

Estudio hidrológico del Graben de Cuitzeo, Mich., enfocado a la caracterización geoquímica e isotópica de los acuíferos y su relación con el yacimiento geotérmico

Ana Victoria Rentería Ortega y Víctor Hugo Garduño Monroy

Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. Correo: anna2792@hotmail.com

RESUMEN

La caracterización de un acuífero geotérmico y de su recarga son aspectos neurálgicos en el desarrollo y aprovechamiento de recursos geotérmicos. Este trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización de los acuíferos y determinar su relación con el probable yacimiento geotérmico, mediante el análisis de datos geoquímicos e isotópicos del agua termal, así como de su datación. El muestreo se realizó en pozos de agua perforados por particulares y en manantiales naturales, tanto de agua caliente como de agua fría. Las muestras se analizaron para establecer una comparación de los resultados propios del agua superficial y los del agua profunda, para conocer la interacción del agua meteórica con los fluidos del probable yacimiento más profundo, así como los probables efectos que podría ocasionar la explotación de los fluidos hidrotermales en los acuíferos. Con esos datos se pretende delimitar no sólo la zona de recarga sino también el tiempo que le toma al agua infiltrarse, alcanzar el yacimiento, calentarse y salir a superficie por medio de fallas presentes en la zona. Así se establecerá un modelo conceptual de los acuíferos de agua dulce y su relación con el yacimiento geotérmico, lo que coadyuvará a explicar cómo funciona la mezcla de agua termal profunda con el agua superficial del acuífero del lago.

Palabras clave: Hidrología, geoquímica, isotopía, modelo conceptual, interacción con acuíferos.

- Introducción

La cuenca del Lago de Cuitzeo, ubicada en la porción norte del estado de Michoacán, tiene un origen tectónico, por lo que es altamente susceptible de llegar a una colmatación final. Esta cuenca en un principio formó parte de la cuenca fluvial del Río Lerma junto con el Lago de Pátzcuaro, pero durante el Plioceno y el Pleistoceno, al levantarse diversas barreras geográficas con la actividad volcánica monogenética las cuencas se separaron hasta quedar como se conocen en la actualidad.

Este estudio está enfocado a entender la relación entre el probable yacimiento geotérmico en el subsuelo del lago con el acuífero somero, con el fin de crear un modelo conceptual que permita diseñar un método de aprovechamiento adecuado tanto al acuífero como al yacimiento geotérmico.

En el reglamento de la Ley de Aguas Nacionales vigente, dentro de artículo 119, se establece que: “En las solicitudes de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales para la producción de fuerza motriz o energía eléctrica, el solicitante deberá presentar a ‘La Comisión’ el proyecto constructivo que trate de desarrollar, la aplicación que se le dará, el sitio de devolución del agua y las acciones a realizar en materia de control y preservación de la calidad del agua y en materia de impacto ambiental, prevención y control de avenidas, y la no afectación de los flujos de las corrientes.”

Por tanto, es importante conocer la edad del agua subterránea, porque con ello se pueden determinar los tiempos de recarga del acuífero y así mismo estimar el impacto que tendría su explotación. Se entiende como edad del agua subterránea el tiempo transcurrido desde que una gota se infiltra en el

subsuelo hasta que alcanza un lugar específico dentro del sistema o manantial donde se muestrea, pasando a través de las formaciones geológicas constituidas por rocas porosas o rocas fracturadas que constituyen los acuíferos propiamente dicho. En el graben del Lago de Cuitzeo el principal aporte de agua es debido a la infiltración del agua meteórica. La temporada lluviosa en la cuenca abarca el verano y parte del otoño (de mayo a octubre). En el resto del año la condición es de sequía (noviembre a abril), siendo febrero y marzo los meses más secos. La lluvia en invierno representa menos del 5% de la anual.

