

Métodos geofísicos para la determinación de la geometría de un acuífero con fines futuros de prevención de contaminación de agua subterránea: el caso del acuífero de El Paso, abanico aluvial de la Cuenca Chocaya

Geophysical methods for determining the aquifer geometry for further prevention of groundwater contamination: case study El Paso aquifer, alluvial fan of the Chocaya Basin

Andres Gonzales Amaya¹, Alfredo Durán Núñez del Prado², Daniel Aviles Ribera³

Correo de correspondencia: andres.g@umss.edu

Resumen

En los Valles de Cochabamba existe una fuerte presión sobre las aguas subterráneas. El caso del acuífero de El Paso (abanico aluvial de la cuenca Chocaya) es de interés particular. En esta zona una de las principales actividades es la agricultura, donde fuentes de agua subterránea son importantes para la irrigación. Sin embargo, en las últimas décadas el crecimiento urbano está amenazando las aguas subterráneas, no solamente con la sobreexplotación de estas, sino también con procesos de contaminación que deterioran la calidad de las aguas. Esta investigación utilizó métodos geofísicos para mejorar el conocimiento de la dinámica de aguas subterráneas mediante un modelo conceptual hidrogeológico del acuífero. Se utilizó un método Electromagnético (TEM) y Eléctrico (ERT) que permitió caracterizar el subsuelo hasta una profundidad de 150 m. Resistividades elevadas son correlacionadas a material grueso (bolones, grava y arena), mientras resistividades bajas están correlacionadas a material fino (arena arcillosa y arcilla). La delimitación de zonas con resistividades altas y medias, es decir material grueso con porosidad elevada, son de particular interés ya que son zonas de recargas de las aguas subterráneas y por tanto no deben ser afectadas por actividades antropogénicas.

Palabras clave: agua subterránea, geofísica, acuífero, sobreexplotación.

Abstract

In the Cochabamba Valleys, groundwater is under significant pressure. El Paso aquifer (an alluvial fan in the Chocaya basin) is of particular interest. Agriculture is a major activity in this area, where groundwater sources are crucial for irrigation. However, in recent decades, urban growth has threatened groundwater, not only through overexploitation but also through pollution that degrades water quality. This research employed geophysical methods to improve understanding of groundwater dynamics using a hydrogeological conceptual model of the aquifer. An electromagnetic (TEM) and electric method (ERT) was used to characterize the subsurface to a depth of 150 m. High resistivities are correlated to coarse material (boulders, gravel, and sand), while low resistivities are correlated to fine material (clayey sand and clay). The delimitation of areas with high and medium resistivities, that is coarse material with high porosity, is of particular interest since these are groundwater recharge zones and therefore should not be affected by anthropogenic activities.

Keywords: groundwater, geophysics, aquifer, over-exploitation.

1. Introducción

El Valle Central de Cochabamba, localizado en el centro de Bolivia y con una extensión aproximada de 500 km², históricamente fue considerado como una región fértil que ofrece condiciones ideales para el asentamiento humano y la producción agrícola. Sin embargo, en las últimas décadas, los centros urbanos del Valle Central de Cochabamba han comenzado a crecer de manera descontrolada y sin ninguna planificación territorial. En el año 1950 la población del Departamento de Cochabamba alcanzaba los 45000 habitantes, en el año 2019 la población superaba los dos millones de habitantes, la cual se concentra principalmente en el Valle Central y Alto de Cochabamba (INE, 2019).

¹Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
<https://orcid.org/0000-0002-6292-7587>

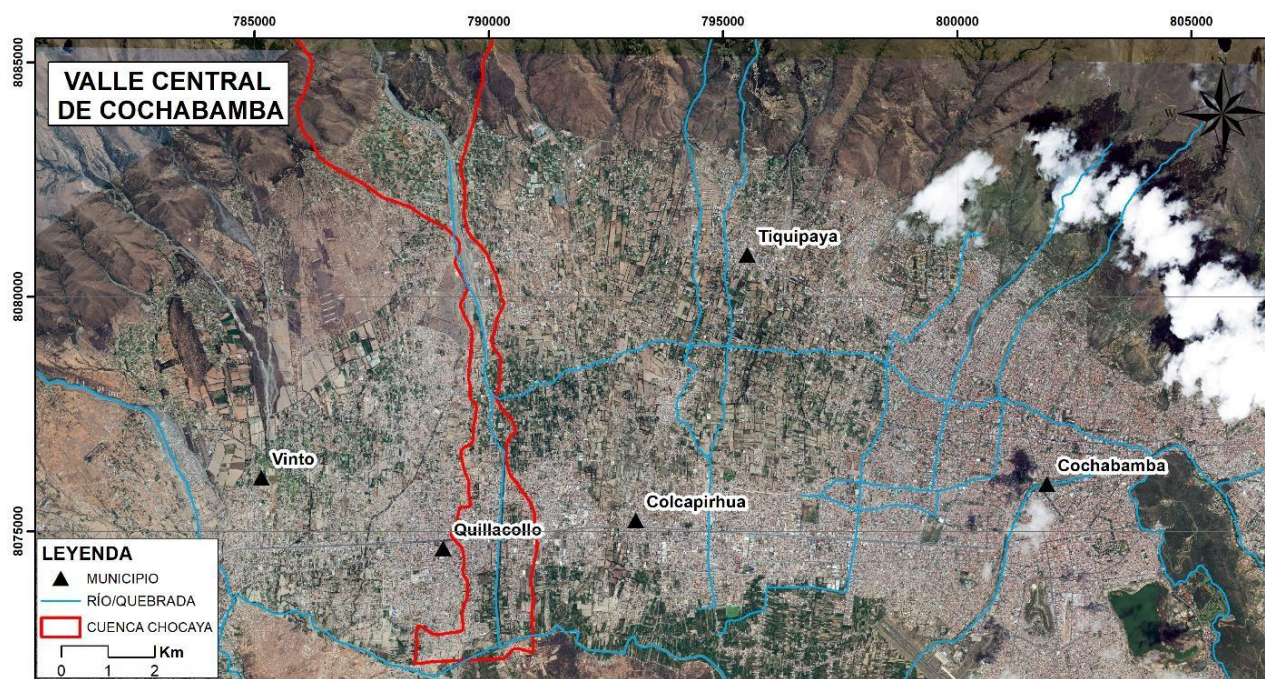
²Centro Agua, Universidad Mayor de San Simón, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
<https://orcid.org/0009-0009-8491-6887>

³Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
<https://orcid.org/0000-0002-8282-6476>

En el Valle Central de Cochabamba entre los años 1962 y 2016 la mancha urbana creció 170 km², mientras que las tierras agrícolas se redujeron de 430 km² en el año 1962 a 260 km² en el año 2016. Las proyecciones para el año 2035 es que más de 58% del Valle Central estará ocupado por la mancha urbana (De La Fuente and Cabrera, 2016). En el Valle Central, las áreas urbanas se expandieron hacia las zonas próximas a los ríos (i.e. playas de inundación y abanicos aluviales) que descienden de la Cordillera del Tunari y zonas próximas a los ríos que cruzan el Valle (i.e. Río Rocha y Río Tamborada). Estas zonas son consideradas áreas principales para la recarga de acuíferos. La imagen satelital del Valle de Cochabamba ver Figura 1 muestra que la mayoría de los centros urbanos crecieron hacia el norte, donde se ubican abanicos aluviales y tierras agrícolas.

Figura 1

Valle Central de Cochabamba. La parte baja de la cuenca Chocaya es mostrada en borde rojo



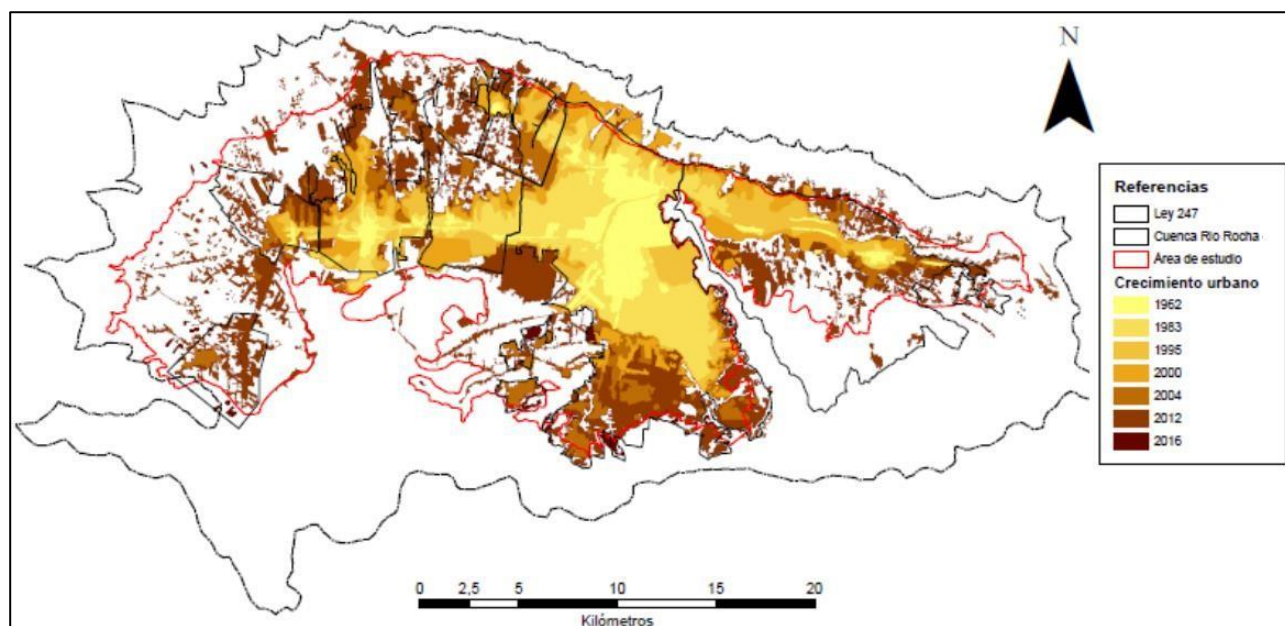
Los abanicos aluviales ubicados en esa zona norte del Valle Central constituyen la salida de las cuencas de la Cordillera Oriental hacia el Valle Central. La cuenca Chocaya es una de las cuencas más grandes del Valle Central, con una extensión aproximada de 99 Km², que incluye la parte alta y abanico aluvial. A través de los siglos el río Chocaya ha conformado un abanico aluvial desde la salida de la cuenca alta hasta la parte media del Valle Central, más concretamente en la zona de El Paso. El abanico aluvial de Chocaya consistente en un conjunto de terrazas aluviales sobrepuestas unas a otras y caracterizadas por su material grueso con una interdigitación de materiales finos. Bull (1964) indica que los abanicos aluviales se caracterizan por sus suelos francos y su naturaleza permeable, lo cual los hace aptos como áreas de recarga de aguas subterráneas.

Estudios previos (Renner and Velasco, 2000; UNDP-GEOBOL, 1978), muestran que las terrazas del abanico aluvial de la cuenca Chocaya constituyen parte de un sistema acuífero de grandes dimensiones tanto en espesor como en extensión lateral. Sin embargo, debido a las restricciones propias de los estudios realizados anteriormente, no se ha podido aun determinar con precisión la estructura geométrica del sistema de acuíferos, ni tampoco establecer con precisión las características hidrogeológicas del acuífero de El Paso.

Por otro lado, la limitada capacidad de los municipios de Cochabamba para regular la expansión urbana, ha llevado a que la mayoría de los abanicos aluviales al norte y noreste del Valle Central de Cochabamba ya estén parcialmente o completamente urbanizados. Solo pequeños sectores de estos abanicos aluviales aún se dedican a actividades agrícolas. La Figura 2 muestra el crecimiento urbano en el Valle Central (delimitado por el borde de color rojo) desde el año 1952 hasta el año 2016. Se puede distinguir que las zonas libres aun de urbanización están localizadas en el noroeste y oeste del Valle Central, mientras que el sur, centro y noreste están casi completamente urbanizadas.

