

EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS EN EL SECTOR DE PICA HOYA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL I REGION-CHILE

SALAZAR, CARLOS (DGA),

ROJAS, LUIS (DGA),

POLLASTRI ALBERTO (CCHEN)

*Dirección General de Aguas, Morandé 59. Piso 8. Santiago
Comisión Chilena de Energía Nuclear. Amunategui 95. Santiago*

RESUMEN

Las aguas subterráneas con ocurrencia en las localidades de Pica, Matilla y Esmeralda, ubicadas en el norte de Chile, Provincia de Iquique, dentro de la cuenca hidrográfica de la Pampa del Tamarugal, presentan características físicas y químicas especiales en una zona de extrema aridez y con estructuración hidrogeológica compleja.

El objetivo del trabajo es evaluar los recursos hídricos en un área donde el grado de fracturamiento y la influencia hidrotermal introducen un elemento de alta complejidad, que se traduce en notables variaciones de la composición de las aguas dentro de áreas muy localizadas.

Utilizando información isotópica e hidroquímica como complemento a las herramientas tradicionales de la hidrología, se efectúa una caracterización de la dinámica del flujo subterráneo y de los procesos de recarga. Permitiendo estimar a partir de un análisis de carácter regional como de tipo local la recarga sobre el sistema subterráneo.

INTRODUCCION

El presente estudio de investigación tiene por objetivo, efectuar una evaluación de las aguas subterráneas del sector de Pica, Matilla y Esmeralda, y consecuentemente estimar la disponibilidad del recurso para su aprovechamiento en dicha zona. La zona de estudio es de extrema aridez, con información hidrológica reducida y donde la geología con alto grado de fracturamiento, introduce además un mayor nivel de complejidad en la evaluación, hizo necesario el empleo de metodologías complementarias a las convencionales. Esta presentación tiene por objeto presentar en forma sintética los resultados obtenidos en este trabajo.

Area de Estudio

El área de estudio abarca zonas que varían entre 4.500 m.s.n.m. al noroeste y 1.000 m.s.n.m. al sudoeste. Esa diferencia está relacionada

con la particular situación geográfica de la región y dentro de sus límites agrupa transversalmente las unidades geográficas Depresión Intermedia o Pampa del Tamarugal, Cordillera del Medio y Altiplano. La cuenca de Pica, ha sido delimitada al norte por la línea divisoria de aguas de las Quebradas Tambillo y Juan de Morales, y al sur por la de la Quebrada Chacarilla. Dentro de la cuenca de Pica la distribución de las precipitaciones anuales fluctúa de 10 a 150 mm, incrementándose desde la zona del oasis de Pica situado a 1.500 m.s.n.m, hacia los Altos de Pica por sobre los 4.000 m.s.n.m.; cabe señalar que principalmente estas ocurren sobre los 2500 m.s.n.m. (figura n°1). Existe una fuerte variación interanual, observándose frecuentes períodos de varios años seguidos comparativamente secos.

El régimen hidrológico de la cuenca de Pica, incluye escurrimientos esporádicos superficiales y principalmente flujo de aguas subterráneas desde la Cordillera de los Andes Occidental en dirección oeste. En la cuenca no existe registro de los flujos superficiales, debido a que son escasos e intermitentes produciéndose en las zonas de cabecera de la cuenca (sobre 2500 m.s.n.m.), con una clara dependencia del período de precipitaciones del invierno altiplánico. Prácticamente todo el escurrimiento se evapora o infiltra. Por otra parte, existen flujos producto del afloramiento vertientes y socavones en la zona de Pica y Matilla, presenta caudales totales regulares con un promedio es de 50 l/s. No obstante lo anterior, se ha detectado en los últimos años que algunas vertientes han experimentado disminuciones significativas de sus caudales, situación que se presume es ocasionada por efecto de posibles interacciones locales. Con relación a la calidad de las aguas, las vertientes presentan una baja conductividad, siendo del tipo carbonatado-sodicas, con pH neutro a básico, en torno al rango 7-8.