Uno de los métodos de fechamiento más utilizados en el mundo es el del Carbono-14. El ^{14}C tiene un período de semi-desintegración o vida media de 5730 ± 40 años (Godwin, 1962) y su abundancia en la atmósfera es de menos de 10-12% del carbono total, lo que permite establecer edades de hasta aproximadamente unos 45 mil años al presente. El ^{14}C se forma naturalmente a unos 12 km de altura sobre la superficie terrestre (límite entre la estratosfera y la troposfera), por reacciones nucleares debidas al bombardeo neutrónico, derivado de la radiación cósmica, sobre el nitrógeno atmosférico ($^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$). También puede ser liberado a la atmósfera en grandes cantidades debido a explosiones nucleares, tales las ocurridas entre 1953 y 1963, que produjeron un aumento del doble de los niveles naturales en la concentración de ^{14}C en atmósfera (Fig. 1).

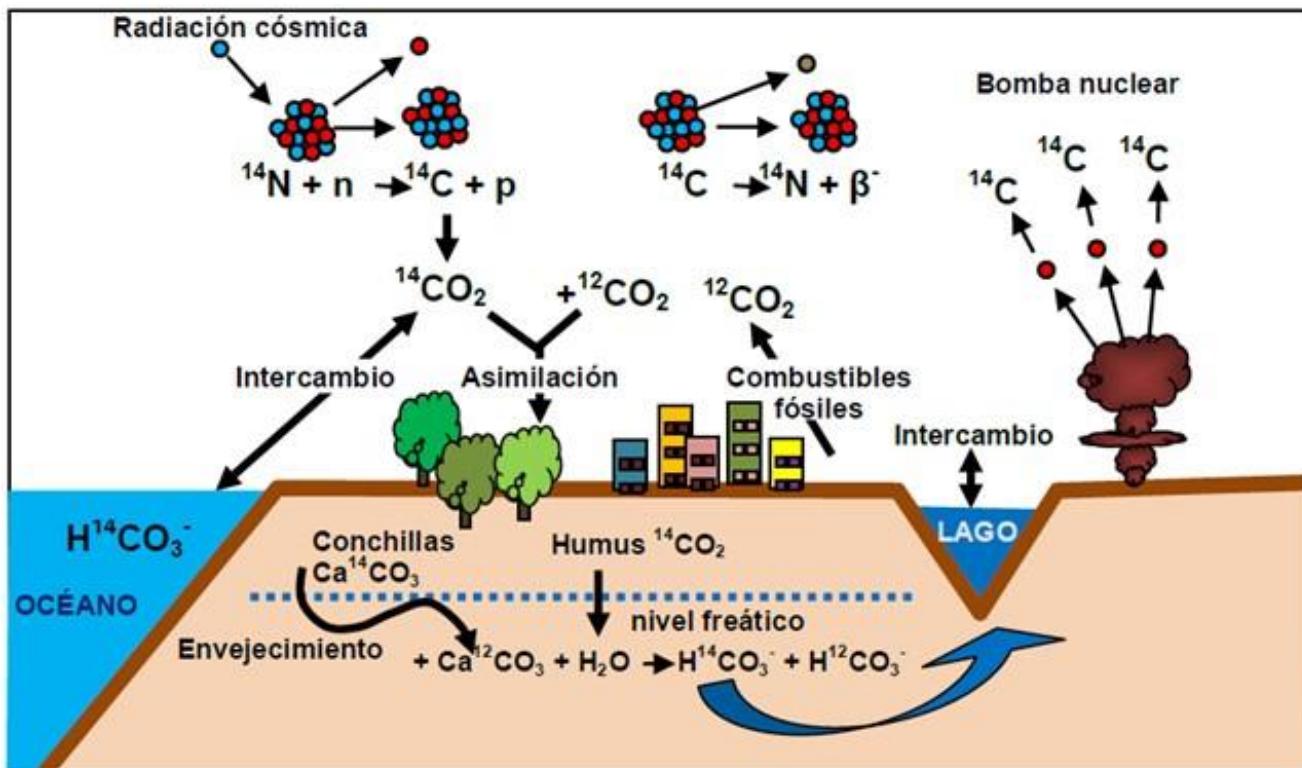


Fig. 1. Esquema con el origen y distribución del ^{14}C en la naturaleza (modificado de Mook, 2002; tomado de Cabrera, 2014.)

