta por Mifflin (1988) para identificar la presencia de flujos regionales, así como en la caracterización de algunos procesos evolutivos de origen geogénico o antropogénico, por lo que se empleó en la identificación de éstos para la zona de estudio (ver gráfica 1).

Con base en los resultados de la hidroquímica se identificaron tres tipos de flujos: local, intermedio y regional (ver gráfica 1); como se puede observar, las muestras pertenecientes a los locales se ubican cerca de las zonas de los parques nacionales de La Malinche y el Pico de Orizaba; los intermedios, en la parte interna de la cuenca de Tecamachalco; y las aguas más evolucionadas químicamente o de flujos regionales se ubican al suroeste del área de estudio (ver imagen 4).

En el diagrama de Durov expandido se observan aguas de tipo cálcico-bicarbonatadas, un grupo cálcico-sódico-bicarbonatada, un grupo menor só-

**Gráfica 1**  
**Relaciones iónicas  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ \text{ vs. } \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  utilizadas en la identificación de flujos locales, intermedios y regionales**

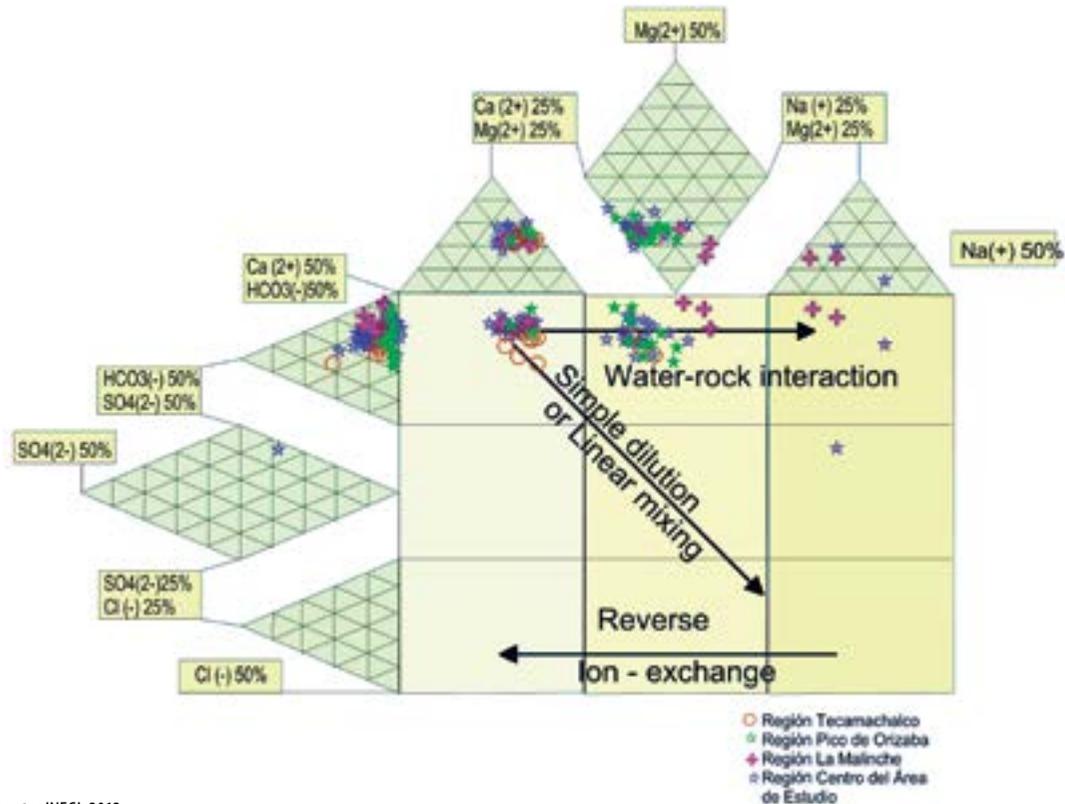


Fuente: Mifflin, 1988, con datos del INEGI, 2012.

<sup>1</sup> Cabe mencionar que durante el recorrido de campo se encontraban fuera de servicio las plantas de tratamiento de aguas residuales de Tepeaca y Tecamachalco.

Figura 1

**Diagrama de Durov donde se indican algunos procesos hidrogeoquímicos que presentan las muestras de agua subterránea del acuífero de Tecamachalco, Puebla**



Fuente: INEGI, 2012.

dica-bicarbonatada y sólo una muestra se clasificó como sódica-sulfatada, que se define como el agua más evolucionada del sistema (ver figura 1). En este diagrama también es posible reconocer procesos de interacción agua-roca y, en algunos casos, intercambio iónico, sobre todo en las muestras procedentes de las regiones de La Malinche y el Pico de Orizaba. El grupo cálcico-bicarbonatado, ubicado en la zona de Tecamachalco, muestra procesos de mezclas de aguas, identificada mediante la evolución química que presentan.

En el diagrama de Piper se identifican las familias que predominan, como la cálcica-bicarbonatada y las mixtas; también se observan la sódica-bicarbonatada (ver figura 2); al igual que en el diagrama de Durov, se aprecia la interacción agua-roca y procesos de mezclas.

El agua superficial y, en algunos casos, la subterránea pueden ser analizadas con los diagramas

de Gibbs para identificar procesos ambientales, como la evaporación, precipitación e interacción agua-roca (ver gráfica 2).

En general, la ubicación de las muestras denotan influencia de la precipitación meteórica; en el caso de la relación iónica  $Cl/(Cl+HCO_3^-)$ , las muestras de las zonas de La Malinche y el Pico de Orizaba presentan valores bajos de sólidos totales disueltos (STD) (menor contenido iónico), en tanto que las de la región de Tecamachalco exhiben mayores concentraciones de STD y, por consiguiente, mayor evolución química, como se observa en la gráfica 2, en la cual se ve un comportamiento similar, sin embargo, las muestras más evolucionadas presentan una relación menor.

La gráfica 3a exhibe dos elementos conservativos (boro)  $B^{3+}$  vs.  $Cl^-$  que no interaccionan con el medio y ayudan a definir la evolución del agua subterránea en la región. Las zonas de recarga (Pico de

Orizaba y La Malinche) se identifican como aquéllas con menor contenido de  $B^{3+}$  y  $Cl^-$ ; a medida que éstas evolucionan químicamente, el incremento es proporcional, de tal manera que las aguas más evolucionadas de la zona se ubican en la región de Tecamachalco y confirman lo descrito con los diagramas de Mifflyn y Gibbs.

La disolución de minerales (interacción agua-roca) que forman los diferentes tipos de rocas en la región es confirmada con los gráficos de dispersión (ver gráficas 3b, c y d), en los que, a medida que el agua transita por el subsuelo, incorpora componentes químicos, definiendo la evolución del agua subterránea. La gráfica 3b, de CE vs.  $Cl^-$  muestra que los valores más

Gráfica 2

**Diagramas de Gibbs donde se identifican procesos hidrogeoquímicos como interacción agua-roca, posibles efectos de evaporación y la influencia de la precipitación meteórica o deshielos de los parques nacionales La Malinche y Pico de Orizaba**

