

Waldir Soruco<sup>1</sup> & Iván Ramírez C.

**Resumen** - A 4300 m de altura aproximadamente a 15 km al Este de la ciudad de Potosí, se tiene el emplazamiento del batolito del K'ari K'ari con un área de 450 km<sup>2</sup>. Los depósitos sedimentarios glaciares producto de la erosión y meteorización de los materiales ígneos dieron origen a la formación de diferentes valles glaciales conformado en su mayor parte por material morrénico y eólico.

Circunda a estos valles elevaciones que sobrepasan los 5000 m de altura donde la recarga producto de la precipitación pluvial aumenta hasta mas de 1000 mm/a, además de tener la presencia de lagunas, que por efecto de rebalse, parte de estas aguas infiltran recargando el acuífero en las morrenas, formando de esta manera grandes recursos hídricos subterráneos en depósitos morrénicos.

Los resultados obtenidos de las investigaciones geofísicas e hidrogeológicas muestran la importancia de explotar agua subterránea como fuente alternativa en materiales morrénicos y a bajos costos de explotación.

Los resultados de las pruebas hidráulicas demuestran que son acuíferos altamente permeables con capacidad de recarga anual alta.

**Key words** - AGUA SUBTERRANEA, MORRENAS

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad Potosí (Patrimonio Histórico de la Humanidad) tiene una población de 120.000 habitantes en los últimos años debido al crecimiento de la población urbana ha incrementado el consumo de agua (tanto para consumo humano como para la minería) en ese sentido se ha visto por conveniente la investigación de nuevas fuentes hídricas, una de las alternativas que se planificaron fue los recursos hídricos subterráneos, al encontrarse la ciudad a una altura de 3950 m.s.n.m. las únicas posibilidades de encontrar agua subterránea se encuentran en los valles intramontanas que se forman al pie de las

---

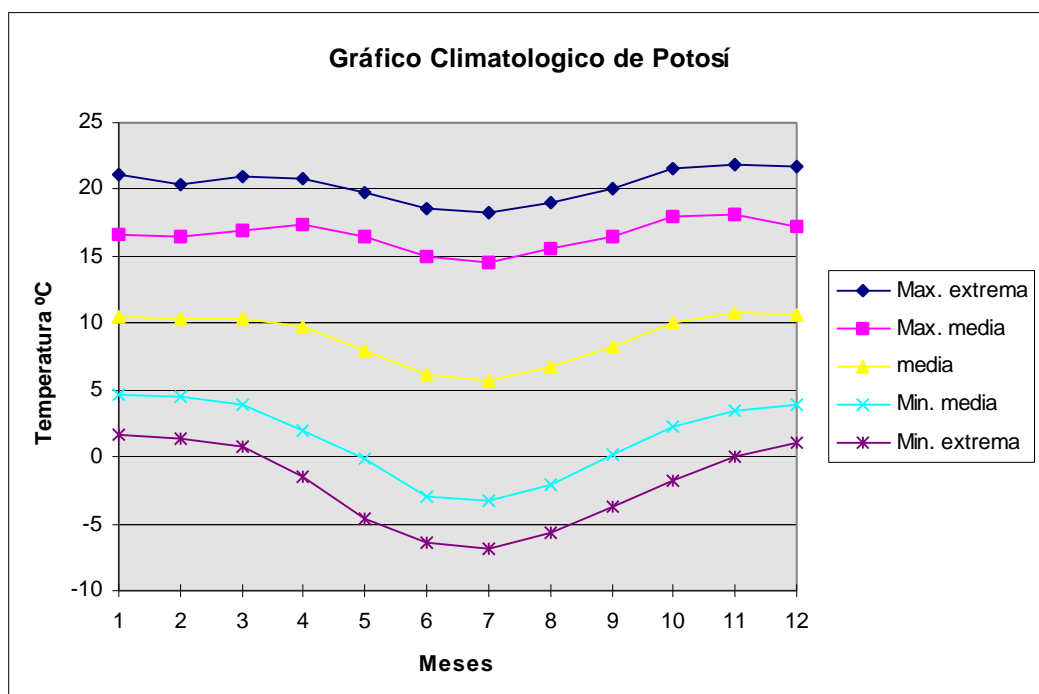
<sup>1</sup> Convenio Alemán-Boliviano de Aguas Subterráneas (CABAS)