Figura 2

Crecimiento urbano en la región metropolitana del Valle Central de Cochabamba. El Valle Central está delimitado por el borde color rojo. Modificado de De La Fuente and Cabrera (2016)



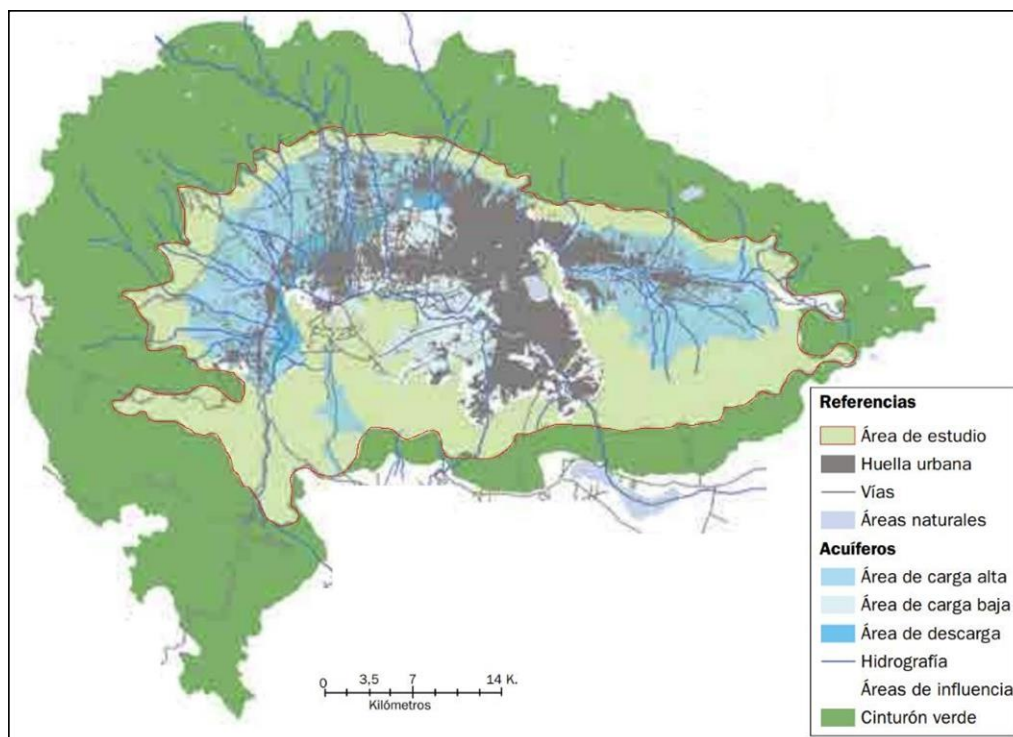
Este crecimiento en la población, y consecuentemente de la mancha urbana, crea una gran demanda de agua para las actividades sociales y económicas. Siendo el agua superficial un escaso recurso natural en el Valle Central, las aguas subterráneas se convirtieron en el paliativo para la demanda de agua de la población. Consecuentemente, y debido a una débil gestión/control de los municipios, se perforan pozos profundos de agua indiscriminadamente a lo largo y ancho del Valle Central. En la zona de El Paso en particular, justo a la salida de la cuenca Chocaya, no solo hay pozos para consumo local, sino que está localizada las principales baterías de pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de Cochabamba.

Como consecuencia del rápido crecimiento urbano y de la explotación de aguas subterráneas, el nivel freático en estas áreas y hacia el sur ha disminuido de forma paulatina pero constante. La Figura 3 muestra la mancha urbana (áreas grises) en el Valle Central del año 2012 y las zonas de recarga de acuíferos (zonas azules/celestes). La superposición de la mancha urbana sobre las zonas de recarga de acuíferos está coadyuvando al descenso de niveles freáticos mencionado anteriormente. Más aun, se puede evidenciar que actualmente solo la zona noroeste y oeste del Valle Central aún pueden tener procesos de recarga natural de acuíferos debido a la ausencia de urbanizaciones. Según el estudio del BID (2013), el año 2012 aproximadamente el 40% de las zonas de recarga de los acuíferos ya fueron ocupadas por la huella urbana, y según las proyecciones del mismo estudio para el año 2036 cerca de un 70% de las zonas de recarga de los acuíferos estarán cubiertas por la mancha urbana. Por otro lado, algunos de los torrentes que descenden de la zona montañosa han causado severas pérdidas económicas, humanas y materiales en

los asentamientos urbanos localizados en las orillas de estos torrentes. Riadas y flujo de lodos se volvieron recurrentes, en especial en el río Taquiña, a consecuencia de la actividad antrópica como la alteración de cursos de los ríos, estrechamiento de los canales y la urbanización descontrolada en las playas de inundación (Tames, 2020).

Figura 3

Mancha urbana y zonas de recarga de acuíferos en el Valle Central de Cochabamba. Modificado de BID (2013).



Pese a la preocupante ocupación de las zonas de recarga de agua subterránea alrededor de los cursos de ríos y abanicos aluviales, aún persiste un desconocimiento sobre la ocurrencia y los procesos relacionados con este recurso natural, tanto a nivel político y técnico, así como en el público en general. Como no se tiene claridad sobre la estructura del acuífero y sus características, tampoco existe una comprensión sobre la dinámica de los procesos de recarga y descarga subterránea y su relevancia para la región.

Desde esta perspectiva, el presente documento tiene como objetivo presentar un modelo conceptual preliminar del acuífero de El Paso. Este modelo fue elaborado a partir de los resultados de estudios de Geofísica e información geológica existente. Los trabajos realizados en esta investigación fueron ejecutados mediante personal del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Mayor de San Simón (LHUMSS). El modelo obtenido en esta investigación facilitará la representación tanto de la estructura como del funcionamiento del acuífero. En una segunda parte del artículo se hace un análisis de los riesgos y procesos que afectan la sostenibilidad del acuífero de Chocaya como una de las principales fuentes de agua dulce del Valle Central, dadas las tendencias prevalecientes de uso del suelo y explotación de aguas subterráneas. Se concluye con un análisis para proponer una base conceptual y metodológica discutida y concertada con entidades públicas y actores locales a fin de establecer una estrategia conjunta de sostenibilidad.

El proyecto mediante el cual se realizó este artículo no contaba con muchos recursos económicos, por tanto, actividades complementarias e importantes como recopilación de muestras de agua y análisis físicoquímicos e

isotópicos no se realizaron. Por restricciones de tiempo, tampoco se pudo realizar un monitoreo de niveles piezométricos en la zona de estudio. De igual forma fue difícil conseguir permiso de los dueños de terrenos para ingresar a los predios y realizar los ensayos geofísicos, por tanto, solo se trabajó en una determinada zona de la cuenca de Chocaya.