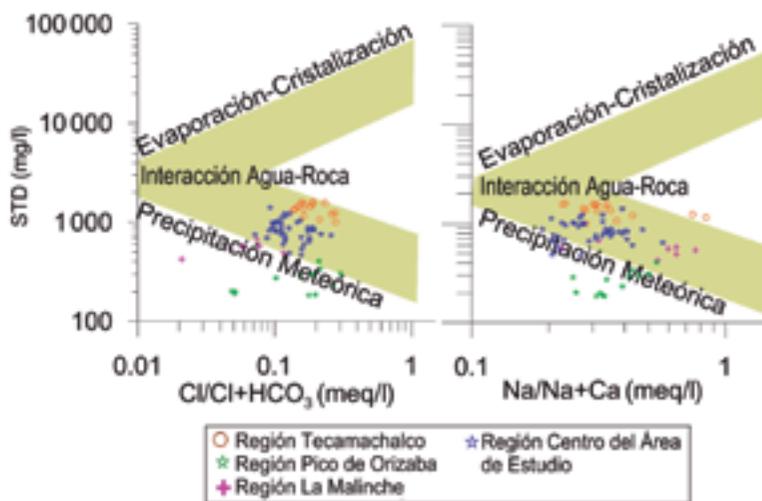
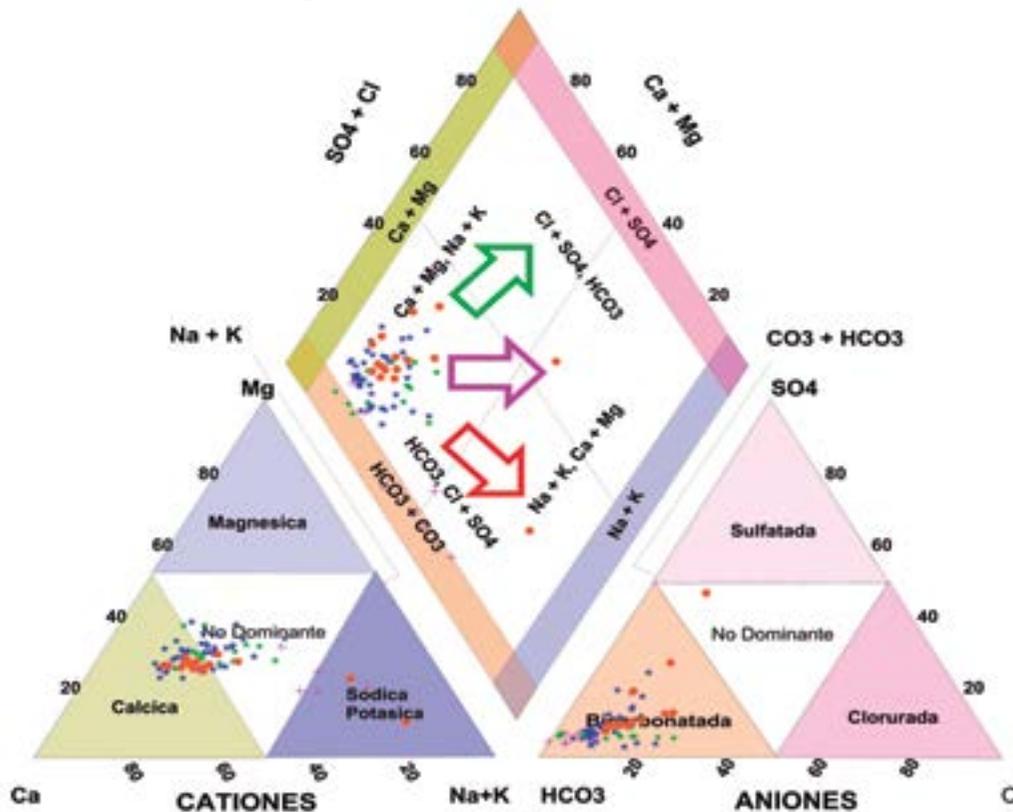


Figura 2

**Diagrama de Piper en el que se presentan algunos procesos hidrogeoquímicos presentes en las muestras de agua subterránea del acuífero de Tecamachalco, Puebla**



Nota: las líneas roja y verde indican procesos de interacción agua-roca y la flecha morada indica procesos de mezcla.