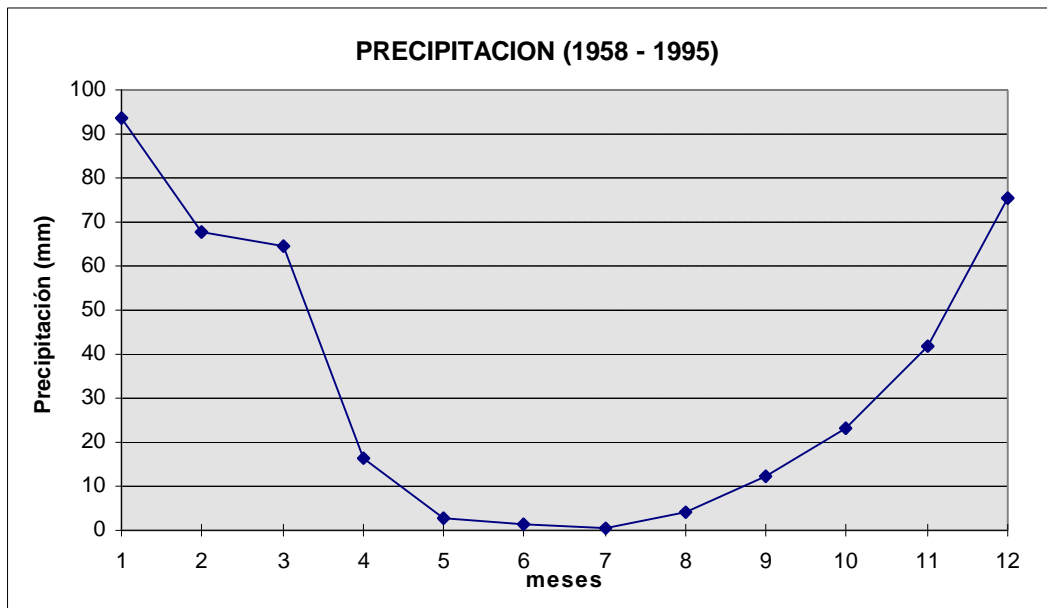
serranías próximas a la ciudad. El área investigada comprende aproximadamente 450 km<sup>2</sup> al pie de la cordillera del Kari Kari, con una altura promedio de 4300 metros.

## 2. CLIMATOLOGIA

En general la cordillera presenta un clima frígido de montaña, las precipitaciones de nieve y lluvia son estacionales y fuertes vientos son característicos en la zona.

La precipitación media en la ciudad de Potosí (1958-1995) es de 405,7 mm y una temperatura media de 16,6 ° C. la temperatura máxima extrema 26.1°C el 2-04-92 y la temperatura mínima extrema -12°C el 10-07-1960. La humedad relativa es alcanza al 37,9 % y la evaporación es igual a 3,7 mm. La figura N° 1 adjunto muestra la variación de precipitación y temperatura durante el año.





### 3. UBICACIÓN

La zona de investigación se encuentra aproximadamente a 15 km de la ciudad de Potosí a los pies de la cordillera del Kari-Kari en los valles glaciales que desciende de esta cordillera y en la planicie que se extiende a continuación de las morrenas, el acceso a la zona se puede realizar por medio el camino del camino Potosí - Cuchu Ingenio. Ver figura.

Las coordenadas UTM del área investigada son:

7810000 Norte

7832000 Norte

220000 Este

212000 Este

### 4. GEOLOGIA

El área investigada se encuentra al lado oeste de la cordillera del Kari Kari que morfológicamente se presenta como un bloque aislado de 30 x 12 km. con características de alta montaña, esta cordillera ha sido afectada por una fuerte acción glacial posiblemente pleistocénica, distinguiéndose rasgos notables como circos glaciales, valles en forma de U, lagos glaciales y una gran cantidad de depósitos glaciales (diferentes tipos de morrenas).