Es importante mencionar que se ha realizado una revisión bibliográfica con el fin de lograr comprender como se comporta el acuífero en el Graben de Cuitzeo, el tipo de recarga y su descarga de forma natural y la explotación que este ha sufrido, a fin de comprender su abatimiento y el tiempo en que el nivel del acuífero podría restaurarse.

Como se sabe, el agua se considera un bien renovable pero si la tasa de recarga del acuífero es menor que su tasa de explotación, deja de ser considerado un recurso renovable en términos prácticos. Cabe comentar que un estudio realizado por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato en 2000, se documenta la sobreexplotación del acuífero regional de la Cuenca de Cuitzeo, principalmente en la zona de Santa Ana Maya, ubicada en la porción norte de la misma.

- Metodología

La toma de muestras del agua no sólo debe consistir en adquirir físicamente la mejor muestra posible para su futuro análisis, sino también la caracterización del ambiente en el cual se colecta la muestra. Por ello, se realizó un estudio geológico previo en la zona para identificar las unidades en las que brotan los manantiales muestreados.

Para ubicar los puntos de muestreo se realizó previamente un censo de las manifestaciones termales en el graben. Así, se ubicaron 32 manantiales termales, un manantial frío y un pozo perforado por la Comisión Nacional del Agua para el abastecimiento de la comunidad de Zimirao (o Simirao), Mich. Para este trabajo se colectaron únicamente cuatro muestras de forma previa, aunque se llevará a cabo un muestreo más extenso y detallado. Las cuatro muestras se ubicaron de forma aleatoria y se enlistan en la Tabla 1.

Muestra	Características	Coordinadas
Zim1-16	Manantial frío	X=308916, Y=2200883
Zim2-16	Pozo CNA	X=309531, Y=2200333
Zim3-16	Manifestación termal	X=308343, Y=2201770
Zim4-16	Manifestación termal	X=306504, Y=2201868

Tabla 1. Características y ubicación de las muestras de agua tomadas de forma aleatoria.



Figura 2. Fotos mostrando dos tipos de fuentes, a la izquierda un manantial de agua fría y a la derecha una manifestación termal.

El muestreo se realizó siguiendo las normas establecidas para la datación de aguas por medio de ^{14}C :

1. Se tomó el agua de la boca del manantial o manifestación termal.

2. Antes de comenzar a recolectar las muestra en la boca del manantial, manifestación termal o grifo, se dejó que el agua corriera por un tiempo suficiente como para que el agua recolectada provenga directamente del acuífero.
3. Se dejó que el agua de la fuente a muestrear rebasara por el cuello de la botella un par de veces, antes de tomar la muestra para datar.
4. Se llenó la botella completamente, pero dejando el cuello de la botella vacío para permitir la expansión del líquido durante el transporte y evitar derrames y contaminación.
5. Luego de cerrar bien la botella se colocó cinta adhesiva aislante alrededor del tapón para evitar el intercambio o la pérdida de CO₂ del agua.
6. Por ultimo cada muestra se identificó con una clave.

Por su edad, las aguas subterráneas pueden ser consideradas jóvenes, viejas o muy viejas (Kazemi et al., 2006).

- Aguas jóvenes son aquellas que se han infiltrado en el ámbito subterráneo hace menos de 50-60 años, por lo que se consideran de recarga reciente y por lo tanto con muy cortos tiempos de permanencia en el sistema, desde menos de un año a un máximo de 60 años.
- Las aguas viejas son aquellas que llevan en el sistema subterráneo cientos o miles de años y pueden ser datadas con técnicas que cubren el rango entre 60 y 50 mil años, por ejemplo con métodos isotópicos tales como el 14C.
- Las aguas muy viejas llevan varias decenas de miles o millones de años en el sistema subterráneo y pueden ser datadas con técnicas que cubren el rango que de 50,000-100,000 años a poco más de 10 millones de años.

- **Resultados previos**

En la Figura 3 se presenta el mapa geológico del Graben de Cuitzeo, resultado del estudio geológico realizado en la zona. De aquí se determinaron el tipo de unidades litológicas aflorantes, entre ellas las que constituyen la sierra ubicada en la porción norte del graben, que se consideran como zona de recarga principal para el acuífero de profundidad intermedia detectado en el subsuelo de la zona.

