

Chr. Neumann-Redlin¹, S. Renner² & J. Torres³

Resúmen - El Valle Central de Cochabamba es una de las varias cuencas que se encuentran en la Cordillera Oriental de Bolivia. Tiene una superficie de 1150 km² y su base se encuentra a aprox. 2500 msnm. El espesor del relleno plio-pleistoceno varía entre 1445 m en el norte a menos de 100 m en el sureste del valle. Como el espesor también la composición del relleno sedimentario es muy variable. En general en el norte, al borde de la Cordillera, se encuentran formaciones fluviales con material grueso como arenas y gravas; en dirección sur los sedimentos se tornan más finos. En la cuenca existen miles de pozos perforados y excavados. En la parte central los pozos perforados tienen profundidades hasta 125 m y los caudales máximos alcanzan 30 l/seg. Tres pozos más profundos (hasta 550 m) han demostrado que la permeabilidad de los acuíferos y la calidad de sus aguas disminuye con la profundidad. Las aguas captadas de los acuíferos menos profundos en general son de tipo cálcico, magnésico bicarbonatado y aptas para todo uso.

Keywords - Hidrogeología, Pleistocénico, Bolivia

1 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA

El Valle Central de Cochabamba es uno de los varios valles que se encuentran en la Cordillera Oriental de Bolivia. Estos valles son geomorfológicamente cuencas intramontañas, rodeadas de relieves montañosos cuyas altitudes alcanzan 5.000 metros sobre nivel de mar. La cuenca de Cochabamba tiene una superficie de 1.150 km² y su base se encuentra a aprox. 2.500 m s.n.m.

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Stilleweg 2, 30655 Hannover, Alemania. Tel. : 0049 511 6432405, Fax: 0049 511 6433662, E-mail: chr.neumann-redlin@bgr.de

² Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Stilleweg 2, 30655 Hannover, Alemania. Tel. : 0049 511 6432324, Fax: 0049 511 6433689, E-mail: sven.renner@bgr.de

El clima en el valle es templado con una temperatura media anual de 17.5 °C. Las precipitaciones pluviales están limitadas a los meses de octubre hasta abril y varían entre 400 y 500 mm al año. Originalmente la vegetación fue arbórea arbustiva, pero esto cambió debido a que los suelos son fértiles y los esquemas de irrigación hacen posible cultivar cereales, hortalizas y muchas variedades de plantas frutales. La hidrografía de la cuenca está formada por el único río perenne, el Río Rocha que nace en la cuenca contigua de Sacaba (Fig. 1). Varios ríos intermitentes que nacen en la Cordillera al norte del valle echan sus aguas en el tiempo de lluvias al Río Rocha, que desagua por el sudoeste de la cuenca. La población en la llanura del valle ya es alta pero ésta es sobrepasada significativamente en los centros urbanos de las ciudades Cochabamba (aprox. 600.000 habitantes) y Quillacollo (aprox. 50.000 habitantes). Por lo tanto la demanda de agua potable y para irrigación es alta.

2 GEOLOGÍA

En los últimos 20 años varios estudios han investigado la situación geológica e hidrogeológica dentro del Valle Central de Cochabamba como entre otros el Proyecto PIRHC (GEOBOL-NNUU), el Proyecto Convenio Alemán - Boliviano de Aguas Subterráneas CABAS y las investigaciones del consorcio francés SEURECA-BRGM-SOGREAH. Según estos estudios el valle es una cuenca intramontaña, rodeada de relieve montañoso con afloramientos paleozoicos y cretácicos y un resultado de las deflexiones de la cadena de montaña y la formación de fallas de desplazamiento de rumbo.

Investigaciones geofísicas mediante el método audiomagnetelúrico (BRGM et al, 1994) han indicado que el relleno plio-pleistoceno de esta cuenca varía entre menos de 100 m en el sudeste y más de 1.450 m en el norte del valle. La composición del relleno sedimentario es muy variable tanto vertical como horizontalmente. En general sobre el zócalo paleozóico yacen formaciones lacustres y fluvio-lacustres de gran espesor. Sobre esta parte profunda la litología en las diferentes partes del valle se desarrolla en forma diferente. En la parte septentrional los depósitos están constituidos por materiales gruesos como bloques y gravas con matriz arenosa o areno-arcillosa. Hacia el centro de la cuenca, los depósitos aluviales se tornan más evolucionados con los granos mejor clasificados y los depósitos aparecen gradualmente más finos como arenas con intercalaciones de horizontes arcillosos. Estos niveles arcillosos se presentan en forma de lentejones y no de capas continuas. Por último, en su parte meridional y

