

# **ALGUNAS APRECIACIONES ACERCA DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA**

Oscar Felipe Paredes Chacón  
Gerente de Servicios de Ingeniería y Maquinaria SIGMA  
Docente Cátedra de Hidrogeología  
Universidad Jorge Basadre Grohmann de Tacna

## **RESUMEN**

Los elementos existentes en el planeta Tierra son muchos; algunos de ellos no son muy abundantes en la corteza terrestre, pero suelen encontrarse concentrados en pequeñas porciones de espacio, que conforman yacimientos explotables por el hombre para diferentes fines.

Así como existen yacimientos minerales, metálicos y no metálicos y de petróleo; también existen yacimientos naturales donde se encuentra acumulado un compuesto vital: el agua.

Y es que el agua es conocida generalmente por discurrir en los ríos, donde llega luego de concentrarse pasada una lluvia o producido un deshielo, por que se le aprecia a simple vista en la superficie terrestre; siendo extremadamente dinámica, pues se moviliza de un punto a otro, y si no hay una fuente de recarga, se agota, quedando el río seco.

Pero gran parte del agua meteórica que llueve, en el tiempo geológico del Cenozoico se ha acumulado en terrenos permeables, concentrándose en forma de embalses subterráneos a manera de yacimientos de agua que no se aprecian a simple vista.

Justamente uno de los elementos más preciados para la vida y aplicaciones industriales y extractivas es el agua, que a pesar de ser abundante en el Planeta, es un recurso escaso en muchos lugares.

En el presente trabajo se intenta realizar una cuantificación de los yacimientos de aguas subterráneas de la cuenca del Lago Titicaca, teniendo en cuenta no solamente el balance hidrológico, basado en las medidas de la precipitación y de la evapotranspiración, sino también en la cuantificación de las reservas como yacimiento, que es un componente poco tomado en cuenta en las evaluaciones de la oferta de agua de las regiones en estudio.

Para ello se ha utilizado hidrogramas de los ríos que cuentan con estaciones hidrométricas para identificar el aporte de las aguas subterráneas al volumen de agua que descargan y que tan solo representan la parte más superficial del yacimiento o embalse subterráneo; luego tomando en cuenta los parámetros hidráulicos de las diferentes zonas de las subcuencas en las cuales existe información subterránea (la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento); y su configuración geométrica (profundidad conocida y área estimada), calcular su volumen almacenado; diferenciando luego los tipos de reservas.

Así, la potencialidad de oferta de agua en la cuenca del Lago Titicaca es muy diferente a la normalmente conocida. La gestión de los recursos así identificados no se discute pues en ella ya intervienen otras consideraciones de planificación hidráulica y políticas, que no son materia del presente trabajo.

## **1.0 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA**

La cuenca del Lago Titicaca en sí, es una componente de un amplio sistema hidrográfico endorreico de gran altitud (3,800.00m.s.n.m.) entre las Cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, denominado TDPS, conformado por los subsistemas Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poopó y lagos salares de Coipasa.

Este sistema comprende territorios de Perú y Bolivia fundamentalmente y algo de Chile. (Ilustración N° 01).

Todo el sistema está ubicado geográficamente de Norte a Sur entre las latitudes Sur 14°03' a 20°00'; y de Este a Oeste entre las Longitudes Oeste 66°21' á 71°07'.

La superficie total del sistema es de aproximadamente 144,000.00Km<sup>2</sup>, con la distribución siguiente:

- a) Lago Titicaca : 56,400.00 Km<sup>2</sup>.
- b) Río Desaguadero : 29,800.00 Km<sup>2</sup>.
- c) Lago Poopó : 24,800.00 Km<sup>2</sup>.
- d) Salar de Coipasa : 33,000.00 Km<sup>2</sup>.

En el presente trabajo donde se tocarán algunas apreciaciones acerca del potencial de aguas subterráneas de la cuenca del Lago Titicaca, se ha considerado sólamete la red hidrográfica del Lago Titicaca de territorio peruano; por lo tanto, no abarca toda su área, pero si la mayor parte. Así, se han delimitado 08 subcuencas, con 02 pequeñas intercuencas y parte de la cuenca del Maure con las numeraciones 5a, 6a, y 8a respectivamente, en la Ilustración N° 02, haciendo un total de 44,287.00Km<sup>2</sup>. El Lago Titicaca tiene una superficie media de 8,400.00Km<sup>2</sup>, cota media 3,810m.s.n.m., volúmen medio 930,106.00 Hm<sup>3</sup>, longitud media 176.00Km., ancho máximo 70.00Km y profundidad máxima 283.00m.

## **2.0 CONSIDERACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS**

Para la estimación de las reservas de aguas subterráneas de la cuenca del Lago Titicaca, se han tomado en cuenta solamente las subcuencas en territorio peruano (Ilustración N° 02), y de ellas se han tomado las principales que cuentan con información hidrológica e hidrogeológica.

Así, de los 44,287.00Km<sup>2</sup> inventariados en la Ilustración N° 02, en el cuadro de estimación de las reservas (Cuadro N° 01), se ha considerado 38,884.00Km<sup>2</sup>, o sea, el 88% aproximadamente. Del área de cuenca de cada río, se ha considerado sólo un porcentaje de ella como área acuífera o de campos de bombeo potenciales: las partes bajas planas de acuerdo a la geomorfología específica de las respectivas sub-cuencas (15,462.00Km<sup>2</sup>, que representan en promedio el 40% del área total); pues aunque toda la cuenca del Lago Titicaca se encuentra dentro de la gran unidad geomorfológica Altiplano, parte importante de su área la ocupan zonas altas de volcánicos terciarios y cuaternarios y rocas sedimentarias cretácicas de calizas y terciarias de areniscas, que no conforman acuíferos, pero si intervienen en su funcionamiento captando la recarga y permitiendo su paso a las partes bajas por fracturamiento.

En la ilustración N° 03 se presenta un esquema de la configuración tipo de los embalses subterráneos de la cuenca del Lago Titicaca. En él se puede apreciar que las variaciones estacionales del nivel estático del agua subterránea que conforman el flujo base de los ríos en estiaje, es muy pequeña (5.00m. como máximo teniendo en cuenta la topografía llana del Altiplano), respecto del espesor promedio mínimo de los acuíferos de las partes bajas de 40.00m., constituidos por antiguos rellenos aluvionales digitados con sedimentación lacustrina; salvo en la cuenca alta del río Ilave, zona Huenque, en la que el acuífero está constituido por formaciones del Terciario, Capillune y Maure, de grandes espesores mayores a 200m. en promedio.

Se han preparado hidrogramas de los principales ríos, descomponiendo los componentes aguas superficiales – aguas subterráneas; en los que se puede apreciar que el aporte de las aguas subterráneas a la escorrentía de la cuenca es del orden de 30%, conformando su flujo base; lo cual indica que la recarga efectiva natural plurianual al reservorio es del mismo orden.

Si comparamos este aporte del 30% con las oscilaciones del nivel estático del agua subterránea, que tan solo representan como máximo el 10% del volumen del reservorio acuífero, se comprenderá fácilmente la importancia de las reservas existentes.

En las ilustraciones N° 06 y 07 se muestran algunas curvas de rendimientos de pozos perforados en diferentes subcuencas, las que nos dan una idea aproximada de los descensos en bombeo, con lo que estimaremos que los 2/3 del reservorio serían económicamente explotables, conformando las reservas reguladoras o vivas.

Para completar el modelo de cálculo de estimación de las reservas se ha establecido una asignación del valor del coeficiente de almacenamiento por cuencas basado en la información de las pruebas de rendimiento mencionadas, asociando en forma genérica muy simplificada, que bajos caudales corresponden a bajas transmisividades y bajos coeficientes de almacenamiento, partiendo de la premisa que los acuíferos se encuentran en rellenos cuaternarios de poco espesor e influenciados por sedimentos finos lacustres, salvo en la cuenca alta del río Ilave, zona Huenque, como ya se mencionó, donde el acuífero es de mayores espesores correspondientes a las formaciones Capillune y Maure del Terciario.

De otro lado, hay que tener en cuenta que es completamente factible que las reservas reguladoras o vivas puedan ser explotables sin afectar en forma inmediata su aporte a los ríos o flujo base, considerando el doble efecto de inercia existente en la explotación de aguas subterráneas: primero, el progresivo consumo de las reservas renovables constituídas por la recarga natural; y segundo, el progresivo y no rápido incremento de los radios de influencia con el bombeo prolongado, hasta que alcancen a los propios ríos (Ilustración N° 03).

### **3.0 DISCUSION DE RESULTADOS**

En el Cuadro N° 01 se han estimado las reservas de aguas subterráneas de la cuenca del Lago Titicaca, por subcuencas.

Del área total de la cuenca, 56,000.00Km<sup>2</sup>, descontando la superficie media del espejo de agua, 8,400.00Km<sup>2</sup>, quedan 47,900.00Km<sup>2</sup> como superficie continental. De ésta, se ha inventariado 44,287.00Km<sup>2</sup> como superficie en territorio peruano, de la cual se ha evaluado en el citado cuadro 38,884.00Km<sup>2</sup>, el 88%.

De las áreas de cada cuenca, se ha considerado entre el 40% y 50% como áreas acuíferas netas, salvo en la cuenca del río Huancané, donde se ha considerado solamente el 20% por tener su mayor superficie una topografía abrupta.

En el Cuadro N° 02 se muestra el balance hídrico de la cuenca del Lago Titicaca. En él se puede apreciar que se ha considerado el aporte de las aguas subterráneas como despreciable, respecto de los aportes totales y del orden del 2% respecto de la escorrentía; pero si observamos los hidrogramas de los ríos, se aprecia claramente que su aporte es del orden del 30% en promedio (Cuadro N° 03), apreciación completamente fiable, pues está basada en mediciones de las estaciones hidrométricas y no solamente en cálculos.

Asimismo, si analizamos la diferencia de este aporte entre el determinado mediante los hidrogramas y el considerado en el balance hídrico: 0.30 - 0.02, se da una diferencia de 28%, que sería aportada por la precipitación; consecuentemente podríamos pensar que alrededor de este orden de magnitud sería el coeficiente de infiltración de las precipitaciones, siendo por tanto, un valor similar la recarga efectiva a los reservorios acuíferos.

En el cuadro N° 01, se ha estimado, muy conservadoramente, que las reservas explotables de aguas subterráneas son del orden de 57,258.00Hm<sup>3</sup>, comparadas con el aporte de los ríos, del balance hídrico de 6,244.00Hm<sup>3</sup>, son casi 10 veces mayores; y si las comparamos con todos los aportes, menos los aportes freáticos del citado balance, que suman 13,974.00Hm<sup>3</sup>, son 4 veces mayores.

Por lo tanto, el potencial de aguas subterráneas es mucho mayor a lo que se ha venido manejando

hasta la fecha.

Así pues, se puede notar la importancia de las aguas subterráneas en el funcionamiento del sistema, así como de sus posibilidades de utilización; quedando establecidas también claras diferencias de apreciación en la cuantificación de los recursos y su disponibilidad.

Con que estas apreciaciones acerca del potencial de aguas subterráneas de la cuenca del Lago Titicaca, el más alto del mundo y más importante de Sudamérica, diferentes a las oficialmente consideradas por los organismos encargados de su estudio, hayan despertado el interés de la comunidad técnica y científica, habrá valido la pena el haber puesto a consideración este trabajo.

La discusión de su validez será una satisfacción mayor aún.