Un estudio realizado por Medina Vega (2008) menciona que la Cuenca de Cuitzeo presenta un clima templado semicálido-subhúmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación de Köppen. El mismo estudio definió tres unidades geohidrológicas de diferente profundidad. El acuífero profundo está compuesto por rocas andesíticas miocénicas, el acuífero intermedio estaría constituido por tobas riolíticas e ignimbritas, y el primer acuífero o acuífero somero está compuesto por sedimentos fluvio-lacustres.

Por su parte, en 2000 la Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato realizó un estudio en la zona noreste del Lago de Cuitzeo. En él determinó que las entradas de agua corresponden al flujo subterráneo que se produce por la infiltración de agua de lluvia en las estribaciones de las sierras y por la infiltración vertical generada en la zona del valle. Se obtuvieron resultados que indican que la recarga por flujo lateral al acuífero era de 19.5 millones de metros cúbicos al año (Mm³/año), la recarga por infiltración vertical era de 7.7 Mm³/año, y que la extracción en ese tiempo llegaba a los 39.7 Mm³/año. Por lo tanto, considerando que la recarga total, por flujo lateral e infiltración vertical, resultaba ser de 27.2 Mm³/año, se definió que el acuífero era sobreexplotado en ese época en 12.5 millones de metros cúbicos al año. Esto derivó en la veda a la perforación de más pozos en ese acuífero.

