

# CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA DE LA LOCALIDAD DE BELEN PITUTA "B", MUNICIPIO DE GUAQUI, BOLIVIA

\*Guisbert H. Elvira<sup>a</sup>, Ramos R. Oswaldo<sup>a</sup>, Romulo Gemio<sup>a</sup>, Choque Rigoberto<sup>b</sup>, Flores Henry<sup>c</sup>, Niura Amalia<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones Químicas; Laboratorio de Hidroquímica, U.M.S.A.

<sup>b</sup> Especialidades Químicas I+D+I. <sup>c</sup> INRA

\*AutorCorresponsal: eguish@gmail.com

**Key words:** characterization, groundwater, aquifers fluxes.

## ABSTRACT

Stiff and Piper-Hill-Langelier diagrams give to us the classification of both superficial and groundwater resources as sulphated-chloride-calcic, due to the high concentration of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  among all the majorities ions. It was determine also the existence of two kind of water fluxes (according to Surfer diagrams) one direction from South-West to North-East (depth: 40-80m) and the other from South-East to North-West (depth: 1-4m), taking us to think on the existence of two aquifers inside our study area.

## RESUMEN

La clasificación fisicoquímica de los tipos de agua superficial y subterránea estudiadas, según los diagramas Stiff y Piper-Hill-Langelier, es sulfatada-clorurada-cálcica, debido a las altas concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ , predominantes entre los iones mayoritarios analizados. Se determinó la existencia de dos flujos de agua (diagramas de Superficie) en direcciones contrarias entre sí: uno subterráneo (prof.: 40 a 80m) de Sur-Oeste a Nor-Este y otro sub-superficial (prof.: 1 a 4m) de Sur-Este a Nor-Oeste, induciendo la existencia de dos acuíferos.

Palabras Clave: caracterización, agua subterránea, flujo de acuíferos.

## INTRODUCCIÓN

El agua dulce de los ríos, arroyos, lagos y de la lluvia constituye menos del 0,24% del agua dulce de la Tierra y menos que el 0,1% de toda el agua de la Tierra [1].

Uno de los procesos de transporte del agua dentro del ciclo hidrológico es la escorrentía. Este proceso,

también llamado *Runoff*, está formado por cuatro procesos que se diferencian por el tiempo que tarda el agua en llegar a la estación de medición y por la vía de llegada. Estos son: escorrentía superficial, sub-superficial, subterránea y la precipitación directa sobre el cause [2]. La escorrentía sub-superficial es el proceso formado por el agua que proviene de las precipitaciones que se han infiltrado y que se desplaza lentamente por debajo y cerca de la superficie, de forma tal que tiende a ser casi horizontal para aflorar en algún talud o algún sitio de la superficie situado más abajo del punto de infiltración, sin llegar a incrementar el nivel freático. La escorrentía subterránea es un proceso formado por el agua infiltrada que percola hacia la zona de saturación de las aguas subterráneas y sale a la red hidrográfica, originando el caudal base de los ríos, desempeñando un papel regulador del nivel freático.

También depende de la estructura y geología del suelo y subsuelo, de la intensidad de la lluvia y de las características físicas del perfil del suelo.

En este trabajo se determinó las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de Belén Pituta "B" y se estableció el origen de las mismas en base a la información geológica y la generada mediante sistemas informáticos, como ser diagramas Stiff, diagramas Piper-Hill-Langelier, imágenes S.I.G. y diagramas de superficie.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Transectos en pozos perforados

Se trazaron cuatro transectos en dirección Este a Oeste para observar el tipo de comportamiento de los iones analizados dentro de Belén Pituta "B". Los resultados que se observan en la figura No 3.1 son de la época seca donde se obtuvo el comportamiento más representativo. Las figuras Stiff muestran en el III y

IV transecto, una ligera disminución en las áreas de los polígonos (ver escala meqL<sup>-1</sup>) de algunos pozos perforados, (P1P, P3P, P4P, P5P, P6P y P32P), comparados con los pozos de los transectos I y II.