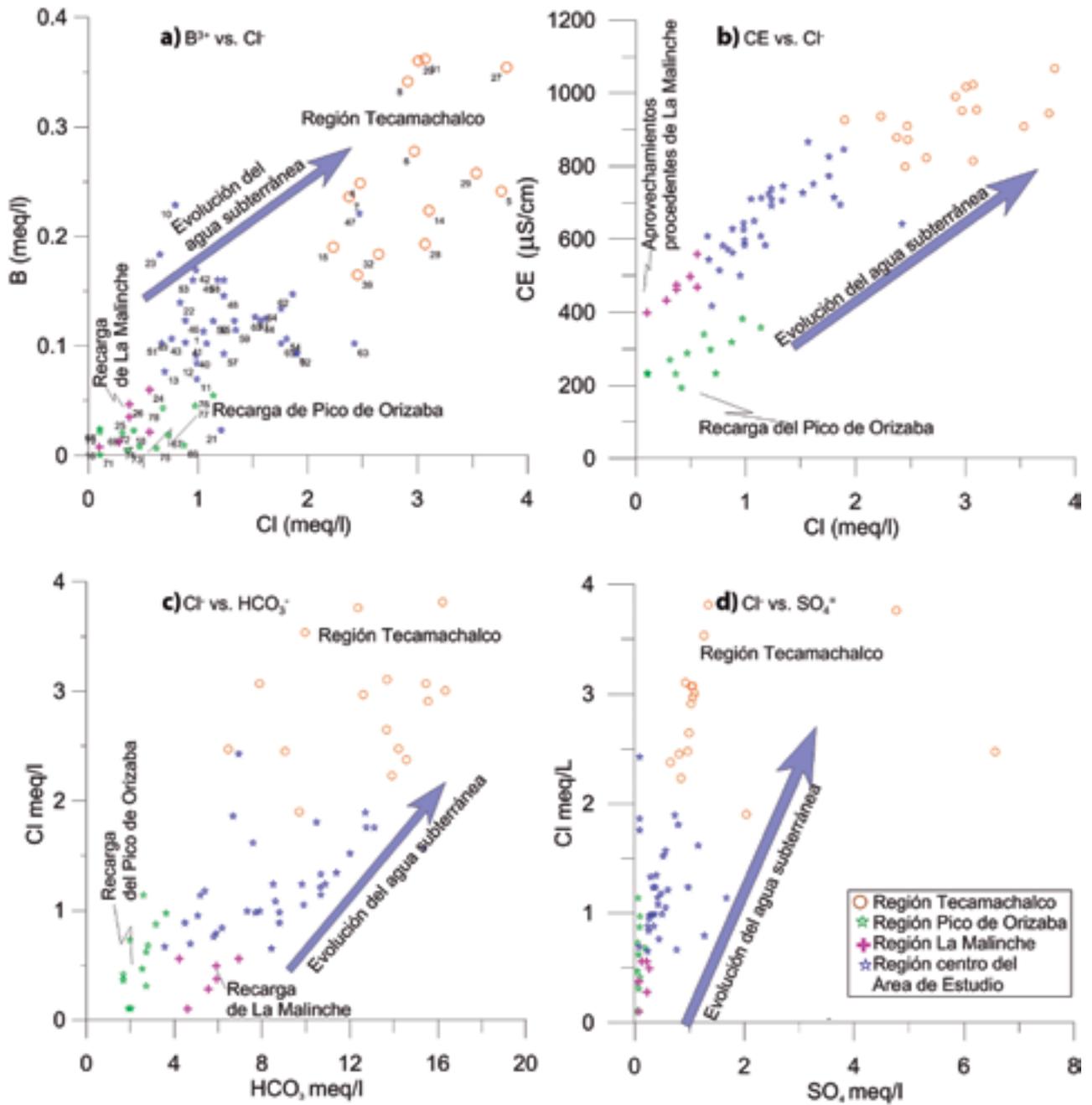
bajos corresponden a la recarga local que se produce en La Malinche y el Pico de Orizaba; el aumento de la CE es directamente proporcional al del Cl<sup>-</sup>, de tal manera que las muestras más evolucionadas corresponden a la región de Tecamachalco. Este mismo comportamiento se observa en los gráficos de Cl<sup>-</sup> vs. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, donde la recarga local tiene

valores bajos de estos iones y se incrementan conforme evoluciona el agua subterránea (ver gráficas 3b, c y d).