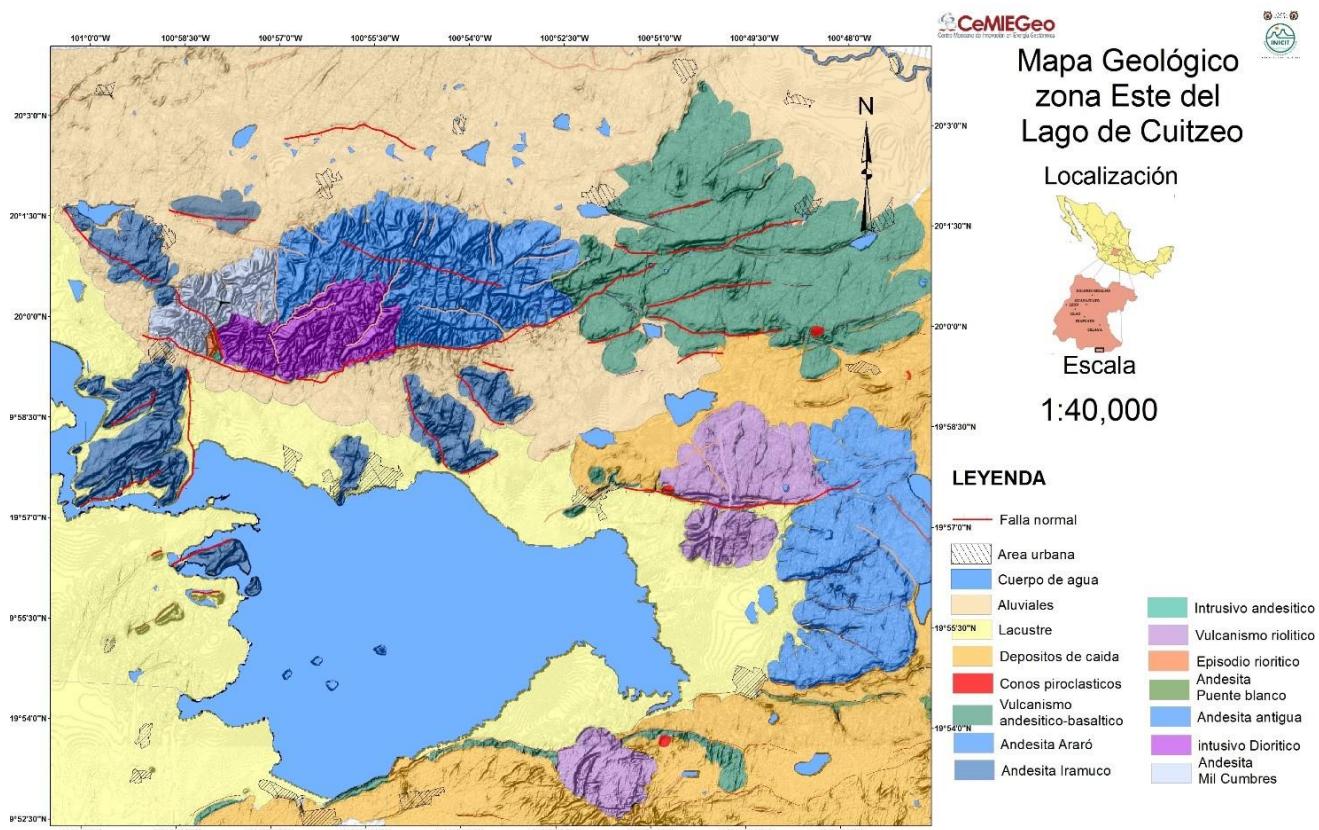


Fig. 3. Mapa geológico del Graben de Cuitzeo.

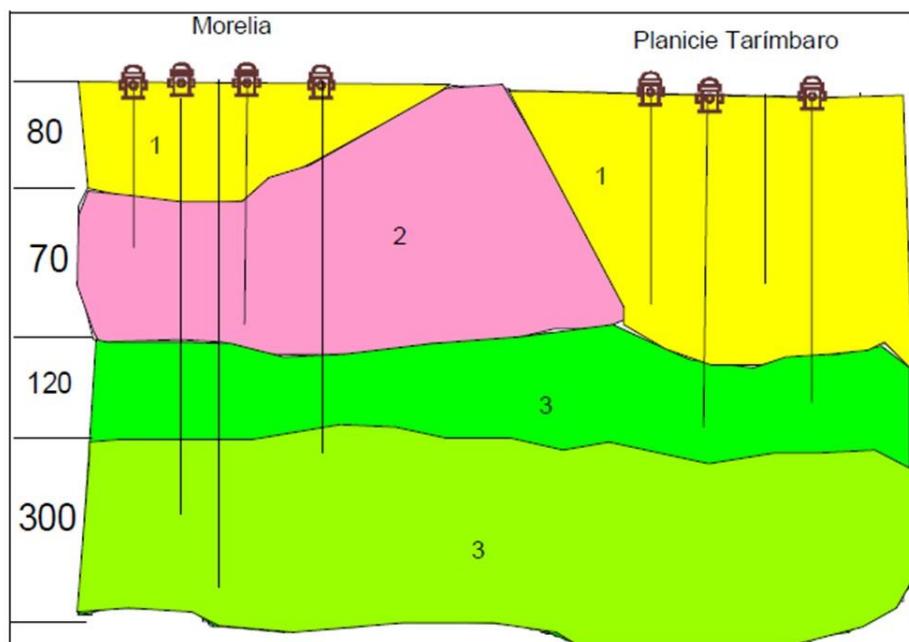


Figura 4. Modelo conceptual de los acuíferos de la Cuenca de Cuitzeo. El número 1 es el acuífero somero, el 2 el intermedio y el 3 el acuífero profundo (Tomado de Medina-Vega, 2008).

De acuerdo a los estudios mencionados, y con base en los estudios actuales realizados en la zona, se generó un modelo conceptual como propuesta evaluar la distribución de los tres acuíferos presentes en la Cuenca de Cuitzeo. Este modelo se ilustra en la Figura 5.

