
HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DE LOS

ALREDEDORES DE PATZCUARO

ESTADO DE MICHOACAN

POR EL INGENIERO DE MINAS JUAN D. VILLARELLO

A 25 kilómetros al Norte-Poniente de Pátzcuaro, en el Estado de Michoacán, se encuentra Zacapú; y á 20 kilómetros al Poniente de este pueblo se halla el llamado Carapan. En las cercanías de Zacapú, y hacia la hacienda de Buenavista y pueblos llamados Naranja y Tiríndaro, existen varios manantiales cuyas aguas descienden por lo que antes fué ciénega de Zacapú, terreno ahora completamente desecado por obras de canalización. Muy cerca del pueblo de Carapan, abajo del lugar conocido con el nombre de Cruz Gorda, se encuentran también varios manantiales cuyas aguas bajan por el río Duero para la ciudad de Zamora, y después para el lago de Chapala, en el Estado de Jalisco. Las aguas de los manantiales de Zacapú son utilizadas para usos domésticos y para el riego de terrenos; y las aguas de los manantiales de Carapan se emplean para el regadío, y también como fuerza motriz, aprovechando una caída en el río Duero, cerca de Zamora.

Recientemente se ha pensado utilizar una parte del agua contenida en el lago de Pátzcuaro, elevándola por medio de bombas para sacarla de la depresión ocupada por este lago, y regar con ella terrenos adyacentes. Con este objeto fué presentada á la Secretaría de Fomento la solicitud correspondiente, y desde luego se opusieron á la concesión de estas aguas: por una parte, los concesionarios de la desecación de la ciénega de Zacapú; y por otra, la "Guanajuato Power and Electric Co.," que aprovecha como fuerza motriz las aguas del río Duero, en la caída antes mencionada; y también el Sr. Francisco García, quien usa aguas del mismo río para el riego de terrenos de su hacienda llamada Santiaguillo. El motivo de estas oposiciones es la creencia de que, los manantiales de Zacapú y de la cuenca del río Duero, son alimentados por el agua del lago de Pátzcuaro. En vista de las oposiciones anteriores, la Secretaría de Fomento acordó se hiciera el estudio geológico de aquella región; y al efecto, la Dirección del Instituto Geológico Nacional me comisionó para hacer ese estudio, y resolver si existe ó no conexión subterránea entre el lago de Pátzcuaro y los manantiales de las cercanías de Carapan y Zacapú.

Para dar cumplimiento á la comisión con la cual fuí distinguido, me es honroso escribir las siguientes líneas.

Topografía

La cuenca del río Duero, así como la pequeña hondanada ocupada antes por la ciénega de Zacapú, están separadas de la depresión en que se encuentra el lago de Pátzcuaro por la sierra de Zinziro. Esta sierra se prolonga al Poniente por los cerros llamados: de los Amoles, del Tecolote y del Tule, situados al Sur, Sur-

tros, el Zirate se eleva á 920 metros sobre el lago, los cerros de los Amoles á 860, el volcán de Arena á 540, el llamado La Caja á 960, el cerro del Tecolote á 1,350, y el del Tule á 1,240 metros. Entre estas cimas elevadas se encuentran algunas mesetas, generalmente poco extensas, y entre las cuales mencionaré la de Zinziro, á 350 metros sobre el nivel del lago. Hacia el Norte la sierra descende, como he dicho, para Zacapú y Carapan, lugares que se encuentran 60 y 70 metros más bajos que el lago de Pátzcuaro.

Como se ve, la sierra que separa al lago de Pátzcuaro de los lugares llamados Zacapú y Carapan, es una barrera accidentada, considerablemente ancha, 20 á 30 kilómetros, y que alcanza alturas variables entre 300 y 1,350 metros sobre el nivel de las aguas del lago de Pátzcuaro.

Geología

Toda la región de que me ocupo está constituida por rocas eruptivas de dos edades diferentes. Las más antiguas son rocas andesíticas terciarias, y las otras son rocas basálticas modernas. Las andesitas son augíticas de hiperstena, compactas, de color gris obscuro en los cerros de los Amoles, y gris claro ó rojo en los cerros del Tecolote y de Zinziro. Las rocas basálticas son labradoritas y basaltos pobres de olivino, de colores oscuros, gris ó negro. Cubriendo en parte á los basaltos se encuentran brechas y tobas volcánicas, de color rojo las primeras, y amarillas ó blancas las segundas. Estas tobas, con ligera pendiente hacia el Norte, se encuentran sobre los basaltos en la bajada del rancho Tinicuicho para el pueblo de Tirindaro, y en las cercanías de Zacapú.