Los fuertes procesos glaciales antiguos que dieron como resultado la formación de valles glaciales conformados por morrenas, principalmente laterales, que posteriormente fueron re - trabajados por la acción del agua conformando una sucesión de valles

glaciales. Al extremo de estos valles glaciales se desarrollo una planicie de origen fluvioglacial con los materiales aportados de los valles.

En la zona de estudio sobresale notablemente la cordillera del Kari Kari con un área aproximada de 32 x 12 km. de forma elipsoidal con una orientación Norte - Sur, morfológicamente sobresale unos 700 metros por encima de la pampa con una serie de picos alineados de norte a sur con alturas que sobrepasan los 5.200 metros cortadas abruptamente por valles y circos glaciares.

Estructuralmente, por su extensión y naturaleza de la roca constituye un batolito que se intruyo atravesando rocas Ordovícicas. La aureola metamórfica es casi indistinguible debido a las extensas morrenas que cubren sus pendientes.

Los flancos de la cordillera presentan formas más suaves y onduladas debido principalmente a la presencia de morrenas, restos de la intensa acción glacial (pleistocénica), llegando a cubrir la mayor parte del contacto con las rocas ordovícicas. Petroológicamente la roca del batololito del Kari Kari se trata de una roca volcánica o hipoabisal cuyo nombre corresponde a una latita botítica.

La zona oeste adyacente a la cordillera del Kari Kari se encuentra cubierta por depósitos glaciares donde se puede observar diferentes tipos de morrenas depositadas una sobre otras y en diferentes direcciones. La composición litológica de estas morrenas consiste principalmente de bloques, pedrones, gravas, arenas y arcilla, la naturaleza de los rodados es mayormente ígnea de latitas del Kari Kari y rocas como cuarcitas, pizarras y lutitas fragmentarias. Los espesores de estos depósitos pueden alcanzar los 80 metros, a extensión de estas morrenas es variable algunas alcanzan hasta 5 km.

Hacia el pie de la cordillera del Kari Kari y por debajo de la zona de morrenas se extiende la planicie que descienden desde 4.000 a 3.600 metros. Para la formación de esta planicie intervinieron dos factores: la acción glacial y la fluvial. El mecanismo de depositación fue el re - trabajo por los ríos de los depósitos glaciares previamente depositados

La información geológica fue obtenida del boletín N° 11 de Geobol "Geología y Yacimientos Minerales de la Región de Potosí (Salomon Rivas y Raúl Carrasco)

## **5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

Por la elevada altura de la cordillera del Kari Kari la presencia de lagunas de origen glacial son frecuentes en toda la zona: Las más importantes son las de Chalviri y Lacka Chaca que en la actualidad son usadas como represas para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Potosí. Existen otras lagunas de menor importancia y tamaño

en la zona, las quebradas que bajan de la cordillera son de tipo torrencial y la mayor parte del año están secas. Los caudales que fluyen por ejemplo en la quebrada de Chalviri no sobrepasa los 2 l/s.

## **6. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS**

En la zona de estudio se pueden diferenciar tres unidades hidrogeológicas importantes:

### **- ROCAS CONSOLIDADAS CON PERMEABILIDAD SECUNDARIA:**

Las rocas pertenecientes al batolito del Kari Kari (latitas biotíticas y cuarzo latitas Terciarias y lutitas Ordovicicas) presentan una permeabilidad secundaria por fracturación, y no representan una fuente de agua subterránea importante. Forman el basamento para los depósitos cuaternarios recientes.

### **- LOS DEPÓSITOS MORRENICOS CON PERMEABILIDAD VARIABLE**

Las morrenas constituyen una unidad importante para la explotación de aguas subterráneas aunque presentan una litología muy heterogénea (desde bloques hasta arcilla) tienen una buena permeabilidad, la transmisividad obtenida en las pruebas de bombeo tres pozos perforados en esta zona alcanzan a 50m<sup>2</sup>/día. Con pozos que alcanzan los 60 m. de profundidad.