2. Metodología

Se planteó determinar la geometría del sistema de acuíferos y la extensión de las llanuras aluviales históricas en el abanico aluvial de la cuenca Chocaya. Estas tareas fueron elaboradas principalmente a través de la aplicación de métodos geofísicos como soporte para el paulatino desarrollo de un modelo conceptual y matemático del acuífero, y así analizar los factores críticos de la vulnerabilidad del acuífero. Las planicies aluviales son consecuencia de la progresiva deposición de sedimentos provenientes de las cuencas de aporte y el tipo de material que se deposita depende en gran medida de las condiciones pluviales prevalentes en un año o un periodo de tiempo determinado. En años secos, material fino será depositado de forma predominante, mientras que en años de elevada precipitación la tasa de escorrentía aumenta significativamente y por ende los caudales y el material arrastrado y depositado será de mayores dimensiones.

Con esa finalidad de determinar las extensiones de los diferentes materiales geológicos, durante el año 2019, se realizaron una serie de Tomografías Eléctricas de Resistividad (TER) con un Terrameter LS-2 a lo largo y ancho del abanico aluvial de El Paso. Adicionalmente se utilizó el método geofísico electromagnético en Dominio del Tiempo (TEM) con un equipo WalkTEM. El arreglo de los sondeos TEM utilizó una antena transmisora de 40x40 m y una antena receptora de 10x10 m. Mientras que los sondeos TER utilizaron una separación de electrodos de 10 m, con longitudes de línea mayor a los 800 m y se aplicó el arreglo Gradiente XL. Los sondeos TEM en general alcanzaron profundidades mayores a los 120 m, mientras que las líneas TER alcanzó profundidades de aproximadamente 100 a 120 m. Se realizó un total de 30 puntos de sondeos TEM y un total de tres líneas TER ver Figura 4.

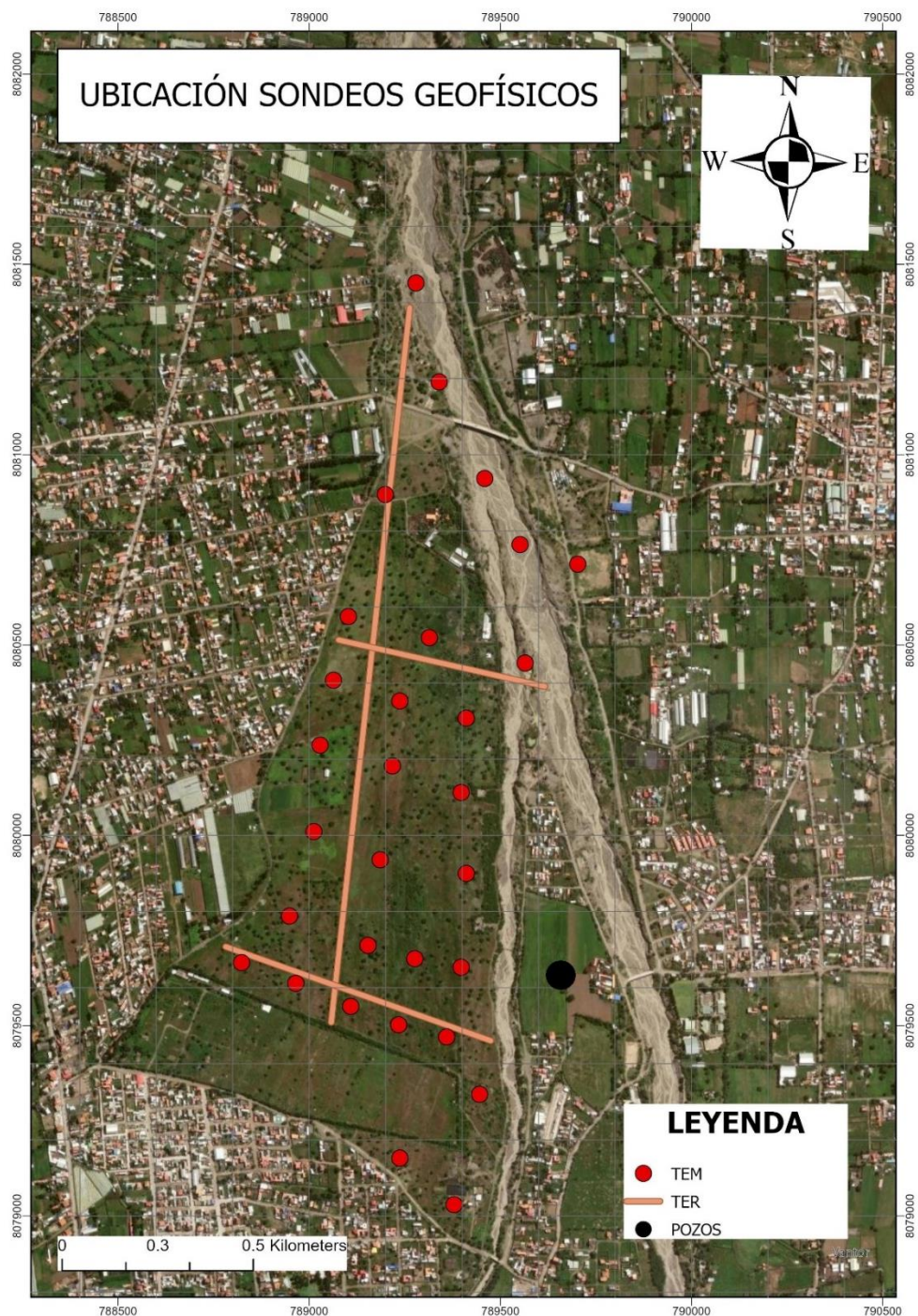
El tipo de material depositado en las terrazas aluviales se puede correlacionar con rangos de valores de resistividad eléctrica. Mientras el material fino presenta típicamente valores de resistividad por debajo de los 200 Ω m, el material grueso presenta valores de resistividad eléctrica mucho mayor. Sin embargo, es necesario contar con información insitu (e.g. reportes litológicos de pozos) para poder validar e interpretar correctamente los valores de resistividad eléctrica. La Figura 5 presenta valores de resistividad característicos de diversos materiales del suelo.