En relación con la geología las rocas del complejo geológico-estructural están separadas por una notable discontinuidad que las divide en dos grandes grupos o sistemas: Rocas Preterciarias o Fundamentales y Rocas o Materiales Terciarios-Cuaternarios. Ambos grupos son relevantes desde el punto de vista hidrogeológico; las rocas preterciarias, formadas por rocas sedimentarias, volcánicas, metamórficas y cristalinas intrusivas, por constituir el basamento impermeable y, los materiales terciarios-cuaternarios, por configurar el material con potencial de almacenamiento y flujo subterráneo. Su composición es variada, presentando entre las unidades Pampa del Tamarugal y Cordillera del Medio, el afloramiento de cuerpos de rocas preterciarias impermeables del Mesozoico (formación Longacho), producto del sistema de falla regional con dirección Norte-Sur,

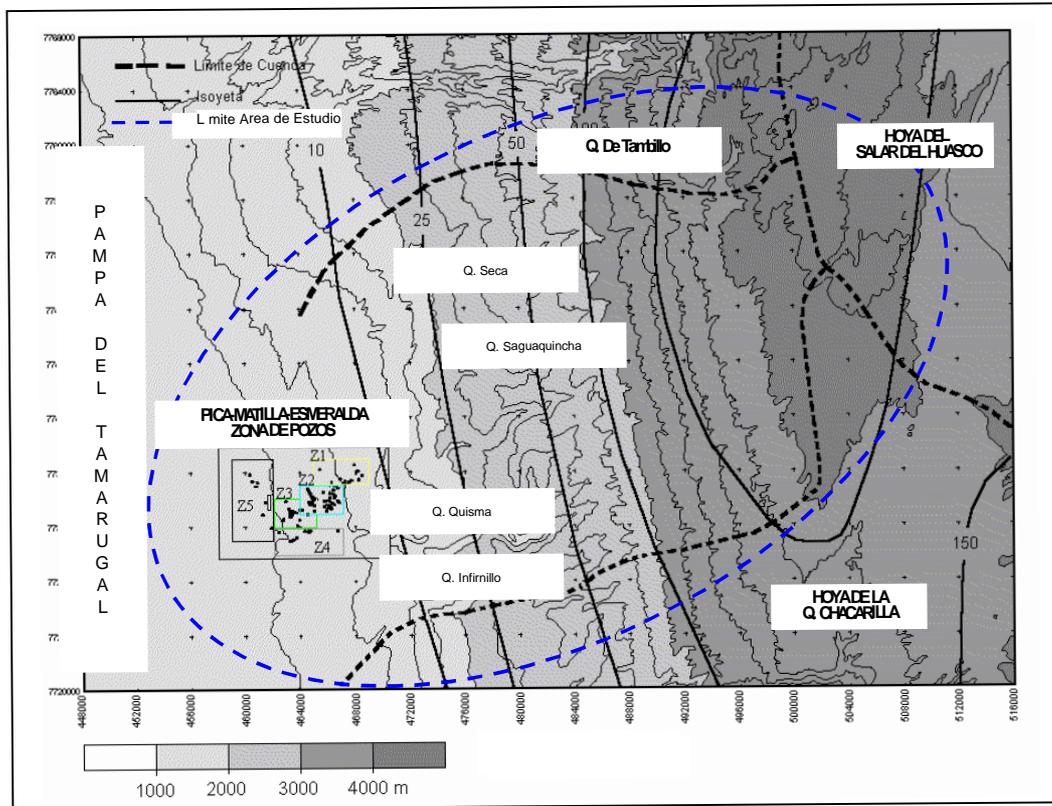


Figura n°1 - Área de Estudio y Delimitación Cuenca de Pica, (Hidrología P50%)

conformando una barrera para el escurrimiento de aguas superficiales y subterráneas que provienen del oriente de la región. Sobre esta formación se aprecian dos sistemas de fallas, uno de orientación NE-SW que se extiende desde Collacagua hacia Altos de Pica y otro con orientación N-S localizado en los Altos de Pica. Estas fracturas controlarían el sistema de recarga del agua subterránea que aflora en Pica.