En los mismos valles glaciales se perforaron dos pozos que producen entre 1 a 1.5 l/s. con transmisividades que no exceden los 5m<sup>2</sup>/día. Este resultado es interpretado por la naturaleza misma de los depósitos al ser material morrenico se espera una heterogeneidad en los materiales que lo componen. Estos dos pozos con permeabilidad muy baja se debe a que el pozo debe estar rodeado por material permeable (arcilla mezclada con la grava que disminuye la transmisibilidad del acuífero.

La zona de recarga de está unidad se encuentra principalmente en las quebradas que bajan por medio de los valles glaciales, el agua se insume produciendo extensos bofedales, otra zona de recarga importante son las represas y lagunas que se encuentran en la cordillera del Kari Kari en medio de los valles glaciales.

El nivel freático en esta unidad está a 2 metros bajo superficie, la dirección del flujo subterráneo es aproximadamente este - oeste.

### **- LOS DEPÓSITOS FLUVIOLACUSTRES DE MAYOR PERMEABILIDAD**

La perforación de 3 pozos en esta zona permitió deducir que en la planicie los pozos perforados fueron surgentes con un caudal aproximado de 2 l/s. La transmisividad calculada en los pozos se encuentra alrededor de 70 m<sup>2</sup>/día. La explotación en esta zona puede llegar a 8 l/s. en cada pozo.

En la planicie la granulometría de los materiales es más fina, no se presenta bloques de mucho diámetro, pero continúan la deposición de sedimentos alternando gravas y arena con arcilla.

Las capas más permeables (acuíferos) en los pozos perforados, se encuentran a diferentes profundidades pero alcanzan un espesor aproximado de 18 metros en todos los casos. Estos acuíferos permiten caudales de explotación de agua subterránea aproximadamente de 7 l/s. La profundidad de los pozos alcanzan los 60 metros. Los acuíferos tiene un carácter confinado en la planicie

## **7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA**

En los pozos perforados se observó que la conductividad eléctrica del agua varia entre 183 a 200 µS/cm y la temperatura se encuentra entre 8,3 a 8,5°C. No se observa la presencia de ningún elemento contaminante.