Debido á su rápido enfriamiento, las lavas están divididas en masas irregulares; y otras veces, por su mayor fluidez, pudieron extenderse en corrientes que muestran en su superficie las ondas del escurrimiento.

Las andesitas augíticas de hiperstena constituyen la parte antigua de la sierra de Zinziro, ó sea la porción central de la ancha barrera que separa la depresión de Pátzcuaro de las cuencas de Zacapú y del río Duero. En efecto, se encuentran las andesitas: en el Pico de Zirate, en los cerros de Comanja, en las cercanías de Zinziro y en los cerros los Amoles, el Tecolote y el Tule. Al Sur-Poniente y al Sur-Este de Pátzcuaro se encuentran también las andesitas en los cerros de Tingambato y en los de San Miguel y Cuanajo.

Las labradoritas, basaltos y tobas volcánicas, se encuentran en las faldas de todos los cerros antes mencionados, faldas que casi están cubiertas por extensas corrientes de lava.

El lago de Pátzcuaro está limitado: al Sur, por las faldas de los cerros Blanco, Colorado, el Calvario y San Pedro, constituídos por tobas volcánicas y por basaltos de color gris, de textura ampollosa; al Poniente, por los conos volcánicos de Charahuén y por los cerros de Tócuaro formados por tobas volcánicas de color blanco; al Norte-Poniente, por los cerros de Erongari-cuaro y San Andrés, constituídos por basaltos y labradorita de textura fluidal; al Noreste, por los cerros basálticos de San Jerónimo; y al Este, por los cerros también basálticos que se encuentran entre Tzintzuntzan y Chapultepec.

Como se ve, los límites antiguos, terciarios, de la depresión de Pátzcuaro estaban formados por los ce-

rros de andesita pyroxénica que se encuentran tanto al Norte, como al Poniente y Sur de Pátzcuaro; y más tarde, las erupciones recientes de rocas basálticas cubrieron las faldas de los cerros andesíticos, se extendieron en corrientes hacia la depresión, y circundaron la hondonada que hoy ocupa el lago, cuyo subsuelo está constituido también por basalto y tobas volcánicas.

Hacia el Norte de la sierra de Zinziro, y en las faldas de esta última, se encuentran también multitud de conos volcánicos, entre los cuales mencionaré á los llamados: Maxcuta, Calabaza, San Miguel, La Arena, La Caja, Las Cabras y El Pueblito. Hacia este lado de la sierra, lo mismo que en sus faldas del Sur, las rocas basálticas modernas cubrieron á las andesitas en una zona muy extensa, que alcanza hasta más de la mitad de la altura de los cerros andesíticos, como se ve en el rancho de Las Canoas, situado en la falda Norte del cerro El Tecolote. Además, las lavas escurrieron, siguiendo las pendientes del macizo andesítico, hasta llegar á la región más baja, en donde formaron: por una parte, los bordes de la hondonada de Zacapú; y por otra, la cuenca del río Duero.

Explicada así, en pocas palabras, la historia geológica de aquella región, y conociendo la naturaleza y distribución de las rocas eruptivas que se encuentran en ella, la figura adjunta dará una idea del corte geológico transversal de la sierra de Zinziro.

capú y Carapan, que por los de las cercanías de Pátzcuaro; y todas estas aguas son potables.

El lago de Pátzcuaro está alimentado por las aguas corrientes superficiales, que en tiempo de lluvias descienden por las faldas de los cerros basálticos que limitan esa depresión;¹ y por el agua que sale por los manantiales situados en esas mismas faldas, agua que se reúne en la hondonada que ocupa el lago. El contorno de este último es muy irregular, su mayor longitud es de S.W. á N.E., veinte kilómetros, y su anchura varía entre tres y diez kilómetros aproximadamente. La profundidad media de este lago es ocho metros; pero en varios lugares es de cincuenta metros, y en otros llega á ser aún mayor.