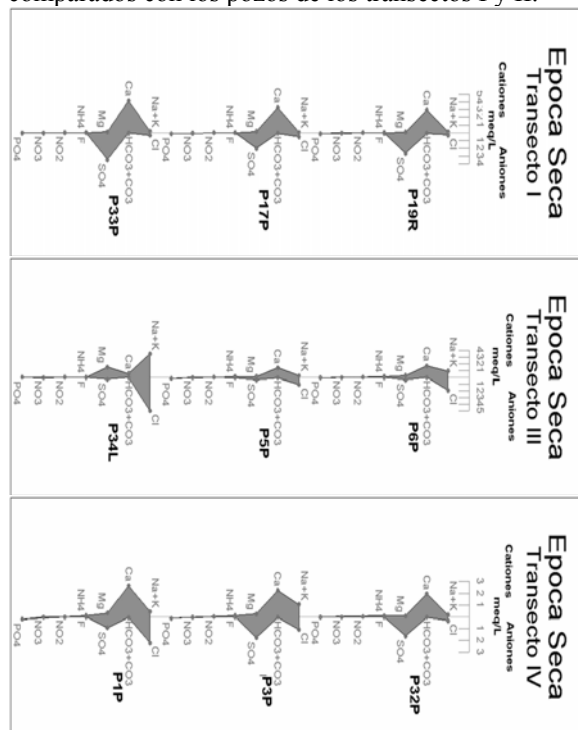


Figura No 3.1 Stiff A: Diagramas Stiff de los transectos trazados, dirección E – O (desde el río Jacha Jahuira hasta el lago Titicaca).

La diferencia en el tamaño de áreas por transecto se observa tanto en época seca como en húmeda, es decir, que las menores concentraciones de parámetros fisicoquímicos analizados en pozos perforados (prof.: 40-80m) se encuentran en la región sur de Belén Pituta “B”. Las diferencias fisicoquímicas se basan principalmente en las concentraciones de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Ca<sup>2+</sup> (mgL<sup>-1</sup>). El rango de valores para Ca<sup>2+</sup> en pozos perforados de la zona Sur es de 28,15 mgL<sup>-1</sup> (P5P) a 53,12 mgL<sup>-1</sup> (P1P), el rango de valores para SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en pozos perforados de la zona Sur es de 18,12 mgL<sup>-1</sup> (P5P) a 85,12 mgL<sup>-1</sup> (P3P). El rango de valores de Ca<sup>2+</sup> en los pozos perforados restantes del área de estudio es de 39,14 mgL<sup>-1</sup>(P32P) a 92,45 mgL<sup>-1</sup> (P12P) y para SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> de 78,45 mgL<sup>-1</sup> (P33P) a 189,16 mgL<sup>-1</sup> (P12P); el resto de los iones analizados se encuentran en un rango uniforme de concentraciones. Por tanto P1P, P3P, P4P, P5P, P6P y P32P, que pertenecen al IV y parte del III transecto de la zona Sur del área de estudio, poseen las menores concentraciones de parámetros fisicoquímicos determinados (áreas de polígono) debido a la disminución de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Ca<sup>2+</sup> en esta zona.

Este comportamiento sería debido al tipo de suelo arcilloso que se encuentra en el Sur de la región a diferencia del río Jacha Jahuira, ya que en los pozos perforados y excavados cercanos al mismo se determinaron concentraciones elevadas de iones, específicamente de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Ca<sup>2+</sup>. El tipo de suelos de esta parte del área de estudio es arenoso-arcilloso el cual facilita un mayor efecto de escorrentía e infiltración de aguas de rebalse del río Jacha Jahuira y los lavados de suelos que contienen anhidritas y yeso.

**Transectos trazados en pozos excavados y pozos perforados, dirección Este a Oeste**

En estos transectos se observa claramente la mayor concentración de iones en los pozos excavados, es decir, pozos que se encuentran a poca profundidad (E), que son P14AE, P8E, P11E, P10E y P10AE (observe las escalas en meqL<sup>-1</sup>).

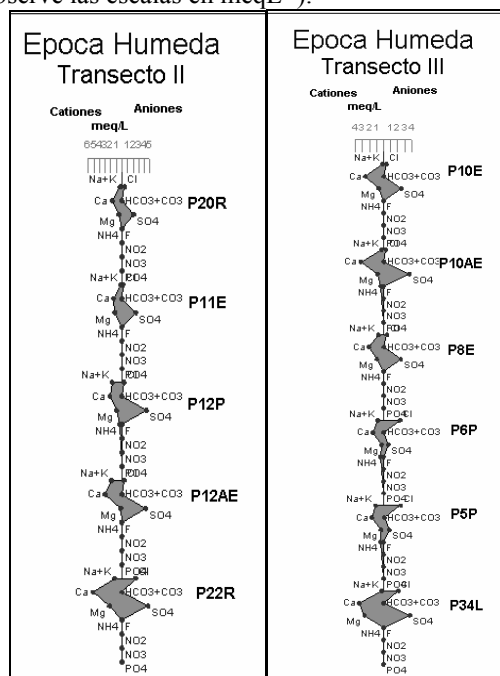


Figura No 3.2 Stiff B: Diagramas de pozos perforados y excavados en época húmeda.