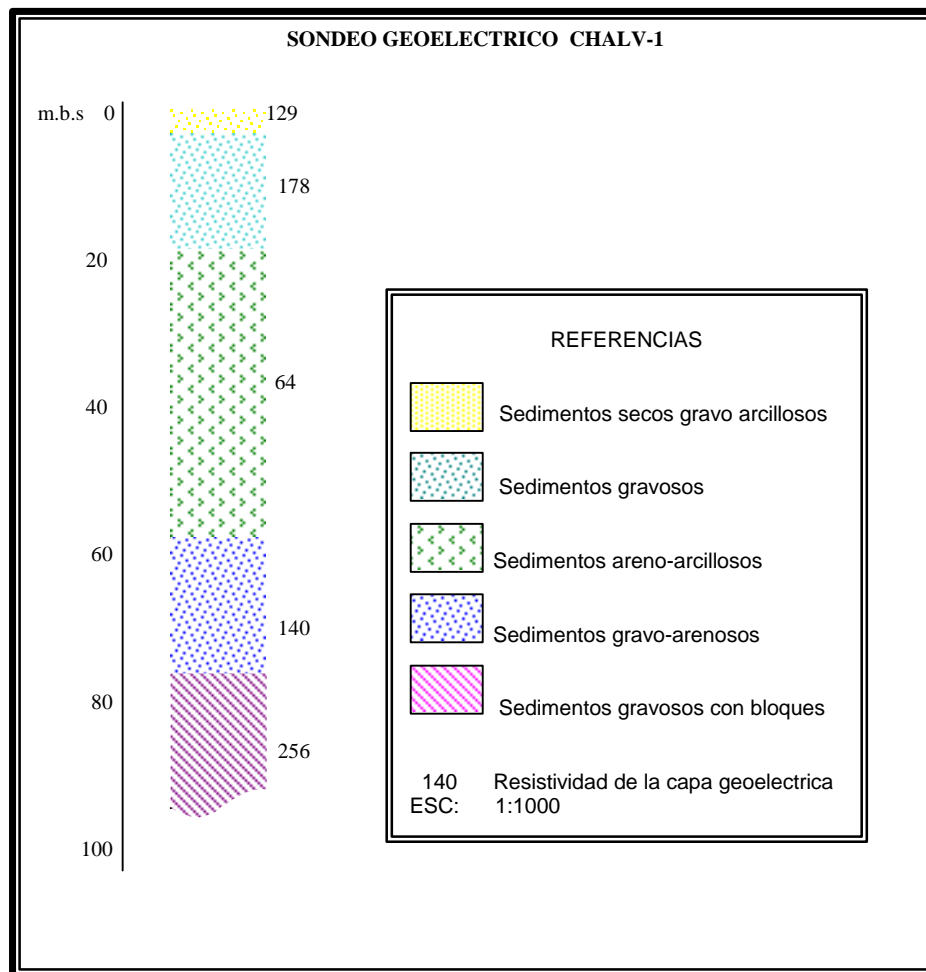
## **8. RESULTADOS GEOFÍSICOS**

Se realizaron 50 sondeos eléctricos verticales, dando mayor énfasis a la cuenca Chalviri, Lacka Chaca y Chaquilla (**Ver mapa de ubicación de sondeo electricos**).

Los sondeos descritos a continuación reflejan en parte las características litológicas del subsuelo.

### **8.1 SONDEO GEOELÉCTRICO CHALV-1**

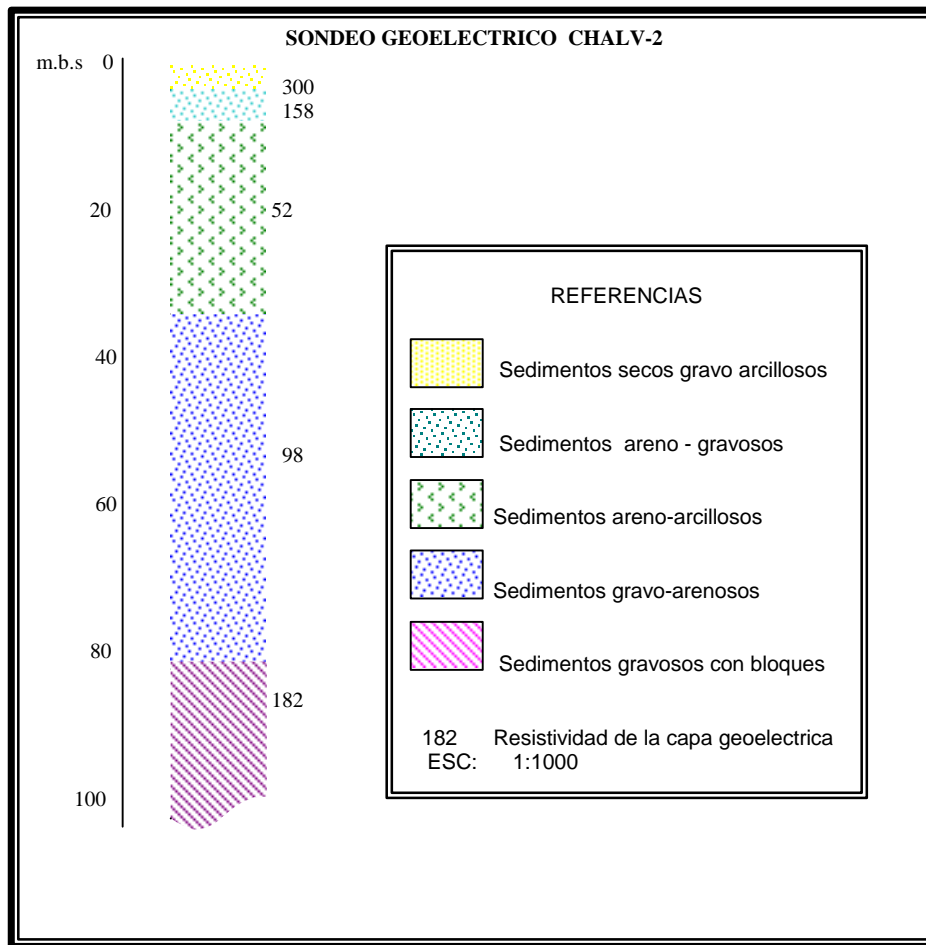
El sondeo geoeléctrico se encuentra ubicado en la Cuenca Chalviri, a una altura de 4300 m.s.n.m. El modelo interpretado corresponde a 5 capas, donde la primer capa con resistividad