Por su parte, el sistema cuaternario está definido por alteraciones muy diversas y repetidas de acumulaciones continentales clásticas. Dentro del área de estudio, este relleno está situado sobre la Formación Altos de Pica, y su potencia no supera los 100 m al poniente de la línea Cerro Longacho-Matilla-Puquio Nuñez (Esmeralda), hacia el oriente, en la localidad de Pica, habitualmente pueden encontrarse sedimentos cuaternarios con menos de 30 m de potencia. Finalmente, también son delgados los depósitos cuaternarios en la cuenca altiplánica del Salar del Huasco, donde las acumulaciones efectivamente alcanzan entre 30 y 50 m de potencia.

El flujo subterráneo en la zona de Pica esta determinado por la hidrogeología regional, en efecto, las precipitaciones altiplánicas producen infiltraciones profundas en zonas fracturadas sobre estratos rocosos densamente diaclasados, que se ubican en los Altos de Pica, las que posteriormente a un lento tránsito confinado hacia el oeste por alguno de los miembros de dicha formación, afloran en Pica debido a la interrupción ejercida por el bloque levantado de la serranía de Longacho que, por estar constituido por rocas antiguas muy poco permeables, actúa como una barrera hidráulica. Esta complejidad hidrogeológica, por la escasa información existente, plantea tanto interrogantes en el ámbito regional como local.

Localmente se verifica la existencia superficial de un relleno cuaternario receptor y conductor sumamente heterogéneo, con una potencia media cercana a 30 m, compuesto de alteraciones repetidas de diferentes tipos de acumulaciones y cubierto de depósitos eólicos. Todo el conjunto funcionando como acuífero libre de baja permeabilidad y gasto específico. Bajo éste relleno se presenta un acuífero alimentador y conductor, que en partes se presenta confinado y en otras conectado con el acuífero libre, contenido en un estrato rocoso diaclasado y preferencialmente fracturado.

Resultados

La caracterización de la zona de estudio, en el marco de los objetivos definidos, se efectuó sobre la base de la revisión de antecedentes existentes mas el desarrollo de labores de terreno que se tradujeron en muestras de pozos y vertientes, totalizando 111 análisis de calidad de aguas y 99 análisis isotópicos.

Aguas Meteóricas

Los antecedentes muestran una considerable variación isotópica entre las precipitaciones ocurridas durante el verano o "invierno altiplánico" y las caídas durante el invierno, no obstante todos los puntos se enmarcan dentro de la RML (DGA-CCHEN, 1985). La ponderación del valor pareciera indicar la existencia de un "efecto altura" oeste-este, sin embargo, el estudio sobre origen del vapor de agua en precipitaciones (DGA-UCh,1985), indica que las masas gaseosas tienen su origen en la cuenca amazónica y penetran desde el Norte o del Este; en el caso de precipitaciones de invierno, el origen de las masas de aire se encuentra en el Caribe a latitudes más bajas que la de la cuenca amazónica y penetración aproximadamente desde el Noroeste.

De acuerdo con esto, el empobrecimiento isotópico de las precipitaciones se produciría debido a que las masas de aire que se proyectan hacia el oeste (viento del Este) pertenecen a la parte superior de la nubosidad convectiva . En consecuencia, el agua que precipita ha sufrido una marcada evaporación en su largo trayecto por una atmósfera no saturada. La figura n°2 muestra toda la información de contenido isotópico disponible, se puede advertir que existe una mayor dispersión con el aumento de altura. La figura n° 3 muestra el contenido isotópico de las precipitaciones en función de la cantidad precipitada y estratificadas en tres rangos de altura, en este caso se produce mayor dispersión mientras menor es la cantidad precipitada, probablemente debido a la magnitud de la evaporación y el consecuente incremento de concentración, dependen de la temperatura y del grado de saturación del vapor de agua atmosférico. Cuando las precipitaciones son muy intensas, dicho efecto es poco significativo, puesto que la atmósfera se satura rápidamente de vapor de agua. Por otra parte se ha trazado una mediana entre las envolventes que delimitan los rangos de ocurrencia para representar el contenido isotópico medio, donde resulta interesante observar como su utilización conjunta con la curva hipsométrica y la distribución de isoyetas de la Quebrada de Quisma, permiten generar una curva de contenido medio de O-18 en función

de la altura, con un desarrollo similar al observado en los flujos bases de los ríos de las quebradas adyacentes afluentes a la Pampa. El desfase existente entre estas curvas puede ser atribuido, entre otras cosas, a procesos evaporativos de recarga ocurridos durante: la fusión de nieves, el escurrimiento en la zona no saturada ó directamente sobre el escurrimiento superficial, sin embargo lo interesante es que a través de este enfoque es posible aproximar el contenido isotópico de los flujos bases.