Observando estos diagramas y comparando los polígonos se puede ver claramente un gran incremento de Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> comparados con los pozos perforados. Los puntos donde se observa mayor concentración de cationes y aniones son P10AE (1,3m) y P14AE (1,9m) que se encuentran a un nivel freático menor. Este hecho podría ser debido a que estos pozos excavados no se encuentran protegidos y tampoco disponen de tubos para la extracción de agua, como es el caso de los perforados, para evitar así la infiltración de contaminantes transportados por el viento de fuentes dispersas o puntuales.

Observaciones de campo permiten establecer en los horizontes de los pozos excavados (1 a 4m de profundidad), la formación de zonas blancas de sal a medida que el suelo pierde humedad por la exposición al sol y al aire; lo que no ocurre con los pozos perforados, debido a que son cerrados a los efectos climáticos y solo un tubo de 10 cm de diámetro es lo que conecta al acuífero con el ambiente. De los seis pozos excavados, P8E, P10E, P10AE, P11E, P12AE, y P14AE, tres se encuentran en la zona de rebalse del río Jacha Jahuira, (P10E, P10AE y P11E), y el punto P14AE se encuentra en suelos cercanos al lago Titicaca, suelos con alto contenido de salitre.

**Transecto trazado en pozos perforados y excavados: dirección Norte a Sur**

El V transecto muestra la influencia del río Jacha Jahuira sobre los pozos cercanos al mismo que fueron graficados en este transecto (figura No 3.3, Stiff C). Se observa que todos los pozos, excavados y perforados, presentan la misma geometría del polígono del río Jacha Jahuira mostrando su influencia sobre los mismos. Para el caso de los pozos excavados cercanos al río Jacha Jahuira, estos sufren de una intromisión de las aguas del río a través de la superficie, en época húmeda, debido al rebalse del mismo; este rebalse provoca el estacionamiento de sus aguas por casi un mes, cubriendo casi toda la zona

Este de Belén Pituta “B”, siendo un tiempo considerable para que estas aguas se infiltren y percolen hacia los acuíferos subterráneos, causando así una influencia en las concentraciones de parámetros fisicoquímicos. También se observa que dentro de todos los polígonos generados, tanto en época seca como húmeda, los polígonos con mayor área de integración son P10E (13 años de antigüedad a 4 m de profundidad) y P10AE (pozo nuevo a 1,3 m de profundidad), seguidos por P11E; donde P10E y P10AE son los pozos excavados que pertenecen a la zona de inundación en época de lluvia; y P11E es un pozo descubierto a orillas del río Jacha Jahuira (todos de consumo doméstico).

P10E es un pozo excavado a 4 m de profundidad con una superficie elevada sobre el nivel del suelo de 30 cm. A pesar de esto, en época de lluvias aún sufre de infiltración de agua de rebalse del río Jacha Jahuira. Con este transecto se trató de determinar si el río Jacha Jahuira es ó no fuente de contaminación en pozos de agua subterránea, la respuesta a esta incógnita fue positiva. El río Jacha Jahuira posee la misma composición fisicoquímica que los pozos cercanos al mismo, P17P, P33P, P11E, P10E y P10AE donde P10E y P10AE son los más afectados ya que poseen suelos arenosos que facilitan la infiltración de las aguas de rebalse provenientes del río Jacha Jahuira, lo que confirma el efecto que tiene sobre los pozos cercanos.

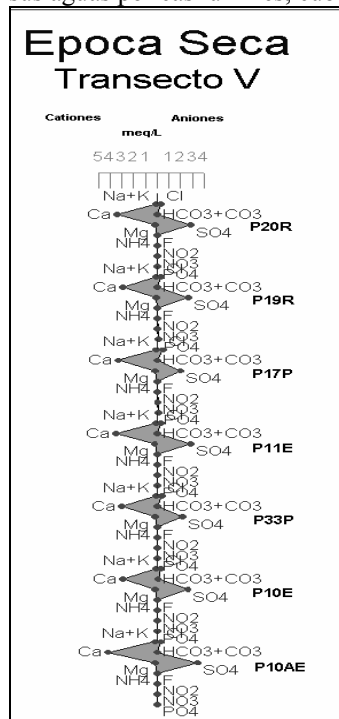


Figura No 3.3 Stiff C: V transecto se Norte a Sur.

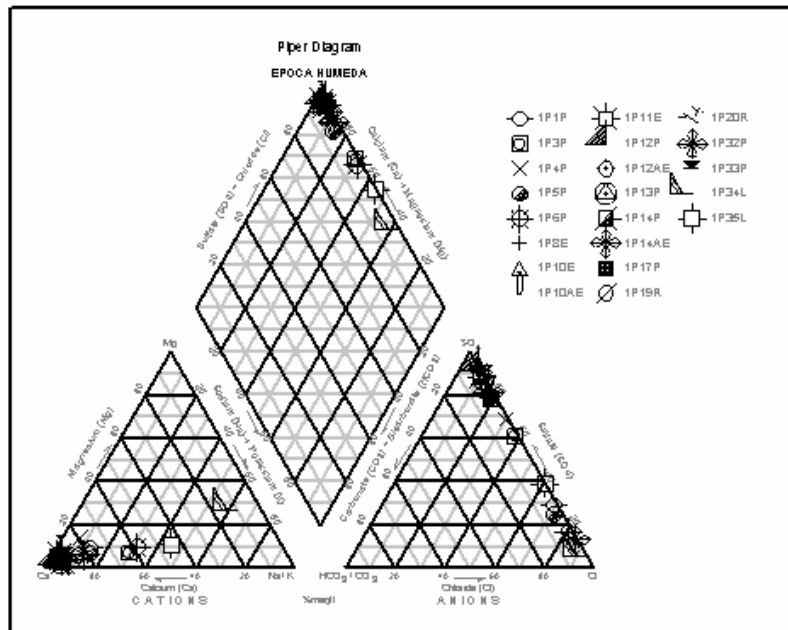


Figura No 3.4: Diagrama Piper-Hill de la época seca.

Si bien las áreas de integración (ó formas) de los polígonos del río Jacha Jahuira (P19R y P20R) son

iguales al de los pozos muestreados, y en particular a los que pertenecen a la zona de inundación, no son iguales en intensidad de área, el río posee menor área de integración que los pozos excavados, este hecho se debe a que el río es un cuerpo de agua superficial en movimiento continuo y las aguas subterráneas muestreadas son cuerpos de agua estacionarias que van acumulando concentraciones con el paso del tiempo y con el grado de exposición al medio ambiente.

### Resultados de iones predominantes

La figura No 3.4 ayuda a dar una clasificación inmediata de acuerdo a los iones mayoritarios que se cuantificaron en las tres salidas de campo. Solo se muestran los datos de época seca ya que son los más representativos.

Según la clasificación de Piper-Hill [8] se observa que en los tres muestreos realizados, las muestras de aguas superficiales, sub-superficiales y subterráneas analizadas presentan el mismo comportamiento, *Sulfatada-cloruradas-cálcicas*.

Esta clasificación muestra que tanto  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , son los tres iones que se encuentran en mayor proporción en los cuerpos de agua muestreados, (río Jacha Jahuíra, río Tujsa Jahuíra, lago Titicaca, pozos excavados y pozos perforados).

Si bien el diagrama Piper-Hill ayuda a tener una idea de algunos de los iones predominantes presentes en el área de estudio, las figuras SIG No 3.5 y No 3.6 brindan información de la predominancia de cationes y aniones respectivamente dentro un punto y su distribución dentro el área de estudio.

En la figura SIG No 3.5 las áreas mayores en las barras graficadas pertenecen a  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  que van disminuyendo desde la época seca a la húmeda y en la figura SIG No 3.6 se muestra la predominancia de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ , seguidos por la presencia de  $\text{HCO}_3^-$ .

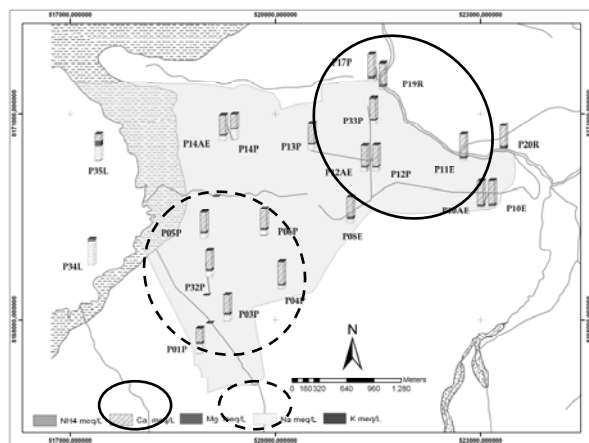


Figura SIG No 3.5: % meqL<sup>-1</sup> cationes predominantes en época seca.

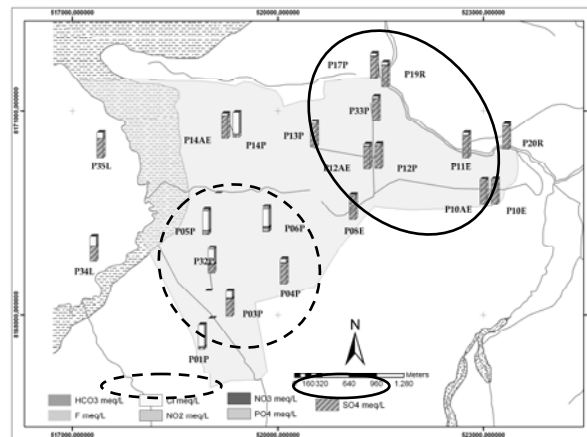


Figura SIG No 3.6: % meqL<sup>-1</sup> aniones predominantes en época seca.

En estas dos figuras SIG se observa que las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  se encuentran en mayor proporción en proximidades al río Jacha Jahuíra presentando una disminución de este par de iones en la zona Sur de Belén Pituta "B" pero un aumento del par  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  como se mostró anteriormente en los diagramas Stiff.

Para corroborar esta distribución se analizó las isolíneas generadas dentro el área de estudio, convirtiéndose en una herramienta más completa para la interpretación de la distribución geológica de los iones predominantes. Se dividieron en grupos de acuerdo al tipo de agua subterránea, es decir, pozos perforados y excavados; es así que la figura No 3.7 muestra el comportamiento de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , en pozos perforados durante época seca. En la zona cercana al río Jacha Jahuíra, se observa una zona inferida de mayor concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (90 mgL<sup>-1</sup> y 180 mgL<sup>-1</sup> respectivamente) en pozos perforados que se mantiene proporcional de acuerdo a la época climática. Las zonas de altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (17 y 65 mgL<sup>-1</sup> respectivamente) están ubicados en los pozos perforados cercanos al lago Titicaca (P1P, P3P, P4P, P5P, P6P, P32P, P34L, P35L).

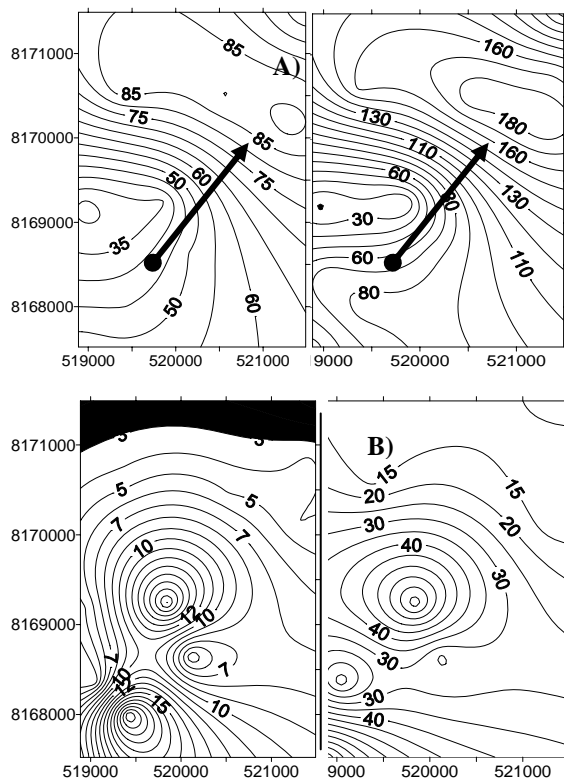


Figura No 3.7: Isolíneas de concentraciones en pozos perforados durante época seca. A) Par  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , B) Par  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ .

Por tanto se podría decir que los cuatro iones que abarcan de un 70% a 90% de los sólidos totales disueltos son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , seguidos por la presencia de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ , tres iones que abarcan un 10% a 30% de los sólidos totales disueltos. Sin embargo los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  son los que predominan entre todos los iones analizados en la zona de Belén Pituta "B".