El nivel de las aguas en el lago de Pátzcuaro ha ido descendiendo con gran lentitud en el transcurso de los años; y ahora se encuentran en la hacienda de Charahuén, al Poniente de Pátzcuaro, terrenos cultivados que antes estuvieron cubiertos por las aguas del lago. Este descenso del nivel de las aguas ha permitido bajar y acortar el camino que va de Pátzcuaro para Huricho y Erongarícuaro. Siguiendo este camino, que está á la orilla del lago, se ve en varios lugares un antiguo camino á mayor altura que la actual, y que indica hasta dónde llegaban en otros tiempos las aguas de ese lago.

En ninguna parte del lago de Pátzcuaro se encuentran resumideros visibles, ni tiene tampoco ningún desagüe superficial; pero como es muy extenso, la cantidad

¹ La altura anual de la lluvia recogida en el pluviómetro en Pátzcuaro es: 1110 milímetros. Bol. Soc. Mex. Geog. L. c., pág. 181.

* * *

El origen de los manantiales antes mencionados, es de muy fácil explicación, como se verá en seguida.

La permeabilidad de las varias rocas que constituyen la región de que me ocupo, es muy diferente. En efecto, las andesitas no son por naturaleza porosas, y como en esta región están muy poco agrietadas, su "permeabilidad en grande" es insignificante; en cambio, esta misma permeabilidad es considerable en las rocas basálticas de la región por estar muy agrietadas en varias partes, debido esto á su rápido enfriamiento. Las brechas y tobas volcánicas son rocas bastante porosas; y además, se encuentran en varias partes de la región, principalmente en los conos volcánicos, acumulaciones de arena y cenizas, materiales incoherentes éstos que permiten la circulación de las aguas por los intersticios que separan á los elementos que los constituyen.

Como dije antes, la sierra de Zinziro está formada por un macizo andesítico, que ocupa su parte central, y este macizo está cubierto de ambos lados por rocas basálticas agrietadas, y corrientes extensas de lava; las cuales á su vez están cubiertas en algunas partes por brechas y tobas volcánicas. Según esto, y teniendo en cuenta la permeabilidad de las rocas antes mencionadas, puede decirse que: la sierra de Zinziro está formada por un macizo central casi impermeable, el cual está cubierto en gran extensión por rocas porosas unas, y de permeabilidad en grande las otras. Esta cubierta permeable permite la infiltración y circulación subterránea de las aguas pluviales, hasta que estas aguas lleguen al macizo andesítico, el cual sirve de ba-

Por lo dicho anteriormente se comprende que: la existencia de los manantiales de Pátzcuaro, Zacapú y cuenca del río Duero, es debida á la naturaleza porosa de las cenizas, arenas, brechas y tobas volcánicas, al agrietamiento de las rocas basálticas y á la gran extensión que ocupan todas estas rocas en esa región. Esta vasta superficie de rocas permeables es la que permite que se infiltren las aguas pluviales en gran cantidad, y que, por lo mismo, el gasto de los manantiales sea también proporcionalmente considerable.

Los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos entre dos rocas de permeabilidad diferente, son muy comunes;¹ así como es muy frecuente encontrar manantiales en las partes bajas y agrietadas de las corrientes de lava, especialmente en las extremidades de estas corrientes.² Como ejemplos de estos manantiales citaré los de las faldas orientales del Ajusco, en la cuenca de México; los de las cercanías de la laguna de Lerma y los de Cuernavaca y Jiutepec, en el Estado de Morelos.

La cantidad de agua que sale por los manantiales situados en las corrientes de lava, es muchas veces bastante considerable,³ como sucede en los manantiales de Cuernavaca y en los de Las Fuentes de San Gaspar, en el Estado de Morelos.

1 H. Schardt. Les eaux souterraines du Tunnel du Simplon. Bull. Soc. Belg. Géol. Paléon. et d'Hydrol. Tomo XIX, 1905. Mem., pág. 3.

2 A. Daubrée. L. c. Tomo I, pág. 95.

3 A. Daubrée. L. c. Tomo I, pág. 98.

Conocida ya la topografía, la geología y la hidrología subterránea de la región de que me ocupo, creo que es fundado decir que: no existe conexión subterránea entre el lago de Pátzcuaro y los manantiales de las cuencas de Zacapú y del río Duero.

Las cuencas antes mencionadas están separadas del lago por la sierra de Zinziro, que es bastante alta, muy accidentada, y de veinte á treinta kilómetros de anchura. Esta sierra está formada por un macizo andesítico terciario, el cual está cubierto de uno y otro lado por rocas basálticas modernas, que se extienden en corrientes tanto para la depresión de Pátzcuaro, como para las cuencas de Zacapú y el río Duero. Teniendo en cuenta la permeabilidad de estas rocas, puede decirse que: la sierra de Zinziro está formada por un macizo central casi impermeable, el cual está cubierto de ambos lados por rocas permeables que ocupan gran extensión. En vista de esto, el macizo andesítico puede considerarse como una poderosa barrera natural que impide á las aguas infiltradas en una de las faldas de la sierra de Zinziro, el que pasen á la falda opuesta. Esta barrera impermeable divide así en dos partes la circulación subterránea de las aguas pluviales caídas en esa sierra; y es también esta barrera impermeable la que impide el descenso indefinido de las aguas infiltradas, y las obliga á volver al exterior y salir por manantiales semejantes, situados en las faldas opuestas de la mencionada sierra. Según esto, las aguas infiltradas en cada una de las faldas de la sierra, sal-

* * *

Para demostrar de una manera experimental la conexión ó falta de conexión subterránea entre un punto de la superficie del terreno y los manantiales más ó menos cercanos de él, se emplea con éxito notable la fluoresceína, que es una substancia de grandísimo poder colorante. En el caso que ahora estudio, y para tener una demostración semejante de la falta de conexión subterránea entre el lago de Pátzcuaro y los manantiales tantas veces mencionados, no es necesario hacer uso de la fluoresceína. En efecto, no es esta la única substancia que se emplea para las demostraciones experimentales antes indicadas; sino que se usan también otros varios compuestos, entre los cuales figuran los cloruros alcalinos. Estos cloruros son muy solubles en el agua, no se descomponen por largo que sea el trayecto subterráneo que tengan que recorrer disueltos en el agua, ni por variable que sea la composición química de las rocas por las cuales tengan que circular en disolución. La presencia de los cloruros en esta disolución se puede reconocer fácilmente, empleando el nitrato de plata como precipitante; pero como casi todas las aguas de manantiales contienen cloro, ó por lo menos vestigios de cloruros,² es preciso hacer determinaciones cuantitativas. Con objeto de evitar estas manipulaciones, y que los resultados de la experimentación sean desde luego perceptibles á la simple vista,

1 Félix Marboutin. Essai sur la propagation des eaux souterraines. Bull. Soc. Belg. Géol. Paléon. et d'Hydrol. Tomo XVII. P. V., pág. 277.

2 A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 100 á 108.

se emplea de preferencia la fluoresceína por su gran poder colorante. En el caso que ahora estudio, y por las razones que indicaré después, me resolví mejor á que se hicieran esas determinaciones cuantitativas, y no á hacer un gasto de fluoresceína del todo inútil.

Cuando se hace uso de los cloruros alcalinos en las demostraciones experimentales ya indicadas, se determina primero la cantidad de cloro contenida en las aguas que salen por el manantial; después se vierte una solución de cloruro de sodio (sal marina), en el lugar que se cree estar comunicado subterráneamente con el manantial; y luego se hacen periódicamente determinaciones cuantitativas del cloro contenido en las aguas que salgan posteriormente por el mismo manantial. Si la cantidad de cloro contenida en estas aguas aumenta después de haber vertido la solución de cloruro de sodio en la superficie del terreno, es indudable que existe conexión subterránea entre este lugar y el manantial por donde salen las aguas analizadas.

Al estar en el terreno, haciendo el estudio que me fué encomendado, pude convencerme de que las aguas del lago de Pátzcuaro son algo saladas, y en cambio son dulces las que salen por todos los manantiales de la región. Este hecho, perfectamente conocido por los habitantes de aquellas localidades, me decidió á no emplear la fluoresceína, y á no aumentar la cantidad de cloruro de sodio contenida ya en las aguas del lago sin conocer antes los resultados exactos de la análisis cuantitativa de las aguas del lago y de los manantiales; pues estos resultados podían ser la demostración suficiente de la falta de conexión subterránea entre el lago y los referidos manantiales.