Esta diferenciación de la resistividad eléctrica entre diferentes materiales geológicos permite, mediante la aplicación de métodos de Geofísica, la caracterización de la estructura de los acuíferos en diferentes formaciones hidrogeológicas, entre ellas los abanicos aluviales. Al contar con la estructura de los acuíferos y el subsuelo se podrá mejorar el entendimiento de como acontecieron las inundaciones históricamente, facilitando la correspondiente cartografía litológica como paso fundamental para la elaboración de un modelo conceptual del acuífero en cuestión.

Los estudios geofísicos realizados, fueron complementados con información litológica de pozos cercanos (en particular el pozo CB 49, ver ubicación en Figura 4) y otros estudios ya existentes sobre la Hidrogeología del Valle Central (Renner and Velasco, 2000), permitieron la caracterización de la litológica del acuífero de Chocaya, tal cual se describe a continuación. La correlación y posterior caracterización litológica se hace mediante la comparación de que material existe a una dada profundidad (del informe litológico del pozo) y que resistividad existe a esa profundidad.

Figura 4

Ubicación de los ensayos geofísicos tipo TEM y TER en la zona de estudio

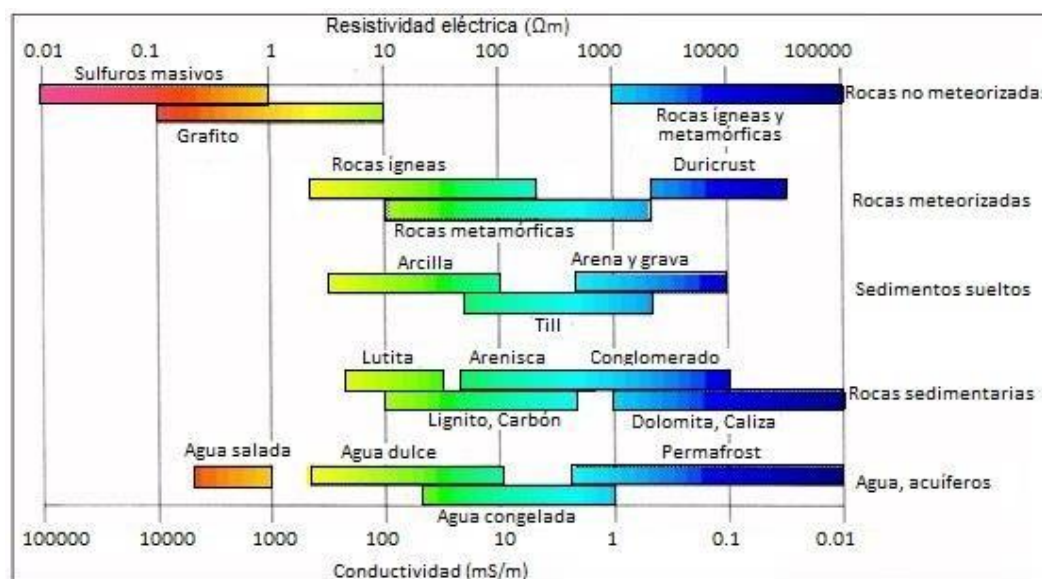


Por otra parte, también se realizó visitas a distintos sectores de la cuenca Chocaya, se recopiló y revisó documentación y estudios previos en la zona de estudio. Paralelamente se discutió con técnicos del Gobierno Autónomo Departamental (GAD), expertos y técnicos municipales, e inclusive con pobladores locales sobre la problemática de la cuenca Chocaya y en particular sobre las aguas subterráneas almacenadas en el acuífero.

Con toda la información recopilada y generada se ha podido realizar una primera evaluación de los factores de riesgo y los procesos que coadyuvan al deterioro del acuífero y a la progresiva disminución de la recarga de agua subterránea. Con estos insumos, en la segunda parte del documento, se discuten tales procesos y se plantea un marco referencial para futuras investigaciones en aguas subterráneas desde una perspectiva holística e interdisciplinaria, en el entendido de que es completamente necesario el análisis pormenorizado de la situación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas en la región metropolitana del Valle Central de Cochabamba para definir acciones consistentes de corto, mediano y largo plazo.

Figura 5

Rango de valores de resistividad eléctrica para distintos materiales geológicos. Modificado de UBC (2021)



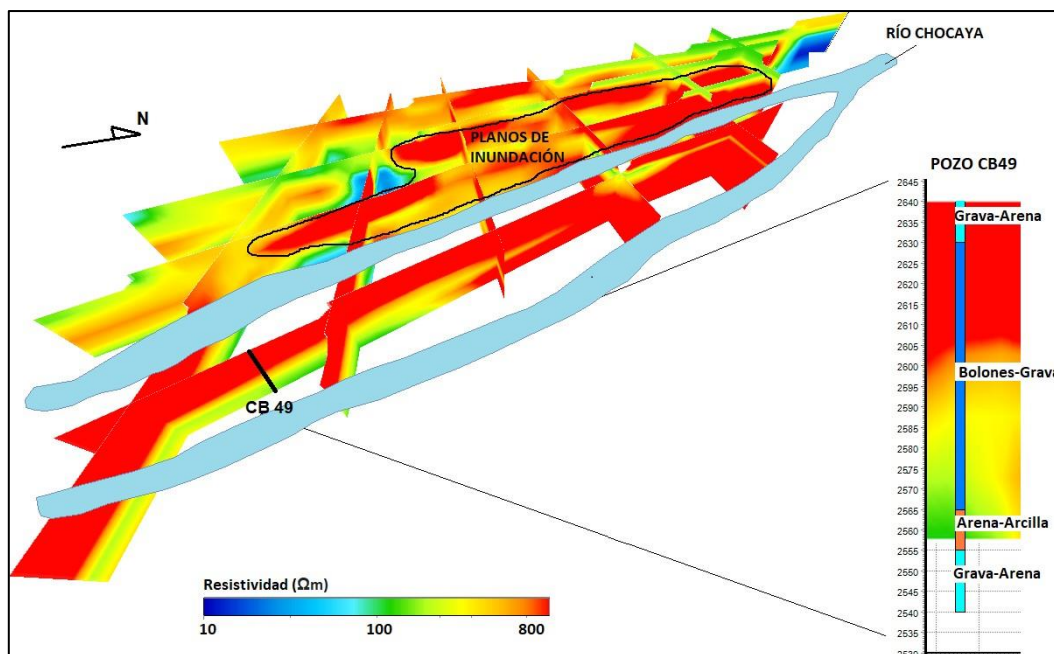
3. Resultados

Los resultados geofísicos de las tomografías y su interpretación muestran que hay una gran predominancia de depósitos de material fluvial grueso los cuales están correlacionados a valores altos de resistividad eléctrica (Figura 6). Este material grueso se encuentra depositado a lo largo del cauce del río Chocaya. Inclusive, los altos valores de resistividad se extienden más allá del cauce del río, hacia el Oeste, indicando nuevamente la deposición de material grueso probablemente depositado por riadas en un cauce antiguo del río. En consecuencia, el mapeo de estos sectores de alta resistividad cercanos a los canales del río indica la extensión de las llanuras aluviales.

La Figura 6 clarifica la predominancia de material grueso, característico en abanicos aluviales de cuencas de montaña de grandes dimensiones y que generan elevada escorrentía en episodios de alta precipitación, lo cual a su turno provoca riadas o avenidas que conducen material erosionado de las partes altas. Este material está formado principalmente por bolones, grava y arenas gruesas que son depositadas en el trayecto de las partes altas del abanico aluvial, mientras que el material más fino es transportado aguas abajo debido a su menor masa y tamaño y son depositados en las partes bajas del abanico.

Figura 6

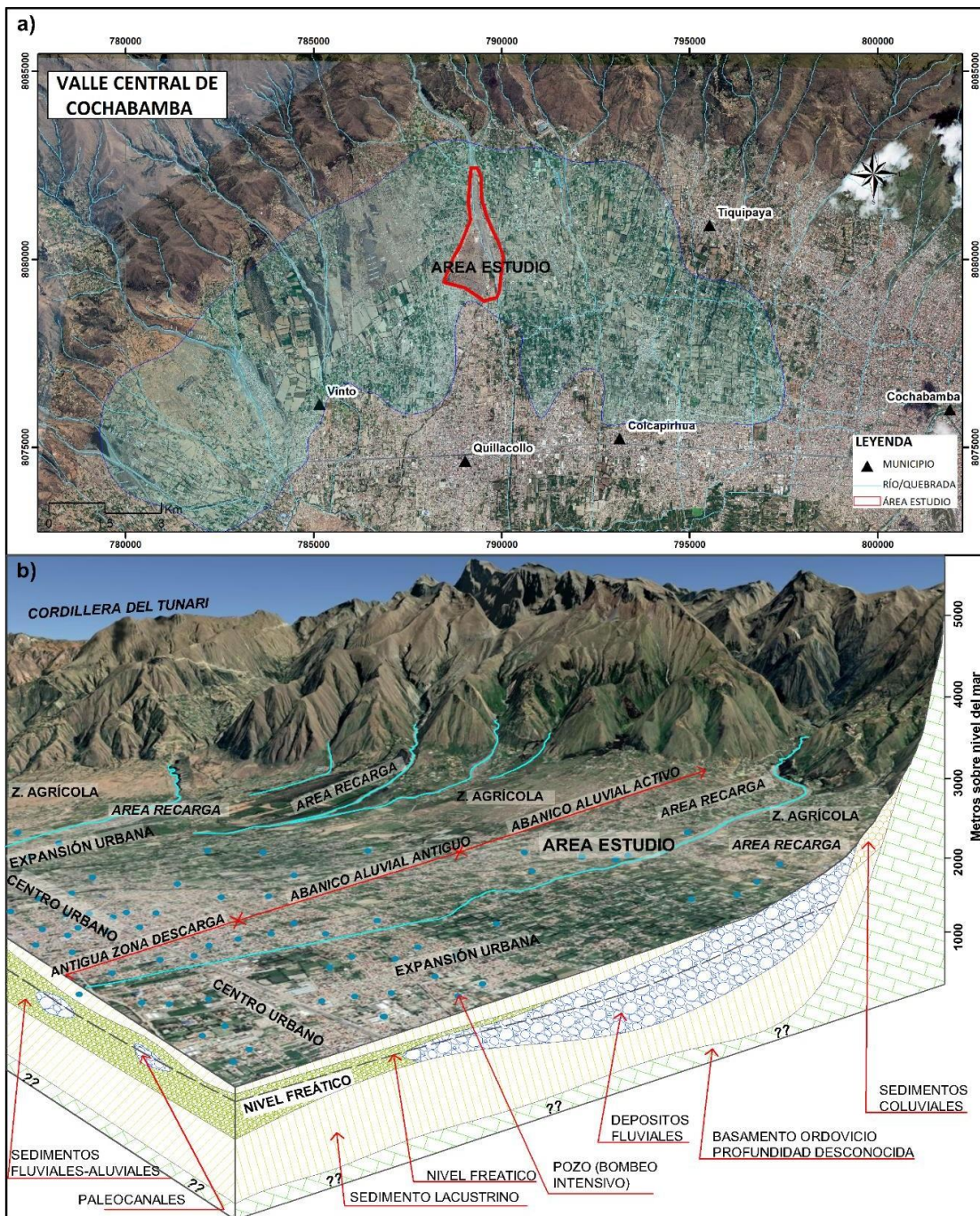
Diagrama pseudo-3D de distribución de resistividad eléctrica en el abanico aluvial de Chocaya. A la derecha de la figura el reporte con la litología del pozo CB49



La Figura 6 clarifica la predominancia de material grueso, característico en abanicos aluviales de cuencas de montaña de grandes dimensiones y que generan elevada escorrentía en episodios de alta precipitación, lo cual a su turno provoca riadas o avenidas que conducen material erosionado de las partes altas. Este material está formado principalmente por bolones, grava y arenas gruesas que son depositadas en el trayecto de las partes altas del abanico aluvial, mientras que el material más fino es transportado aguas abajo debido a su menor masa y tamaño y son depositados en las partes bajas del abanico.

En el caso del material grueso depositado en el ápice y parte media del abanico de Chocaya (aproximadamente en los primeros 2 Km), probablemente provenga de las partes altas de la cuenca alta de Chocaya, siendo conducido durante crecidas hasta la entrada al Valle. Debido al cambio de pendiente y velocidad la energía del río disminuye y existe una deposición paulatina del material. Este proceso reiterado una y otra vez desde épocas geológicas, ha configurado el actual abanico aluvial de la cuenca Chocaya, que ha conformado un acuífero de grandes dimensiones y profundidad, con material grueso en la mayor parte del abanico aluvial, tanto en las capas profundas como superficiales.