Un fenómeno observado en las isolíneas generadas es el flujo de las aguas sub-superficiales (pozos excavados de profundidad entre 1 a 4m) y subterráneas (pozos perforados de profundidad entre 40 a 80m).

Comparando las isolíneas entre 40 a 80m de la figura No 3.7 con las isolíneas entre 1 a 4 m de profundidad de la figura No 3.8, se puede observar dos direcciones de flujos de agua. En los acuíferos de profundidades entre 40 a 80 m de profundidad, el flujo posee una dirección de Sur-Oeste a Nor-Este, efecto que podría ser debido a la infiltración de las aguas continentales del lago Titicaca dado que se trata de un cuerpo de agua de gran volumen y profundidad que también podría tener mayor influencia a estas profundidades. Para el caso de los acuíferos de 1 a 4m la dirección del flujo es de Sur-Este a Nor-Oeste, que podría ser debido a la infiltración de aguas del río Jacha Jahuira que es un cuerpo de agua superficial de profundidad

relativamente pequeña el cual podría infiltrarse con más probabilidad a estas profundidades y también a los suelos arenosos presentes en esta área.

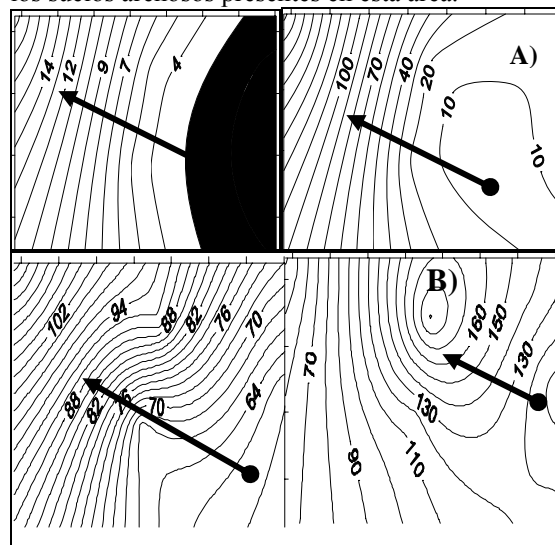


Figura No 3.8: Isolíneas de concentraciones en pozos excavados durante época seca. A) Isolíneas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  respectivamente, B) Isolíneas de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  respectivamente.

En consecuencia se puede atribuir el origen de los aniones y cationes determinados de la siguiente manera:

**Cloruros:** lavado del suelo lacustre que posee altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  como se mostró en la figura SIG No 3.6 de los aniones analizados, así también, por el ataque de las rocas sedimentarias evaporitas e hidrolitas.

**Sulfatos:** disolución de anhidritas, actividades urbanas y agrícolas.

**Bicarbonatos:** disolución de calizas por la acción de ácidos húmicos.

Dado que en los acuíferos no existen aportes de  $\text{CO}_2$ , el contenido en carbono disuelto permanece constante y puede suponerse que el contenido en  $\text{HCO}_3^-$  es también constante. [8], lo que justificaría los valores constantes de  $\text{HCO}_3^-$  determinados.

**Sodio:** procede del lavado de sedimentos de origen lacustre, del cambio de bases con arcillas y de la disolución de sales evaporitas.

**Potasio:** procede del ataque de feldspatos como ser ortosa, que posee  $\text{K}^+$  unidos a estructuras de Silicio, de la fijación al terreno por las arcillas presentes para su posterior lavado.

**Calcio:** Procede de la disolución de calizas, yeso y anhidritas presentes, también puede ser debido al ataque de ciertos feldspatos cálcicos.

**Magnesio:** Procede del ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos y del lavado de rocas evaporíticas.

Observando la figura No 3.2 (Stiff B), de pozos perforados y excavados, se tiene que las mayores concentraciones se encuentran en los pozos excavados, a profundidades de 1 a 4 m, esto significa que los iones mencionados se encuentran a pequeñas profundidades lo que ayuda a corroborar que el origen de suelos y rocas son sedimentarios ya que de no ser así, tendríamos el mismo rango de concentraciones en los pozos perforados (mayores profundidades).

Otra hecho que ayuda a corroborar este origen, es el polígono del río Tujsa Jahuira (P22R), donde se observa mayor área de integración debido a que este se genera únicamente en época de lluvia, lavando las concentraciones de iones acumuladas en los suelos durante un período corto del ciclo hidrológico. Por otro lado podemos observar que la estratificación de rocas y minerales en los suelos no es homogénea.