de 129 ohm m corresponde a sedimentos secos gravo-arcillosos hasta una profundidad de 2 m. Entre 2 y 19 m se limita la segunda capa con 178 ohm m de resistividad con presencia de sedimentos gravosos con presencia de boques (cantos rodados). La tercer capa entre 19 y 55 m de profundidad la resistividad asumida es de 64 ohm m e idéntica sedimentos areno-arcillosos. La cuarta capa entre 55 y 75 m corresponde a sedimentos gravo-arenosos con presencia de algo de arcilla y condiciones favorables para el almacenamiento de agua subterránea. Por debajo de los 75 m de ha detectado la ultima capa con 256 ohm m donde se tiene la predominancia de material grueso principalmente bloques (cantos rodados) con grava.

## 8.2 SONDEO GEOELÉCTRICO CHALV-2

El sondeo geoelectrico se encuentra aproximadamente a 300 m del anterior sondeo ubicado en la Cuenca Chalviri. El modelo interpretado corresponde a 5 capas, donde la primer capa con resistividad de 300 ohm m y profundidad de 4 m corresponde a sedimentos secos gravo-arcillosos con presencia de bloques.



entre 4 y 7 m de profundidad se tiene la segunda capa con 158 ohm m de resistividad el mismo es interpretado como sedimentos areno gravosos. Desde 7 a 33 m la resistividad disminuye relativamente a 52 ohm m con presencia de sedimentos areno-arcillosos. La cuarta limitada entre 33 y 79 m identifica una capa con 98 ohm m de resistividad considerado de importancia para el almacenamiento de agua subterránea y presencia de sedimentos gravo-arenosos con algo de arcilla. Por debajo de los 79 m se identifica la ultima capa con 182 ohm m de resistividad interpretado como sedimentos gruesos conformado por bloques (cantos rodados) producto de la glaciación del área.

## 9. CONCLUSIONES

- Los resultados del estudio hidrogeológico, ha permitido identificar que zonas con presencia de materiales morrenicos presentan condiciones favorables para la explotación de agua subterránea.
- La zonas de la planicie fluvio-glacial que se extiende al terminar las morrenas tiene las mejores posibilidades de explotación de aguas subterráneas por