Aguas Superficiales

La composición isotópica del flujo base de los ríos muestra como tendencia general un enriquecimiento isotópico con la disminución de altitud, indicando evidencias de evaporación desde los cauces. Es particularmente interesante observar que, con excepción de las aguas subterráneas de Pica, la tendencia isotópica del flujo base de los ríos, define un límite inferior para el contenido de ^{18}O de las aguas subterráneas de la Hoya de la Pampa del Tamarugal. Esto último es de gran importancia, puesto que confirma en primera instancia que la recarga del acuífero de Pica principalmente debiera generarse en la zona alta de la cuenca.

Vertientes y Aguas Subterráneas

El acuífero de Pica posee las aguas subterráneas con menor contenido isotópico dentro de la Hoya de la Pampa del Tamarugal, presentando un rango que va desde -13.2 a -7.6 ‰ SMOW en ^{18}O y -101 a -71 ‰

SMOW en ^2H , situándose preferencialmente las aguas más livianas en las vertientes y pozos de las zonas altas y las más pesadas en la parte baja (zonas 1-2 y zonas 3-4-5 de figura 1, respectivamente). Se observa en general un fraccionamiento cinético siguiendo una recta que se aleja de la meteórica con pendiente de 5.3. Esta tendencia indicaría la existencia de procesos evaporativos debido a las actividades de riego, actuando preferencialmente en zonas de mayor retención o menor recarga. No podemos desconocer también sobre este escenario, la existencia de aguas con distinto origen de recarga, que por ubicación geográfica cercana a las quebradas Secas y Chintaguay e independientes a las áreas de cultivo, posean en forma natural un contenido isotópico mayor. No obstante, de acuerdo a lo que puede observarse en la figura n°4, estas representan un pequeño porcentaje respecto de la tendencia general observada, y representan casos particulares asociados a zonas de baja recarga