La análisis cuantitativa de las aguas mencionadas fué ejecutada en el laboratorio de química del Instituto Geológico Nacional, y los resultados son los siguientes: El agua del lago de Pátzcuaro contiene en disolución: carbonatos alcalinos, cloruros alcalinos (36 miligramos por litro), un poco de carbonato de cal y vestigios de magnesia y de óxido de fierro; siendo el peso del residuo de su evaporación, 427 miligramos por litro de agua. Las aguas de los manantiales de Zacapú y Carapan contienen en disolución: carbonatos alcalinos, un poco de carbonato de cal, vestigios de magnesia, vestigios de cloruros alcalinos (4 miligramos por litro), no tienen óxido de fierro; y el peso del residuo de su evaporación es 148 miligramos por litro de agua. Las aguas que salen de los manantiales situados arriba del lago de Pátzcuaro, contienen también vestigios de cloruros alcalinos.

Las determinaciones cuantitativas anteriores prueban desde luego que: las aguas de los manantiales de Zacapú y el río Duero, no provienen del lago de Pátzcuaro. En efecto, si toda la cantidad de agua que sale por esos manantiales proviniera del lago, el peso de las substancias disueltas en el agua de los manantiales, sería cuando menos igual al peso de las que se hallan en las aguas del lago; y digo cuando menos igual, porque en el trayecto subterráneo de veinte kilómetros que tendrían que recorrer las aguas del lago, no disminuiría la cantidad de los compuestos disueltos en ellas, por ser todos solubles, pero sí podrían esas aguas atacar á las rocas en ese largo trayecto, y enriquecerse en compuestos disueltos. Pues bien, comparando los resultados de la evaporación de esas aguas se ve que:

las del lago dejan un residuo que pesa 427 miligramos por cada litro de agua; en tanto que el residuo que dejan las aguas de los manantiales sólo pesa 148 miligramos por litro de agua evaporada. Esta es una prueba evidente de que no proviene del lago de Pátzcuaro toda la cantidad de agua que sale por los manantiales de Zacapú y el río Duero.

Si una parte solamente de las aguas que salen por los manantiales mencionados proviniera del lago, y que esta agua salada se mezclara en su trayecto subterráneo con otra más pura, y ya reunidas salieran por esos manantiales, la cantidad de cloruros alcalinos contenida en el agua de estos últimos sería menor que la contenida en las aguas del lago, pero mayor que la que existe en las aguas de los manantiales de la región que se encuentran más altos que el nivel del lago. Estos últimos, sin la menor duda, puede decirse que: no están en conexión subterránea con el lago, puesto que se hallan á mayor altura que él; y por lo mismo los vestigios de cloruros contenidos en las aguas que salen por ellos no provienen del lago, sino que son el resultado de la acción que las aguas ejercen sobre las rocas de esas localidades. Según esto puede decirse que: todas las aguas que circulen subterráneamente en esa región, contendrán vestigios de cloro, lo cual es un hecho muy general, como he dicho ya, pues casi todas las aguas potables contienen huellas de cloruros.¹ Estas aguas potables, con vestigios de cloro, que circulan subterráneamente por los alrededores de Pátzcuaro, al mezclarse en cualquiera proporción con las aguas del lago tienen que enriquecerse en cloro, ya sea que

¹ A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 100.

- la mezcla se verifique en la superficie del terreno ó á la profundidad; y, por lo tanto, si esta mezcla se verificara en el trayecto subterráneo de las aguas que alimentan á los manantiales de Zacapú y el río Duero, las aguas de estos últimos serían, como dije antes, más ricas en cloro que las de los manantiales que se hallan arriba del nivel del lago de Pátzcuaro. Pues bien, esto no sucede, porque todas las aguas que salen por los manantiales de la región, tanto por los que están más altos como por los que están más bajos que el referido lago, sólo contienen vestigios de cloruros (4 miligramos por litro de agua). Esta es una prueba concluyente de que las aguas del lago de Pátzcuaro no alimentan ni en parte á los manantiales de las cuencas de Zacapú y el río Duero.

Por lo anterior se comprende que es completamente innecesario emplear la fluoresceína en este caso, y es innecesario también aumentar la cantidad de cloruros alcalinos que ya contienen las aguas del lago; pues los datos anteriores son una demostración clara, de que no existe conexión subterránea entre el lago y los manantiales mencionados.

Conclusiones

Teniendo en cuenta todos los fundamentos ya indicados, puede concluirse diciendo que:

No existe conexión subterránea entre el lago de Pátzcuaro y los manantiales de Zacapú y el río Duero; y por lo tanto, el desagüe parcial ó total del lago de Pátzcuaro no influirá, de ninguna manera, en el gasto de los referidos manantiales.

México, Febrero 12 de 1907.