A partir de los resultados geofísicos su interpretación con información geológica y reportes litológicos de pozos cercanos, se pudo elaborar un modelo conceptual preliminar del acuífero de Chocaya, tal cual se observa en la Figura 7. La figura muestra en primera instancia una vista en planta de la zona Norte del Valle Central de Cochabamba (Figura 7.a), en la cual el abanico aluvial de la cuenca Chocaya está etiquetado como Área de Estudio. En la imagen se ve que los centros urbanos (Cochabamba, El Paso, Tiquipaya, Quillacollo, Vinto y Colcapirhua) están creciendo de manera descontrolada. El área sombreada representa las zonas donde aún existe una predominancia de tierras de cultivo, las cuales cada vez son cada vez más aisladas y rodeadas por urbanizaciones. Asimismo, se puede observar la progresiva invasión de asentamientos urbanos dentro del abanico aluvial, principalmente en la parte este y norte del Valle Central.

Figura 7*Modelo conceptual hidrogeológico preliminar del acuífero de Chocaya*

La Figura 7.b muestra el modelo conceptual hidrogeológico elaborado a lo largo del abanico aluvial de la cuenca del río Chocaya. Se puede observar que la otra característica estructural del acuífero, relacionada con las condiciones de deposición del material grueso a través del tiempo son las zonas de recarga de aguas subterránea. De hecho, la zona de El Paso es el área de aparente mayor recarga subterránea de todo el Valle Central. Ello se hace evidente al observar la gran extensión y el gran espesor de material grueso depositado en la parte apical y media del abanico. Es posible, que la recarga subterránea que ocurre en el abanico aluvial de Chocaya alimente a todo el sistema

acuífero del Valle Central y no solo al sector de El Paso donde se sitúa, por lo cual se recomienda realizar más estudios hidrogeológicos para poder comprobar esta hipótesis.

4. Discusión

A continuación, se hace una discusión más detallada de los riesgos actuales y los procesos de deterioro del acuífero y sus propiedades hidrogeológicas.

a) Afectaciones en la cuenca alta

Aunque el abanico aluvial que conforma la parte Norte del acuífero de El Paso a la salida de la cuenca Chocaya ha sido consecuencia de la sobreposición paulatina y progresiva de material grueso erosionado de las partes altas de la cuenca, el material que entra en cada vez en mayor abundancia al Valle Central es material fino procedente de la erosión de los suelos en la cuenca Chocaya, especialmente de los sectores de ladera.

Las prácticas agrícolas y el sobrepastoreo de ovinos junto a la deforestación de bosques y zonas arbustivas con vegetación nativa, a fin de ampliar la frontera agrícola y realizar nuevos asentamientos, son las causas principales de la creciente erosión. Existen fallas geológicas y algunos sectores que por su accidentada topografía generan de forma natural erosión en partes de la cuenca, pero sin duda es la acción antrópica la de mayor impacto en el deterioro paulatino de la cuenca.

Aunque hay planes de implementar un proyecto de manejo de cuencas, dada la magnitud de la cuenca Chocaya, ello aún no ha sido posible y el Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba (GAD), a través del Servicio Departamental de Cuencas (SDC), ha efectuado intervenciones puntuales a escala reducida en sectores críticos de las laderas de la parte alta y media de la cuenca. Es probable que si no se implementan estos proyectos de manejo de cuenca la erosión en la cuenca alta traerá problemas más complejos. Uno de estos posibles problemas puede ser el deslizamiento de grandes volúmenes de tierra causando un flujo de lodo en el río Chocaya como el que se vio repetidamente en la cuenca vecina de Taquiña (Tames, 2020).

b) Afectaciones en el sector de pie de monte

Entrando a la zona del Valle Central, en lo que sería el pie de monte de la cuenca, es decir las últimas estribaciones de la montaña antes de abrirse hacia la llanura aluvial, se observan una serie de emprendimientos agrícolas recientes, intensivos en uso del suelo y consumo de agua. Ello ha ocurrido debido a que el embalse de Misicuni, que entró en funcionamiento hace apenas 2 años, ha empezado a proveer de agua para riego a gran parte de la zona de El Paso, zona de riego histórica y tradicional que hace uso de varias otras fuentes de agua superficiales, incluido el flujo base del río Chocaya (sistemas tradicionales conocidos regionalmente como Mitas o turnos de riego).

De esta forma, al constituirse el pie de monte de la cuenca Chocaya en la desembocadura al Valle Central, y al contar acceso a las aguas de Misicuni a través del túnel de aducción ubicado unos 2 Km arriba de la planicie aluvial, todo este sector está sufriendo una serie de cambios acelerados. Alguno de estos cambios es que muchos agricultores están subiendo sus cultivos a la ladera del sector de pie de monte, dadas las favorables condiciones de acceso al agua. Pero al mismo tiempo se comienza a ejercer mucha más presión sobre los frágiles suelos de ese sector, incrementando los riesgos de erosión, así como el flujo de contaminantes provenientes de pesticidas y fertilizantes usados en sus prácticas agrícolas, hacia el abanico aluvial.

c) Afectaciones en el abanico aluvial

En el abanico aluvial propiamente dicho, el tipo y magnitud de afectaciones que ponen en riesgo la continuidad del acuífero de El Paso como una de las principales fuentes de agua del Valle Central de Cochabamba es obviamente mucho

mayor. Actualmente SEMAPA tiene varias baterías de pozos en la zona que antes de Misicuni, era una de las principales fuentes de agua potable para el Valle Central. Esta presencia importante de pozos hace creer que este acuífero es uno de los principales acuíferos del Valle Central, por lo tanto, sería importante hacer estudios posteriores para validar dicha hipótesis. Los procesos que afectan al acuífero ocurren con mayor intensidad ahora que ya está operando Misicuni, pues existe un notorio incremento de agua para diversos usos, lo cual hace más atractiva la especulación inmobiliaria, incrementando el precio de la tierra y favoreciendo los procesos de urbanización.

Esta es una de las razones de la migración de la agricultura hacia el pie de monte. Es mucho más atractivo económicamente para un agricultor vender sus terrenos en el Valle para nuevas urbanizaciones y ocupar nuevas tierras para agricultura en el pie de monte. De este modo, la zona del Valle se está urbanizando aceleradamente, alternando asentamientos urbanos con empresas agrícolas intensivas en uso de recursos, como floricultura e invernaderos con producción netamente mercantil. Por tanto, el paisaje característico rural con unidades agropecuarias campesinas se está transformando y con ello, también se producen cambios en el uso de la tierra, que afectan en gran medida la permeabilidad característica de las zonas de recarga subterránea.