Sabiendo que los suelos de Belén Pituta "B" son de origen fluvio-lacustres, es decir, suelos sedimentados con sales precipitadas después de la evaporación de aguas del lago Titicaca; si bien estas mismas sales se encuentran disueltas en el lago, en la figura No 3.1 (Stiff A), se observa que el ion  $\text{Ca}^{2+}$  se encuentra en menor proporción que  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  durante época seca y desapareciendo en época húmeda.

Es lógico suponer que si  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  provienen principalmente de aportes de suelos yesíferos, en el volumen de un cuerpo superficial, como es el lago Titicaca, estas concentraciones serán pequeñas comparadas con  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , las cuales dado el origen lacustre justifican su existencia mayoritaria y su respectiva dilución en época húmeda.

### Parámetros permisibles para agua potable

En la tabla N° 3.1 se detallan si los analitos cumplen o no los límites permisibles establecidos para agua bebibible.

ANALITO	CONC. MAYOR (MGL <sup>-1</sup> )	LÍMITE PERMISIBLE (MGL <sup>-1</sup> )	¿SOBREPASA LOS LÍMITES PERMISIBLES?
$\text{Ca}^{2+}$	95,45	200 (OMS)	No
$\text{SO}_4^{2-}$	191,46	400 (OMS)	No
$\text{Na}^+$	22,16	200 (OMS)	No
$\text{Cl}^-$	183,44	250 (OMS)	No
$\text{Mg}^{2+}$	5,46	30 (CEE)	No
$\text{NO}_3^-$	3,28	44 (EPA)	No
$\text{F}^-$	0,98	1,5 (OMS)	No

Tabla No 3.1: Concentraciones evaluadas según los límites permisibles.

Se consideran los valores máximos permisibles establecidos en las normas: OMS-1985, EPA de los Estados Unidos, Comunidad Económica Europea para agua potable así como las normas establecidas en el Reglamento del Medio Ambiente (RMA) de la ley boliviana 1333.

Como se puede observar en la tabla No 3.1, ninguno de los iones mayoritarios analizados en las aguas bebibles de la comunidad de Belén Pituta "B" sobrepasan los límites permisibles estipulados por las organizaciones citadas.

## EXPERIMENTAL

### Ubicación geográfica del área de estudio

Belén Pituta "B" se encuentra en el altiplano Norte de Bolivia dentro el municipio de Guaqui, provincia Ingavi del departamento de La Paz, limita al Norte con el lago Titicaca y el municipio de Tiahuanacu, al Sur con el municipio de Jesús de Machaca, al Este con el municipio de Tiahuanacu y el Oeste con el municipio de Desaguadero. Posee un rango de altura entre 3 800 a 3 900 m.s.n.m. una latitud Sur de 16°35' y longitud Oeste de 69°10'.

Geológicamente se encuentra dentro de un depósito fluvio-lacustre y en la dirección Sud-Este del área de estudio se encuentra formado un abanico de aluvial conteniendo areniscas, arcillas, limos y gravas [3]. Los abanicos aluviales son cuerpos sedimentarios de acumulación de dimensiones variables de morfología conoidal.

### Metodología de muestreo

Se tomaron muestras en cuerpos de agua subterránea y superficial. El agua subterránea muestreada pertenece a dos tipos de pozos, excavados (profundidad entre 1 a 4 m) y perforados (profundidad entre 40 a 80m).

Se establecieron 23 puntos de muestreo en total, 10 en pozos perforados (P), 6 en pozos excavados (E) y 7 en aguas superficiales (R y/o L), 2 en el río Jacha Jahuira, 1 en el río Tujsa Jahuira, 2 en un riachuelo y 2 en el lago Titicaca).

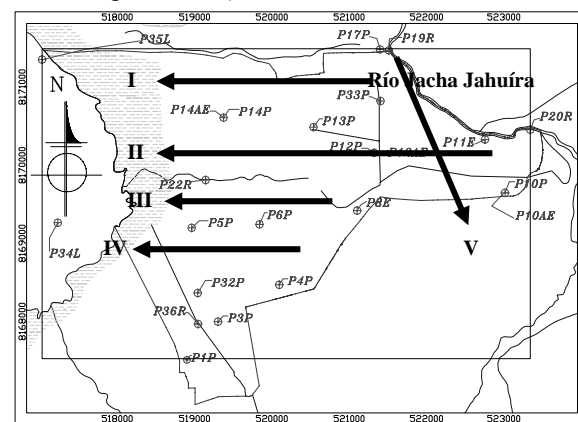


Figura No 2.1: Ubicación de puntos de muestreo y los cinco transectos trazados.