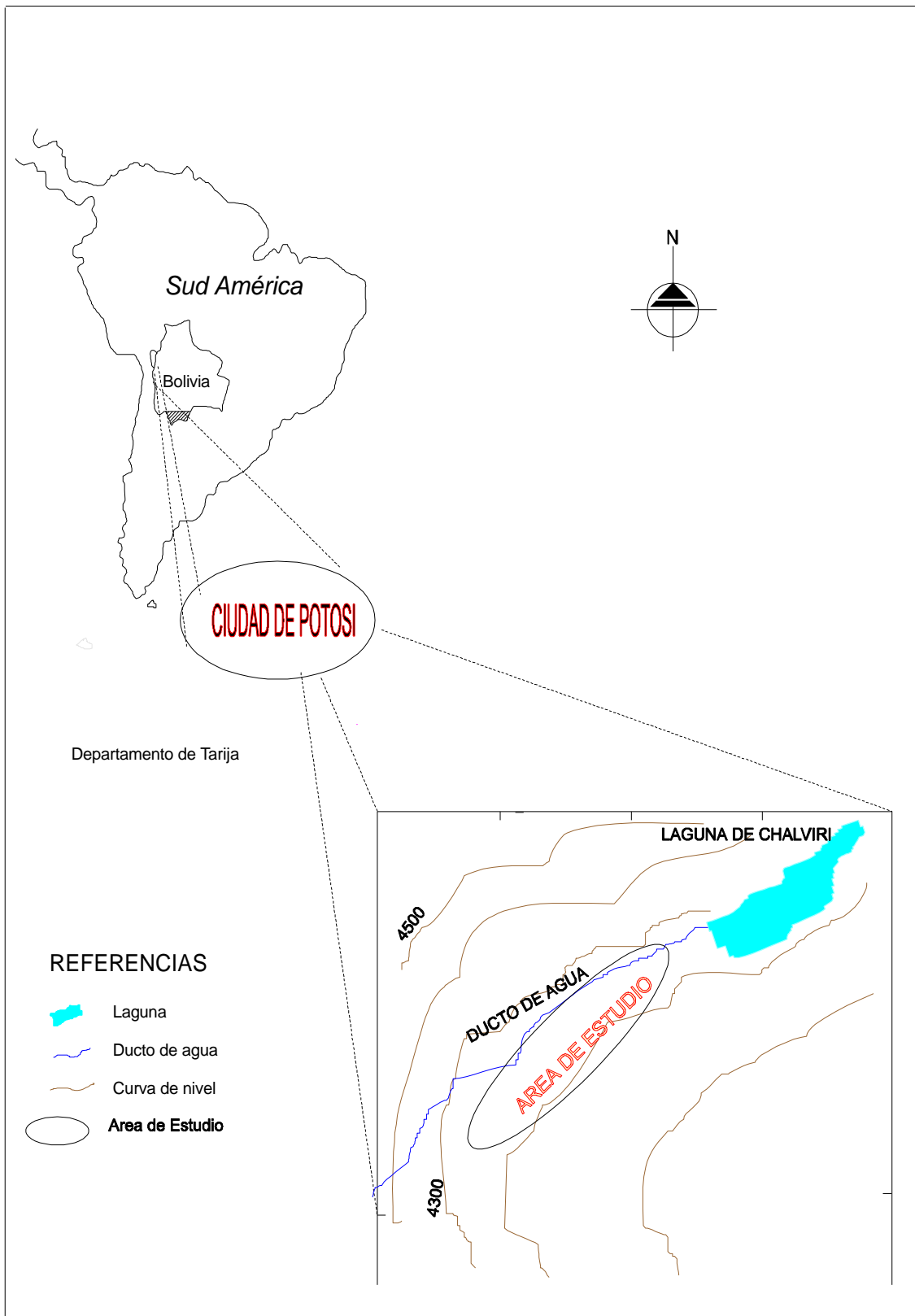


medio de una batería de pozos. Con la ventaja de aprovechar la surgencia para disminuir costos de explotación.

- El área de estudio se considera como una reserva de agua subterránea debido a que la ciudad de Potosí se encuentra ubicada en un relieve topográficamente accidentado lo cual hace difícil otras áreas para la exploración hidrogeológica

## **BIBLIOGRAFIA**

- CUSTODIO, E. & LLAMAS M. "Hidrología subterránea" 2da. Edición. Tomo I y II, 1983.
- MONTES DE OCA, I "Geografía y recursos naturales de Bolivia" La Paz-Bolivia 1983.
- PALENQUE H. "Tesis de grado en la cordillera del Kari-Kari", Potosí-Bolivia
- RIVAS S. Y CARRASCO R. "Boletín N° 11 de Geobol Geología y Yacimientos Minerales de la Región de Potosí"
- MARIACA, C. J. JAIME "Balance hídrico superficial de la cuenca del lago Poopó y los salares de Uyuni y Coipasa" informe convenio SENAMHI, PHICAB, ORSTOM, IHH-CONAPHI 1985



MAPA N° 1: UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO