

## **RN\_67 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS MANANTIALES DEL ÁREA GEOTERMAL DE IXTAPAN DE LA SAL-TONATICO (MÉXICO)**

**Martínez F, T. A. K. Esteller A, M. V.; Morales R, G.P.; Expósito C, J. L.; Mastachi L, C.R.**  
CIRA, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro Coatepec  
S/N C.U. 50130 Toluca, México. Tel. (722) 2965550 Fax (722) 2965551. Correo electrónico:  
mvestellera@uaemex.mx

### **Introducción**

La composición química del agua subterránea es el resultado de continuos procesos de interacción entre el agua de precipitación, que se infiltra en el terreno, y los minerales presentes en las rocas por donde circula. Parte de las características químicas del agua son adquiridas en la zona no saturada y otras más a lo largo de su recorrido dentro de la zona saturada, hasta donde pueden ser captadas o bien emerger como agua de manantial. Estos últimos según sus características, puede ser empleados para consumo humano, como generadores de energía o bien para fines recreativos, como es el caso de los manantiales termales de Ixtapan de la Sal y Tonicato.

Los estudios hidrogeoquímicos de manantiales termales han permitido ampliar el conocimiento del origen, edad, composición físico-química de las aguas, de las condiciones de recarga y posibles mezclas de agua, así como identificar los procesos que tienen lugar en el acuífero y que permiten obtener una visión más completa del comportamiento del acuífero. También permiten deducir las características de la roca, composición mineralógica, textura, porosidad, grado de alteración, fracturación y compactación, tiempo de residencia o de contacto, temperatura y presión.

La hidrogeoquímica de un agua termal se puede utilizar para estudiar el origen de la recarga y los procesos de mezcla entre agua de diferente origen (termal y no termal) (Sanliyuksel and Baba, 2011). Este enfoque hidrogeoquímico puede ayudar a caracterizar los procesos de interacción agua-roca, y la evolución geoquímica de las aguas subterráneas bajo diferentes condiciones de flujo (Larsen et al., 2001). El establecimiento de un modelo conceptual hidrogeológico regional puede ayudar aún más para determinar la trayectoria de flujo, incluyendo los procesos de recarga, tránsito y descarga, así como el comportamiento de las mezclas entre aguas de diferente origen (Ahmad et al., 2002).

Los municipios Ixtapan de la Sal y Tonicato, se localizan en la zona sur del Estado de México, en la Región Hidrológica No. 18 Cuenca del Balsas y forman parte del acuífero 1504 "Tenancingo" (CONAGUA, 2011). En la zona predomina un clima cálido, subhúmedo, con humedad moderada, con temperatura media anual entre 18°C y 20 °C. La temporada de estiaje se presenta en los meses de febrero y marzo y la temporada de lluvias es de junio a septiembre.

Los materiales que afloran comprenden desde el Jurásico hasta el Cuaternario, incluyendo rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, destacando los depósitos de travertinos originados por la precipitación de minerales a partir del agua termal.

### **Objetivo**

Realizar un estudio hidrogeológico, con énfasis en la hidroquímica, de las aguas termales que afloran en el área de Ixtapan de la Sal-Tonatico, con el fin de conocer su origen y establecer los procesos hidrogeoquímicos que las afecta.

### **Metodología**

En este estudio se llevó a cabo un seguimiento de las características físico-químicas de los manantiales termales y de las fuentes de agua no termal (manantiales y pozos). Previo a las campañas de muestreo, se definieron las fuentes de agua a muestrear (inventario y recorrido de campo) y los parámetros físicoquímicos, métodos de toma de muestra, así como la frecuencia de las dichas campañas.

La recolección de las muestras de agua se realizó en el punto de emergencia, de cada una de los manantiales termales y fríos, incluyendo algunos pozos. La selección del tipo de recipiente y cantidad de muestra, las condiciones de almacenamiento, traslado y preservación de las muestras se llevó a cabo bajo las especificaciones de APHA-AWWA-WFPC (2005).

Los parámetros físico-químicos que se midieron "in situ" con un equipo multiparamétrico fueron la temperatura del agua, pH, Conductividad Eléctrica (CE) y, Sólidos Disueltos Totales (SDT). La temperatura ambiente fue medida con un termómetro convencional de mercurio. La acidez y alcalinidad de las aguas se determinó en campo, empleando el método volumétrico conforme a NMX-AA-036-SCFI-2001. Los demás parámetros se evaluaron en el laboratorio según los métodos descritos en las normas y en APHA-AWWA-WFPC (2005) y fueron  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ .

### **Resultados y discusión**

A partir del trabajo de campo efectuado se identificaron los siguientes puntos de monitoreo:

- 1) Laguna Verde: Laguna donde existente varias surgencias y con una temperatura del agua que oscila entre 27 y 29 °C, la cual está influenciada por la temperatura ambiente.
- 2) Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal: Temperatura del agua entre 35°C y 37°C.
- 3) Ixtamil: Temperatura del agua entre 35 °C y 39°C.
- 4) Balneario Municipal de Tonatico: Temperatura del agua oscila de 35 °C a 37 °C.
- 5) El Obispado: Temperatura promedio de 36°C.
- 6) El Carrizal: Manantial con temperatura de 22° C.
- 7) Agua amarga I y II; en ambos manantiales la temperatura del agua es de 23°C.
- 8) Ixtamil frío: Las aguas de este manantial abastecen las necesidades de un hotel, así como sus albercas, con una temperatura promedio de 24°C.
- 9) Pozo Ixtapan. Pozo de uso doméstico. Temperatura del agua de 23 °C.

De las campañas de muestreo se obtuvieron datos in situ, los cuales son reportados en las tablas 1 y 2. Los parámetros que destacan son la temperatura y la conductividad eléctrica que permiten diferenciar claramente el quimismo de ambos tipos de agua (fría y termal) y como este se encuentra influenciado por la temperatura del agua (> 34 °C en aguas termales y < 25°C en aguas frías). En cuanto al pH, este tiende a ser ácido en las muestras termales, y próximo a la neutralidad en las aguas frías.

Con respecto a los iones mayoritarios (tablas 1 y 2), hay que destacar las elevadas concentraciones de cloruros, así como de sulfatos y bicarbonatos en el agua termal que daría origen a la elevada salinidad de estas aguas, junto con los altos contenidos de los cationes sodio y calcio. En cuanto a los nitratos no se detectada su presencia en las aguas termales, mientras que en el agua fría si se detecta, lo que indica afectación por actividades antrópicas (Sanliyuksel y Baba, 2011). Así mismo, se observa como el agua procedente del pozo es la que presenta menor salinidad (con el mínimo valor de CE).

Tabla 1 Características físico químicas del agua termal (campaña Mayo 2014, S/D: Sin Determinar; N/D: No Detectable)

Nombre	Tem. H <sub>2</sub> O	Tem. Amb	pH	C. E.	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	°C	°C		mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Laguna Verde	27.8	24	5.9	9.60	628	146.4	91.4	1499	2719	N/D	976.84	2000.8
Ixtamil	34.4	24	5.8	9.52	582	134.4	84.0	1398	1987	N/D	976.69	1878.8
M. Tonatico	35.0	24	5.9	9.52	596	137.8	79.8	1429	1912	N/D	957.02	1976.4
M. Ixtapan	35.4	28	6.1	10.17	598	139.5	86.5	1451	2981	N/D	958.60	1891.0
Obispado	34.9	27	6.3	9.68	581	137.9	81.6	1398	2930	N/D	903.44	1799.5

Tabla 2. Características físico químicas del agua fría (campaña Mayo 2014, S/D: Sin Determinar; N/D: No Detectable)

Nombre	Tem H <sub>2</sub> O	Tem Amb	pH	C. E.	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	°C	°C		mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Amarga I	24.2	23	6.1	1.83	182	25.8	16.1	203	235.5	6.58	136.16	683.2
Agua Amarga II	23.7	24	6.2	2.02	218	47.5	39.1	507	1322.2	N/D	281.93	780.8
Ixtamil Frío	24.0	24	6.3	1.42	158	26.4	12.9	151	159.8	8.52	191.25	S/D
Pozo Ixtapan	23.3	27	7.5	0.61	78	1.7	23.2	19	13.6	4.23	42.80	329.4
Carrizal	21.2	22	7.1	2.12	171	40.2	20.8	289	288.6	5.48	142.22	475.8

Esta caracterización hidroquímica permite diferenciar claramente los diferentes orígenes del agua en la zona de estudio, y como los manantiales fríos tiene cierta influencia del agua termal; ya que el agua subterránea de la región tienen poco contenido salino.

### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México a través de proyecto 3716/2014

**Bibliografía**

1. Ahmed, M. A. & Hafidah A. A. (2012). "Hydrochemistry and thermal activity of Damt region, Yemen". *Environmental Earth Sciences*, Volumen 65, pp. 2111-2124.
2. APHA AWWA y WFPC). (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21th edn. Washington, D.C., APHA, AWWA, WFPC
3. CONAGUA. (2011). "Atlas del agua en México 2011". En *Comision Nacional del Agua*. [En Linea]. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/noticias/sqp-18-11.pdf> [Accesado el 15 de abril de 2014)
4. Larsen, D., Swihartb, G., & Xiaoc, Y. (2001). "Hydrochemistry and isotope composition of springs in the Tecopa basin, southeastern California, USA". *Chemical Geology*, Volumen 179, pp. 17-35.
5. Sanliyüksel, D., & Baba, A. (2011). "Hydrogeochemical and isotopic composition of a low-temperature geothermal source in northwest Turkey: Case study of Kirkgecit geothermal area". *Environmental Earth Sciences*, Volumen 62, pp. 529-540.