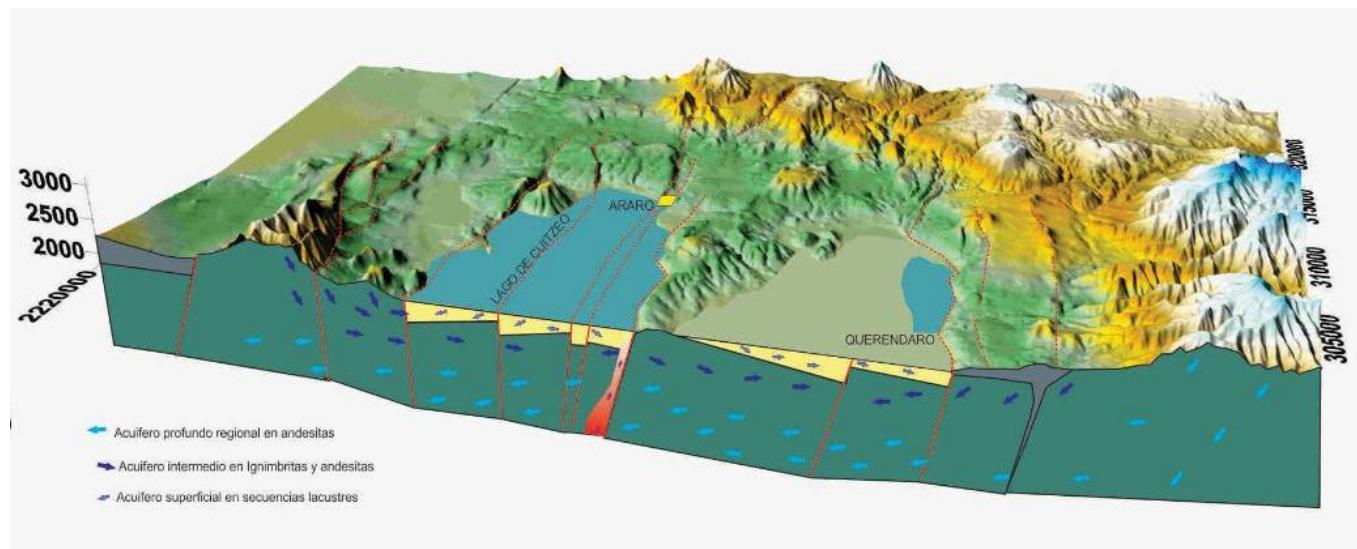


Figura 5. Modelo conceptual de los acuíferos que interactúan con el probable yacimiento geotérmico y las manifestaciones superficiales.

En la Figura 5 se puede observar que el acuífero profundo tendría su recarga en la Sierra de Mil Cumbres y su flujo subterráneo iría en dirección norte. El segundo acuífero (intermedio) tiene su recarga en la base de la Sierra de Mil Cumbres con un flujo que también corre preferentemente hacia el norte, pero su recarga principal ocurre en la Sierra ubicada al norte del Graben de Cuitzeo con un flujo de agua hacia el sur. Por último, el acuífero superficial estaría aflorando propiamente en el Lago de Cuitzeo presentando una recarga local. Este último acuífero está compuesto por sedimentos fluvio-lacustres, los cuales a la vez actúan como la capa sello del yacimiento termal. En este modelo, los fluidos geotérmicos profundos se mueven a través de las fallas y fracturas de las rocas, gracias a las cuales pueden llegar eventualmente a la superficie.

- Conclusiones

En la Cuenca de Cuitzeo existen dos acuíferos alojados en rocas fracturadas. El acuífero profundo está conformado por rocas andesíticas y el acuífero intermedio en tobas riolíticas. Hay también un tercer acuífero superficial, albergado en sedimentos fluvio-lacustres cuyo nivel freático aflora en el Lago de Cuitzeo.

Hace ya más de 15 años el estudio mencionado de la Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato estimaba un déficit de 12.5 Mm³/año para el acuífero principal del Valle de Cuitzeo. Si se considera la constante demanda de agua, no es difícil suponer que en la actualidad la explotación podría haber aumentado no solo en el valle sino en toda la cuenca.

Si se pretende explotar el probable yacimiento geotérmico en la zona de Araró, el abatimiento del acuífero representa un grave problema tanto para el otorgamiento de permisos como para la vida útil del propio yacimiento.

Bibliografía

Cabrera, A., 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas. Inédito.

Godwin, H., 1962. Half life of radiocarbon. *Nature* 195:984.

Kazemi, G.A., J.H. Lehr and P. Perrochet, 2006. *Groundwater Age*. Ed. Wiley. ISBN 978-0-471-71819-2.

Medina Vega, V.H., 2008. Estudio geológico, geofísico e hidrogeoquímico para generar un modelo conceptual del Acuífero de Cuitzeo, Michoacán, México. Tesis de Maestría, Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Inédito.

Mook, W., 2002. *Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. Principios y aplicaciones*. IGME. Madrid.