### Metodología de análisis

TÉCNICA	ANALITO
Espectrofotometría de Absorción Atómica	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> y K <sup>+</sup>
Espectrofotometría de Ultra Violeta-Visible	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cromatografía Iónica	F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

Tabla No 2.1: Técnica empelada para cada analito.

### Equipos de medición cuantitativa

Espectrofotómetro de Absorción Atómica, *Perkin Elmer, AAnalist 100*; Espectrofotómetro Spectronic UV-Visible, Unicam de doble haz Helios  $\lambda$ ; Cromatógrafo de Iones Perkin Elmer Alltech.

### CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, utilizando los diagramas piramidales Piper-Hill, se puede concluir que:

- El tipo de agua subterránea en la zona de estudio (Belen Pituta B) es *sulfatada-clorurada-cálcica*.
- El efecto de dilución en pozos perforados y excavados es menor al producido en cuerpos de agua superficial, debido a la profundidad en la que se encuentran las bolsas de agua y al tipo de suelo que las contiene.
- Los pozos perforados, P1P, P3P, P4P, P5P, P6P y P32P, ubicados en la zona sur del área de estudio, poseen menores concentraciones fisicoquímicas determinadas debido al tipo de origen de los suelos en esta zona, depósitos fluvio-lacustres.
- El río Jacha Jahuira es fuente aportante de iones Ca<sup>2+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en pozos perforados y excavados P17P, P8E, P10E, P10AE y P11E.
- Los flujos de agua determinados son de dos tipos, sub-superficial (entre 1 a 4m) y subterráneo (entre 40 a 80m), con direcciones de Sur-Este a Nor-Oeste y de Sur-Oeste a Nor-Este.

Como conclusión final se puede decir que los pozos perforados de agua subterránea de la región de Belén Pituta "B" Sí son aptos para el consumo humano debido a que ningún ión determinado y evaluado sobrepasa los límites permisibles estipulados por la OMS (1985), EPA (1998), CEE (1993) y RMA de la ley 1333.

### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento enorme al:

Jefe de Laboratorio de Hidroquímica, UMSA, Lic. Quintanilla Jorge, por toda la colaboración brindada para la realización de este trabajo. M Sc. Ramos R. Oswaldo, Ph.D. Choque Rigoberto y al Dr. Gemio Rómulo por su constante guía y apoyo en todas las facetas de este trabajo.

Ing. Geógrafo Flores Henry por la colaboración en la creación de los mapas SIG.

### REFERENCIAS

- 1: Egger Anne/ E., M.A./M.S; El Ciclo Hidrológico "El viaje del agua a través del tiempo" Visionlearning Vol. EAS-2 (2s), 2003.
- 2: Lewis W.L. 1988, S.S. Foster, B.S. Drasar, C.E.P.I.E.S/O.P.S. "Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistema de saneamiento básico"
- 3: Mapa Geológico de Tiahuanacu y Jesús de Machaca, 1994; SERGEOMIN- Bolivia. Esc. 1:100000. SGB Serie I- CGB-31.
- 4: APHA, AWWA, WPCF, 1992; "Métodos Normalizados" para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Diaz Santos, SA; 4-199 pp.
- 5: A.C. Bratton y E.K. Marshall, 1939, J. Biol. Chem, 128, 537 pp
- 6: K.F. Grasshoff, 1976, "Methods of seawater Analysis", Verlag Chemie, 126-135 pp
- 7: J.C. Valderrama, 1981, "The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters", Marine Chemistry, 10, 109-122.
- 8: Custodio E., Llamas M. 1983; "Hidrología Subterránea" Tomo I, Ed. Omega, 2<sup>da</sup> Edición.
- 9: Foth H.D., L.M. Turk, C.E. Millar, 1975 "Fundamentos de la ciencia del suelo", C.E.S.A.
- 10: Arboleda V. J. (2000), 3<sup>a</sup> Ed. Tomo I, Univ. Minnesota, "Teoría y practica a la purificación del agua"
- 11: Reglamento del Medio Ambiente, Bolivia.
- 13: Appelo C.A.J., Postma D., 1999; "Geochemistry, GroundWater and Pollution".
- 14: Foster, S.S. 1976, The vulnerability of British groundwater resources to pollution by agricultural leachiest. Ministry of Agriculture. Fisheries and Food Technical Bulletin No. 32, 68-91 pp.