³ Departamento de Hidrogeología, SERGEOMIN. Parque Mariscal Santa Cruz (La Chimba), Av. Kilómetro 7, Cochabamba, Bolivia, Fax: 00591 4 281497

particularmente en su sector sureste, el relleno sedimentario del valle está constituido por limos a gravas, por limos arenosos o limos arcillosos (BRGM et al, 1994).

Para el aprovechamiento de las aguas subterráneas tienen mayor importancia los grandes abanicos ubicados en el parte septentrional del valle que los rios han formado durante el último estadal glacial.

3 HIDROGEOLOGÍA

3.1 Características hidráulicas

Con la litología de los depósitos pleistocénicos a holocénicos varía la productividad y la distribución de los acuíferos en cortas distancias. En general en la parte norte del valle con depósitos gruesos de los abanicos, las transmisividades sobrepasan $400 \text{ m}^2/\text{d}$ (Fig. 1). En dirección sur las transmisividades disminuyen hasta menos de $9 \text{ m}^2/\text{d}$ en la meseta en el sureste de la ciudad de Cochabamba con sedimentos finos lacustres. La mencionada variabilidad de los acuíferos se manifiesta en el perfil del pozo „El Paso 1“ (Fig. 2) con una profundidad de 550 m. En la litología de los sedimentos se encuentra un cambio frecuente entre depósitos arcillosos a arenosos y gravas.