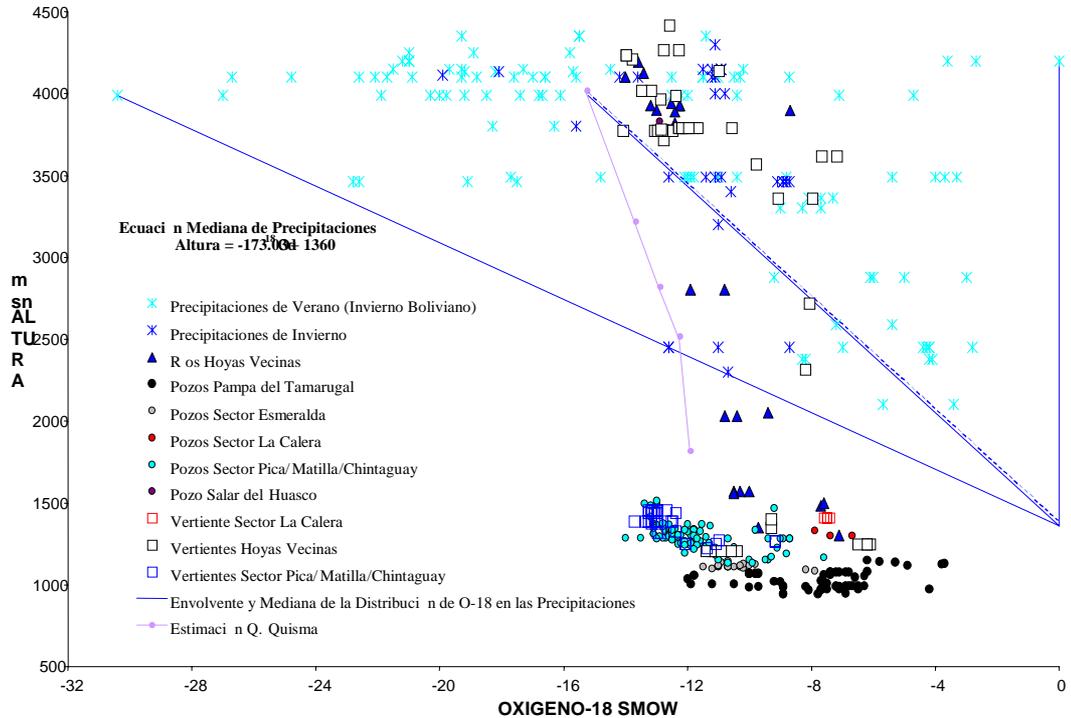


Figura n°2 - Altura vs oxígeno-18, distintas fases del ciclo hidrológico. Provincia de Iquique

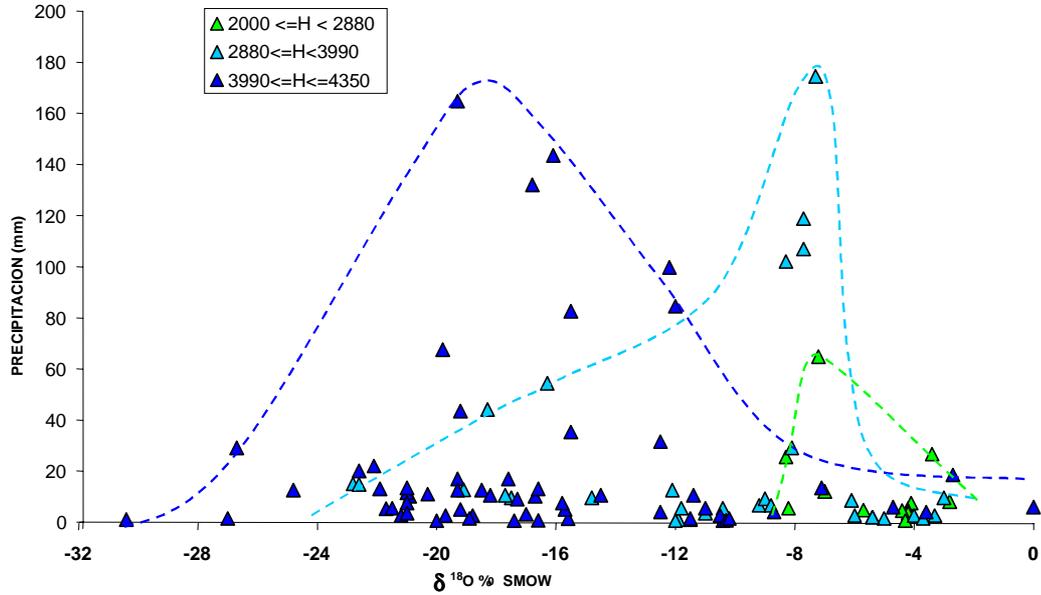


Figura n°3 - Distribución de oxígeno-18 en función de la cantidad precipitada y de la altura

Se puede evidenciar un cierto límite superior del contenido de ^{18}O para las aguas representativas de la recarga, que no estarían influenciadas por las actividades de riego debido a que se ubican en forma previa al fraccionamiento isotópico. Es particularmente interesante observar que dentro de este rango, se encuentra aproximadamente el 70% de las vertientes y el 30% de los Pozos, y con excepción del sector 5, todos los demás sectores definidos están presentes. Consecuente con lo anterior, es posible definir como límite inferior para la recarga un contenido de $-12 \text{‰}_{\text{SMOW}}$ para el ^{18}O . A partir de la relación entre contenido de oxígeno y altura media de la cuenca aportante (CCHEN, 1984), es posible delimitar el área de recarga.