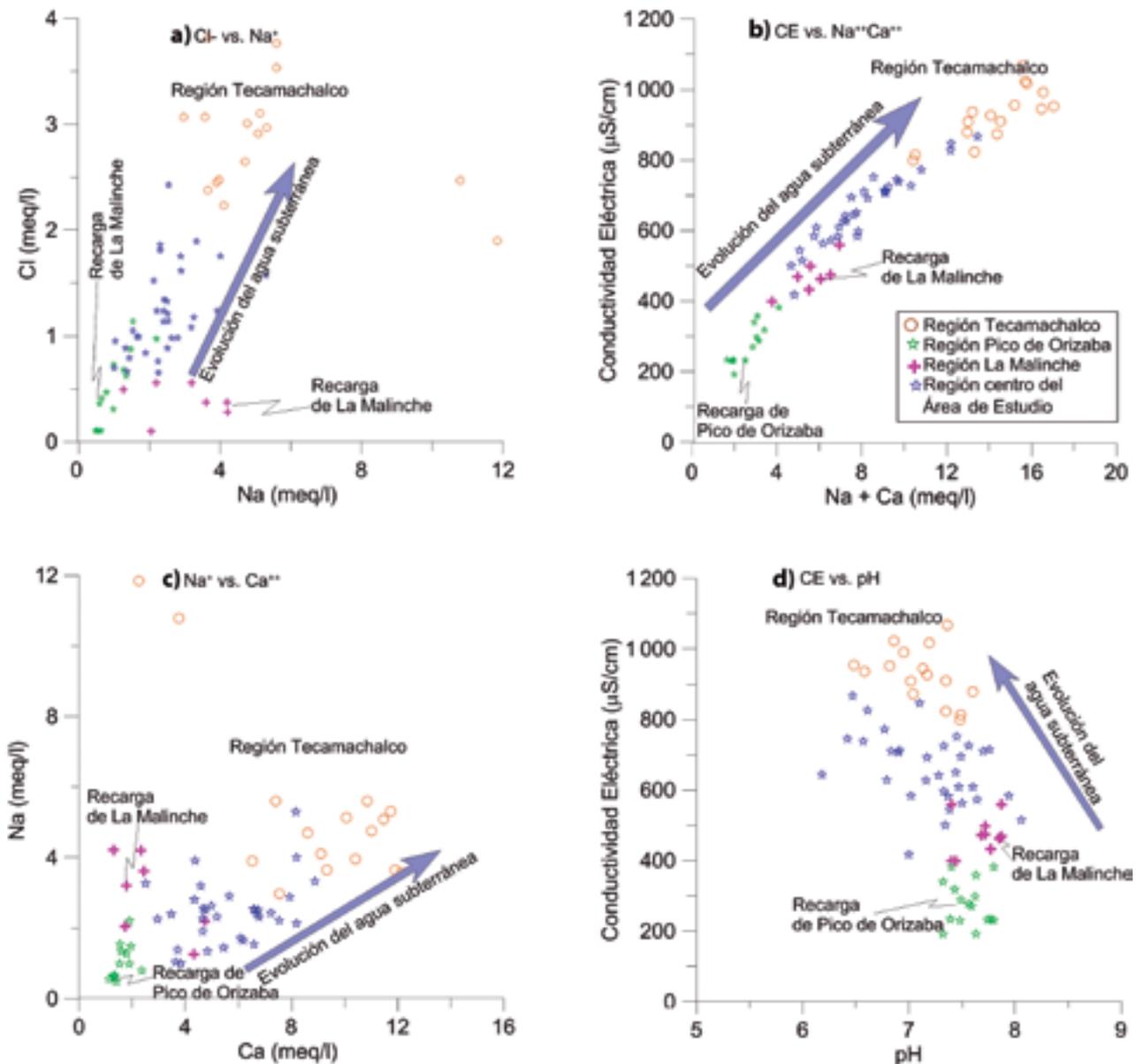
Las gráficas 4a, b y c de Cl<sup>-</sup> vs. Na<sup>+</sup>, CE vs. Na<sup>+</sup>+Ca<sup>++</sup> y Na<sup>+</sup> vs. Ca<sup>++</sup> confirman la evolución del agua subterránea debido al incremento proporcional de

Gráficas 3

**Diagramas de dispersión en los que se presenta la evolución hidrogeoquímica de las muestras de agua subterránea del acuífero de Tecamachalco, Puebla**



## Diagramas de dispersión donde se representa la evolución hidrogeoquímica de las muestras de agua subterránea del acuífero de Tecamachalco, Puebla



estos componentes. En el caso de la gráfica 4d (CE vs. pH), el cambio es inversamente proporcional, dado que a menor CE mayor pH y, a medida que la CE aumenta, el pH disminuye.