Este floreciente mercado de tierras se ve además facilitado por la inadecuada y débil gestión de los gobiernos municipales de Cochabamba, que en una primera instancia permiten loteamientos y asentamientos ilegales, para luego legalizar paulatinamente todo lo ilegal. Esta dinámica conlleva a daños al medio ambiente y a problemas de mediano y largo plazo que puedan ocurrir con los nuevos asentamientos, incluyendo disminución en la recarga del acuífero, contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas, riesgos de riadas e inundaciones a las nuevas urbanizaciones, tal cual aconteció durante los últimos años en el abanico aluvial de la vecina cuenca Taquiña. De hecho, sinnúmero de nuevas urbanizaciones se han asentado a escasos metros del río Chocaya, sin respetar las franjas de seguridad de 50 m. Otra afectación notable es que el río Chocaya se ha convertido en toda su extensión en el botadero de basura de todo el sector e incluso de Quillacollo, ya que el botadero municipal se encuentra dentro del abanico aluvial.

Por otra parte, pese a la cercanía a las aguas de Misicuni, es ya una tradición en la región perforar pozos de agua y las nuevas urbanizaciones encuentran de esta forma la solución a un abastecimiento de agua para el corto plazo, hasta que la red hidráulica para la provisión de agua potable de Misicuni sea realidad. Por tanto, la perforación de pozos y explotación de agua subterránea no ha parado, por el contrario, se está intensificando.

Todo lo descrito genera creciente riesgo de contaminación del acuífero, ya que nuevas urbanizaciones implican más gente y por tanto más desechos sólidos y líquidos que se botan y vierten hacia el río sin que exista ninguna acción efectiva por parte de los gobiernos municipales o las propias organizaciones locales para intentar controlar tales procesos. Se ha vuelto común observar aguas residuales circulando por diferentes sectores de El Paso y las escasas plantas de tratamiento instaladas son insuficientes para captar y tratar todos los vertidos de aguas domésticas e industriales.

5. Conclusión

En síntesis, la investigación efectuada en el abanico aluvial de la cuenca Chocaya entre el 2019 y el 2020, ha sentado las bases para un conjunto de nuevos estudios y acciones técnicas y políticas que deberán estar articuladas entre sí, en un marco de negociación y búsqueda de acuerdos entre autoridades y organizaciones locales.

Se pudo ensayos geofísicos que material fino presenta típicamente valores de resistividad por debajo de los 200 Ωm , mientras que material grueso tiene resistividades entre 200 a 800 Ωm . Estos materiales gruesos, pueden haberse originado después de crecidas de ríos que depositaron bolones, grava y arena, indicando así las posibles playas de inundación del río Chocaya.

De igual forma, el material grueso y fino, al ser poroso puede ser depósitos idóneos para la ocurrencia de agua subterránea, por tanto, es importante evitar el asentamiento urbano en estas zonas para reducir posibles contaminaciones o impermeabilización de zonas de recarga.

El modelo conceptual del abanico aluvial de la cuenca Chocaya, particularmente la constatación de las características estructurales del acuífero y de la enorme capacidad de recarga de agua subterránea, debería constituirse en una herramienta de trabajo para una mejor gestión de las aguas subterráneas en la región metropolitana.

El modelo conceptual requiere ser desarrollado con más información y estudios especializados para comprender mejor su funcionamiento hidráulico, particularmente los procesos de recarga y descarga. Es de esperarse que, durante los próximos años, los diversos centros de investigación que conforman la red Agua y Suelo de la UMSS, profundicen las investigaciones sobre las aguas subterráneas, aportando en aspectos conceptuales, metodológicos e información técnica útiles para el debate y la toma de decisiones por parte de los actores políticos.

Nuevos y sucesivos estudios solo tendrán sentido si se realizan en un marco de diálogo e interacción con el GAD, los GAM's del área metropolitana y representantes de organizaciones sociales, a fin de lograr escenarios de planificación y gestión factibles de ser implementados. Es decir, deben generarse acuerdos políticos y sociales que aseguren que existan mecanismos e instrumentos técnicos y normativos acordados para una mejor gestión de las aguas subterráneas y acciones concretas de protección del acuífero.

Ello implica que en paralelo debe realizarse con mayor profundidad la evaluación de los factores críticos que afectan la sostenibilidad futura del acuífero como fuente de agua segura y de buena calidad. La urbanización indiscriminada de los abanicos aluviales, principales áreas de recarga de las aguas subterráneas, es claramente contradictoria con cualquier acción en favor de preservar el acuífero. Por tanto, el análisis de los riesgos y vulnerabilidad del acuífero deben contrastarse con escenarios posibles de ordenamiento territorial y uso de la tierra que permitan lograr metas concretas, asegurando la continuidad de gran parte de la recarga subterránea y medidas de protección contra la sobreexplotación y la contaminación.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

6. Referencias bibliográficas

- BID, 2013, Plan de acción: Área metropolitana de Cochabamba Sostenible: Banco Interamericano de Desarrollo. Bull, W. B., 1964, Alluvial fans and near-surface subsidence in western Fresno County, California, Washington, USA, US Geological Survey.
- De La Fuente, M., and Cabrera, J., 2016, La expansión urbana y la pérdida de tierras agrícolas en el valle central de Cochabamba y Sacaba: Fundación por la Tierra.
- INE, 2019, Censo Poblacion y Vivienda Volume 2019: La Paz, Bolivia, Instituto Nacion de Estadistica. Estado Plurinacional de Bolivia.
- Renner, S., and Velasco, C., 2000, Geology and Hydrogeology of the Central Valley of Cochabamba: Convenio Aleman Boliviano de Aguas Subterraneas (CABAS).
- Tames, M., 2020, Análisis de la gestión de riesgos de inundación y resiliencia en la cuenca Taquiña, Municipio de Tiquipaya: Universidad Mayor de San Simón.
- UBC, 2021, Electrical resistivity of geologic materials, Volume 2021, The University of British Columbia, Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences.
- UNDP-GEOBOL, 1978, Proyecto Integrado de Recursos Hidricos Cochabamba (Integrated Water Resources Project Cochabamba): United Nations Development Programme.