A partir del contenido de ^{14}C , ^3H y las correspondientes dataciones de acuíferos efectuadas en la región, es posible identificar 3 grupos de aguas: a) entre 10000 y 1000 años: Compuesto por aquellas aguas situadas en los extremos terminales de las cuencas endorreicas o que poseen la particularidad de haber transitado o estar en tránsito por medios de muy baja permeabilidad; b) entre 1000 y 100 años: Aguas del grupo a), localizadas en zonas potencialmente influenciadas por aporte de aguas modernas; y c) menor que 100 años: Aguas contenidas en acuíferos de alta permeabilidad, en zonas con escurrimiento superficial ocasional a permanente.

Hidrogeoquímica

Las muestras de agua colectadas en ambas campañas de terreno revelan para el acuífero de Pica un amplio rango de STD, que va desde 0,2 a 12,7 gr/l. No obstante, sólo el 10% del total de muestras sobrepasa los 2 gr/l y su localización se limita a sectores muy puntuales. (Ver figura n°5). Con el fin de identificar la naturaleza, fuente u origen de esta saturación de sales, se confeccionó un gráfico de la razón Na vs Cl (figura n° 6), al que se le ha incorporado como referencia otros grupos de aguas pertenecientes a la provincia de Iquique. En este gráfico se aprecia que las muestras de aguas saturadas presentan, una disminución de la razón normal Na/Cl. Este tipo de comportamiento ha sido observado con anterioridad en las aguas subterráneas y extremadamente salinas del Salar de Llamara (DGA, 1985), atribuyéndose a un intercambio catiónico entre el Ca^{+2} y el Na^{+} .

De acuerdo a lo anterior y debido a que el relleno cuaternario del área de Pica incluye acumulaciones de evaporitas yesíferas y sal común, no debe sorprender que existan en el acuífero zonas de saturación. El efecto antrópico, que se visualiza en el alto contenido de nitratos de estas muestras, sólo puede ser considerado complementario a la lixiviación natural de sales, debido al alto nivel de STD alcanzado.

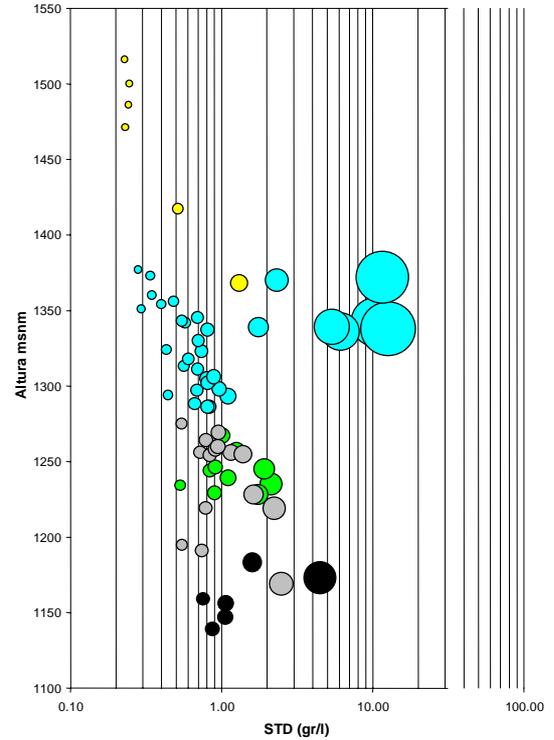
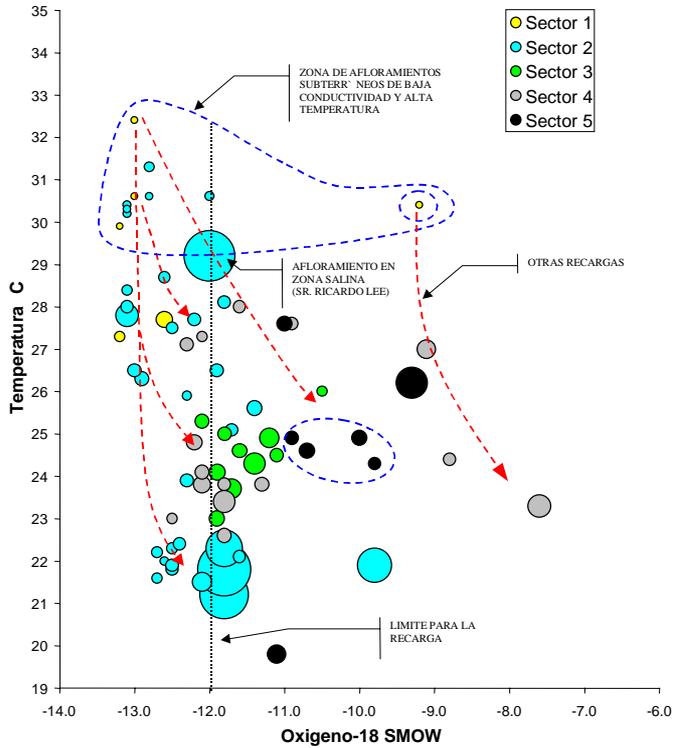