En todos los casos es evidente que el agua menos evolucionada es la procedente del Pico de Orizaba y La Malinche, en tanto que las que tienen mayor evolución se presentan en la región de Tecamachalco.

## Conclusiones

- Las principales zonas de recarga se ubican en la región de La Malinche y el Pico de Orizaba, lo que obliga a un mayor cuidado y preservación de las zonas.
- El régimen de extracción del agua subterránea ha alterado sus niveles en la zona, aunado a la desecación del lago de Totolcingo debido a la desviación de los cauces naturales de

los deshielos de los volcanes, lo que ha repercutido en la profundización de los niveles de agua subterránea en el valle de Tecamachalco, en Puebla.

- La profundización de los niveles de agua en el acuífero ha ocasionado la extracción de agua subterránea con mayor evolución fisicoquímica, lo que obliga a su vigilancia continua, con el fin de evitar la salinización de los suelos por el riego de las parcelas.
- Se identificaron flujos locales (La Malinche y Pico de Orizaba), intermedios (acuífero de Tecamachalco) y algunos regionales localizados al sur de Tecamachalco.
- Los diagramas de Durov expandido, Piper y Gibbs muestran proceso de interacción agua-roca y procesos de mezclas, así como la influencia que presenta la precipitación meteorológica en la recarga de los sistemas acuíferos.
- Durante la etapa del recorrido de campo, las plantas de tratamiento de aguas residuales de Tepeaca y Tecamachalco se encontraban fuera de servicio, lo que obliga a tener un mayor cuidado y evitar las descargas directas a los canales de riego.
- La nueva cartografía de hidrología subterránea que edita el INEGI (zonas hidrogeológicas de México) permite realizar este tipo de investigaciones, que pudieran ser de utilidad a las autoridades de los diferentes ámbitos de gobierno y de los usuarios sin mucho conocimiento en el tema e interesados en los problemas ambientales y de sus comunidades.

## Fuentes

Díaz Viera, M. A. *Geoestadística aplicada*. Cuba, Instituto de Geofísica (UNAM)-Instituto de Geofísica y Astronomía (CITMA), 2002, p. 122.

Domínguez, M. E. *Geoquímica del acuífero de Tecamachalco, Puebla*. Tesis de Doctorado. UNAM, 2005.

Durov, S. A. *Natural waters and graphic representation of their compositions*. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1948, 59:87-90.

Gibbs, R. J. *Mechanisms Controlling World Water Chemistry*. Science, New Series, Vol. 170, No. 3962, American Association for the Advancement of Science, 1970, p. 1088-1090.

Hem, J. D. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters*. 3<sup>rd</sup> ed. U.S. Geological Survey, 1985, p. 264.

INEGI. *Conjunto de datos vectoriales geológicos. Continuo nacional, escala 1:250 000, serie I*. Aguascalientes, Ags., México, S/F.

\_\_\_\_\_. *Metodología información serie III, aguas subterráneas*. México, 2010, p. 72.

\_\_\_\_\_. *Zona hidrogeológica valle de Tecamachalco*. Consultado en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825004027> el 15 de diciembre de 2014.

\_\_\_\_\_. *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM3.0)*. Consultado en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx> el 16 de marzo de 2016.

Mifflin, M. D. "Region 5, Great Basin", en: Back, W., J. S. Rosenhein and P. R. Seaber (eds.). *The Geology of North America, v. 0-2. Hydrogeology*. Boulder, Colorado; Geological Society of America; 1988.

Piper, A.M. *A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. Groundwater Note 12, U. S. Geological Survey, Washington, DC, 1953.

Sandoval-Montes, Ismael del Carmen. "Identificación de los flujos subterráneos que alimentan al acuífero de Tehuacán en el estado de Puebla, México, con base en indicadores hidrogeoquímicos y la temperatura del agua subterránea", en: *Revista Geográfica*. Número 149. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, enero-junio de 2011.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos del acuífero 2101 Valle de Tecamachalco y se modifican los límites y planos de localización que respecto del mismo se dieron a conocer en el acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual y sus planos de localización*. 2009, p. 1-20.