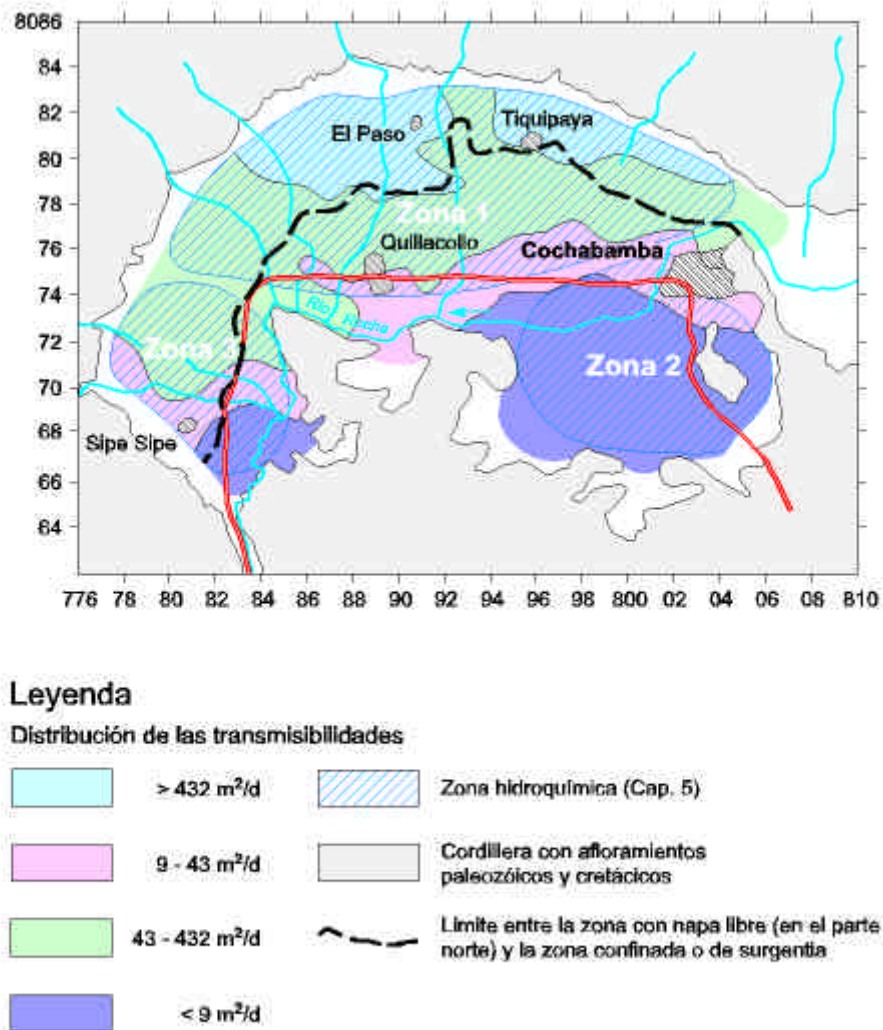


Fig. 1 Situación hidrogeológica del Valle Central de Cochabamba

3.2 Niveles estáticos

El flujo general de las aguas subterráneas está orientado hacia el centro de la cuenca, perpendicularmente a los límites del valle. La recarga sucede mayormente en una franja ubicada en el borde norte del valle por infiltración de las aguas superficiales que provienen de la cordillera. Especialmente en los abanicos aluviales, la permeabilidad es alta, lo que permite que el 20% - 25% de la precipitación pluvial se infiltre (GEOBOL & NNUU, 1978). En estas regiones de recarga la napa del agua subterránea es freática (Fig. 1). Más al sur, la superficie piezométrica cambia a condiciones confinadas por la existencia de capas superficiales arcillosas y relativamente continuas, de espesores que

varían entre 10 y 30 m. Estas condiciones de aguas subterráneas confinadas se demuestran en varios pozos surgentes, fuentes y zonas pantanosas donde las aguas subterráneas afloran en la superficie.

Las fluctuaciones piezométricas durante el año hidrogeológico varían entre aproximadamente 20 m en la zona de recarga y menos de 1 m en la zona sur o zona de descarga. A pesar de las grandes cantidades de agua subterránea que son extraídas del valle, en los últimos años el nivel piezométrico en la cuenca en general no ha bajado. Solamente en algunos lugares con una explotación intensa a través de los pozos, la productividad sobrepasa la recarga lo que se manifiesta en una depresión local del nivel estático.

3.3 Productividad de pozos

En el Valle Central existen miles de pozos perforados y excavados. Profundidades y caudales varían dependiendo su ubicación. En general los caudales en la parte central alcanzan a 30 l/s con profundidades hasta 125 m. En dirección sur estos valores disminuyen.

En el valle tres pozos fueron perforados con profundidades de más de 200 m (SEMAPA, 1997). Figura 2 muestra el perfil de pozo El Paso I con una profundidad de 550 metros. En la litología de los sedimentos se encuentra un cambio rápido entre capas arcillosas a arenosas y depositos de gravas.

Los rendimientos de estos pozos muy profundos no sobrepasan significativamente los caudales de los pozos que explotan los acuíferos más someros. La permeabilidad disminuye con la profundidad debido a la intercalación de depósitos arcillosos con capas de arena y grava que evitan una recarga de los acuíferos profundos (Fig.2). En el pozo El Paso I se ha realizado un muestreo de agua extraída a profundidades mayores a 186 m para un análisis isotópico. La determinación de un edad de aprox. 18.000 años a través

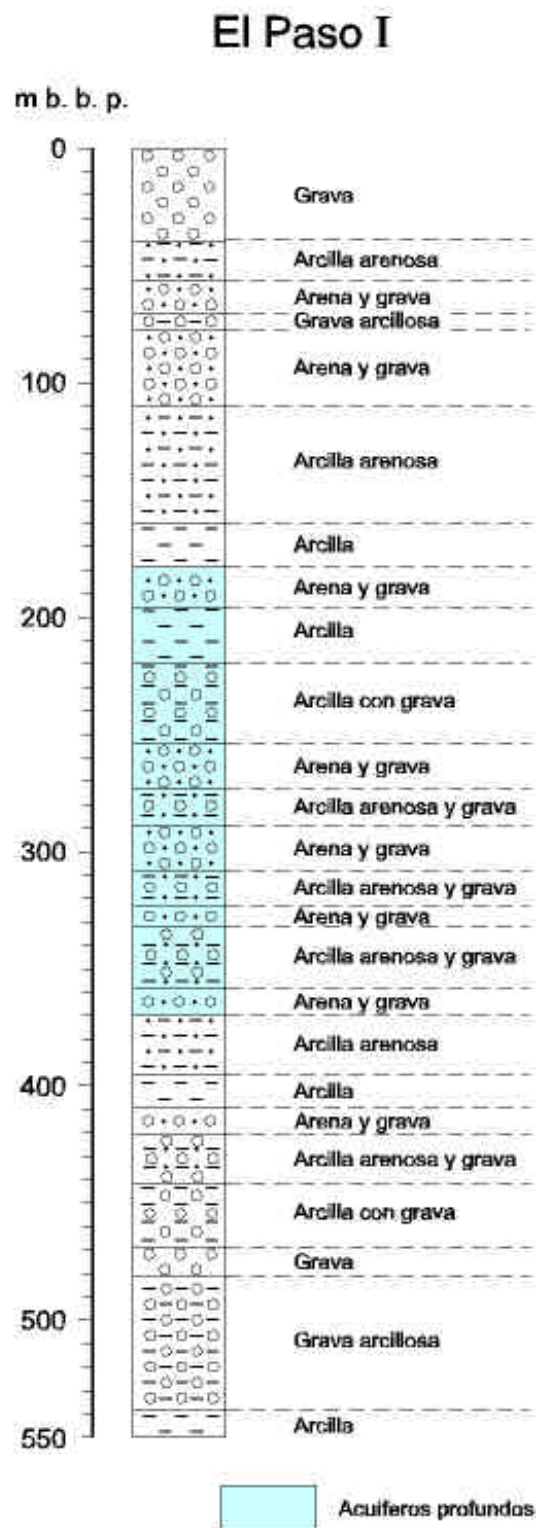


Fig. 2 Perfil litológico del pozo profundo El Paso I

del contenido de ^{14}C ha confirmado que estas aguas son antiguas debido a la baja permeabilidad causando flujos muy lentos en estas zonas profundas a pesar de que se encuentran dentro de la zona de recarga.

3.4 **Balance hídrico**

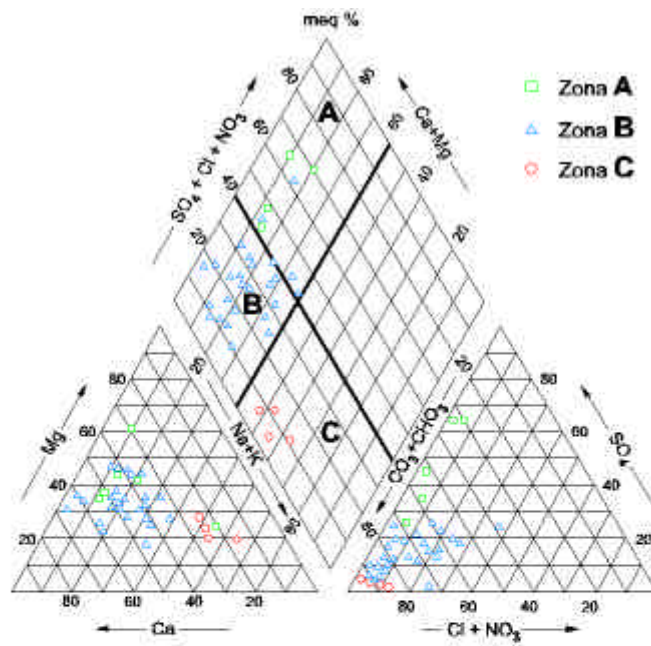
Se realizaron diferentes intentos para cuantificar el caudal absoluto de aguas subterráneas que entran y salen del Valle Central de Cochabamba (GEOBOL & NNUU, 1978; BRGM et al, 1994). A continuación los datos de MERCADO CONSULTANTS (1996) nos muestran el balance de aguas subterráneas de la cuenca. De acuerdo a este estudio el caudal de ingreso total se compone de la infiltración de agua superficial (41 mio m³/a), la precipitación (17 mio m³/a) y la reabsorción de las aguas de irrigación (8 mio m³/a) obteniendo una sumatoria de 66 mio m³/a. El flujo de salida de agua subterránea se encuentra en el mismo rango y esta compuesto de los caudales de la extracción de pozos (49 mio m³/a) evapotranspiración de los pantanos (11mio m³/a) y salidas superficiales por los rios (6 mio m³/a).

4 **HIDROQUÍMICA**

En el Valle Central de Cochabamba las aguas subterráneas están clasificadas en tres grupos hidroquímicos, que se encuentran en tres zonas diferentes del valle (Figs. 1 y 3). Según DIAZ et al (1995) las aguas subterráneas de la zona 1 corresponden a la parte norte donde se encuentran las zonas de recarga y a la parte central de la cuenca. Por lo tanto, las aguas pueden ser clasificadas como aguas cálcicas-magnésicas bicarbonatadas. Las conductividades eléctricas en general son bajas en la cuenca y varían entre 113 y 394 µS/cm. Normalmente estas aguas son aptas para todo uso.

Las aguas de la zona 2 en el sureste del valle tienen características sódicas bicarbonatadas con conductividades eléctricas entre 477 - 580 µS/cm. En esta zona se encuentran acuíferos pleistocénicos a holocénicos en sedimentos en sustancia lacustres con permeabilidades bajas. Un intercambio iónico entre los sedimentos y aguas es la causa para la presencia elevada de sales disueltas y condiciones reductoras han aumentado las concentraciones de hierro y manganeso, produciéndose una reducción del sulfato a H₂S.

La zona 3 se encuentra al oeste de la cuenca de Cochabamba. Las aguas subterráneas son caracterizadas por un incremento en la concentración de sulfato, causada por los afloramientos cretácicos en las cercanías de la cordillera vecina, compuestos por rocas calcáreas, arcillas con abundante contenido de yeso. En base de su composición iónica las aguas de la zona 3 son clasificadas como aguas cálcicas-magnésicas sulfatadas. La conductividad eléctrica varía entre 252 µS/cm y 2100 µS/cm.



Clasificación de los tipos de agua

- A** = Aguas cálcicas, magnésicas sulfatadas, cloruradas
- B** = Aguas cálcicas, magnésicas bicarbonatadas
- C** = Aguas sódicas bicarbonatadas

Fig. 3 Composición química de aguas subterráneas en las diferentes zonas del Valle Central de Cochabamba (Fig. 1)

5 MANEJO DEL RECURSO AGUA

El sistema de agua subterráneas en el Valle Central presenta un rico reservario de agua dulce, que hasta el presente constituye la fuente de agua más importante para consumo humano y para riego. Hasta el día de hoy, el acuífero se ha aprovechado sin que muestre síntomas de deterioro a gran escala. Sin embargo es de suponer, que con el esperado crecimiento poblacional, la demanda aumentará sobre el rendimiento del recurso de aguas sbterraneás. Ya hoy día en varias zonas del valle se han creado conflictos de interes y demanda relacionadas al recurso de agua. Para evitar el deterioro por daños que difícilmente son remediables, resulta recomendable aprovechar los recursos de forma ordenada mediante un plan de explotación. Aunque todavia no existe un ley de agua en Bolivia existe la necesidad de un marco regulario y una entidad que fiscalize los reglamentos para llegar a un aprovechamiento sostenible de los recursos de aguas subterráneas.

6 REFERENCIAS

- BRGM – SEURECA – SOGREAH (1994): Estudio de recursos subterráneos, macromedición y reducción de pérdidas de agua cruda y plan maestro de telemetría para la ciudad de Cochabamba. - SEMAPA, informe no publicado: tomos 1-4; Cochabamba, Bolivia
- DÍAZ, J., RAMÍREZ, I. & ZAEPKE, M. (1995): Hidrogeoquímica del Valle Central de Cochabamba. – Proyecto CABAS, Informe Técnico, **33**: 13 P.; Cochabamba, Bolivia
- GEOBOL & NNUU (1978): Informe del Proyecto Integrado de Recursos Hídricos en Cochabamba. – PIRHC, Departamento de Hidrogeología de SERGEOMIN; Cochabamba, Bolivia
- HUARANCA, R. & NEUMANN-REDLIN, CHR. (1997): Mapa Hidrogeológico de Bolivia 1 : 250 000, Hoja Cochabamba con Memorias explicativas. - Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería, **12**: 75 P.; La Paz, Bolivia
- MERCADO CONSULTANTS (1996): Preliminary assessment of groundwater resources in the Valley Alto and evaluation of previous estimates of groundwater potential in the Valley of Cochabamba. – SEMAPA, informe no publicado; Cochabamba, Bolivia
- RENNER, S. & VELASCO, C. (2000): Geología y Hidrogeología del Valle Central de Cochabamba. – Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), en prensa; La Paz, Bolivia
- SEMAPA (1997): Realización del pozo profundo El Paso I (Valle Central de Cochabamba) – Informe no publicado de finalización de obras y análisis hidrogeológico: 87 P. ; Cochabamba, Bolivia