Figura n°4 - Relación por sectores entre la temperatura y el contenido de oxígeno 18

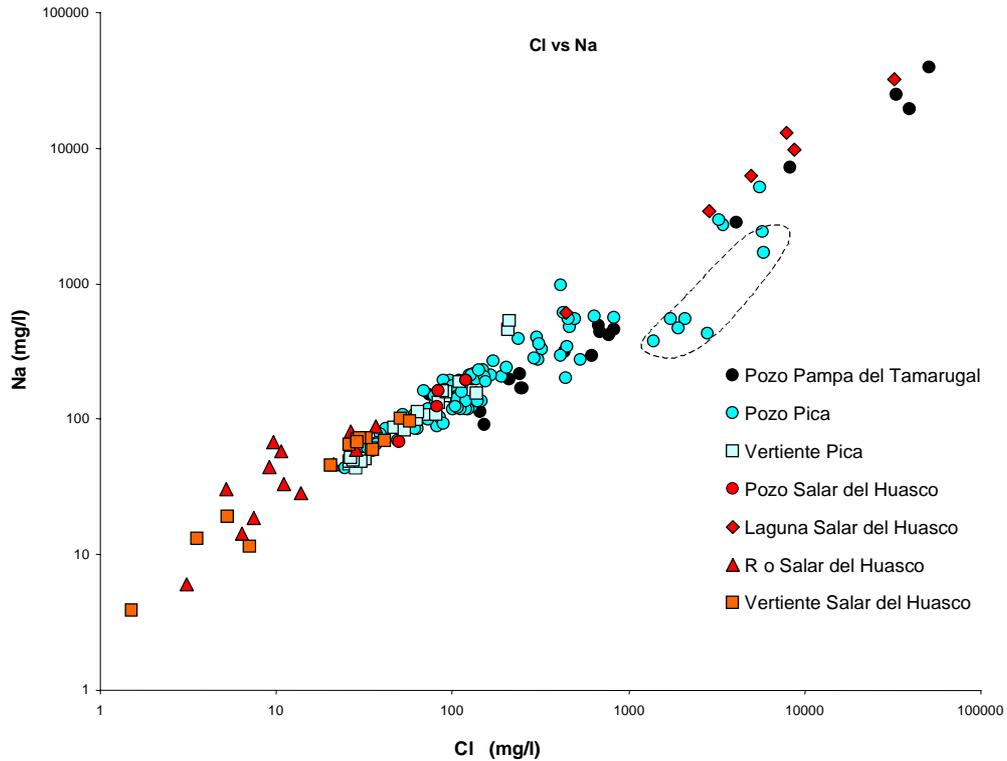


Figura n° 6 - Relación Na/Cl en aguas de las cuencas de la Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco

En la figura n° 7 se presentan en forma conjunta, los gráficos con el equilibrio iónico (expresado en porcentaje) y el respectivo contenido de STD de la muestra. Se incluye todas las muestras de agua incluidas en el área de Pica-Matilla-Esmeralda, en ella aparecen claramente definidas 2 grandes líneas de saturación por disolución. Saturación del SO_4 , que corresponde al aumento de STD debido a la disolución de yeso, y saturación de Cloruros debida a la disolución de NaCl. En cualquiera de los casos, el contenido de $\text{Ca}^{+2} + \text{Na}^+$ dentro del equilibrio catiónico representa en promedio el 92 % de los cationes presentes. Es dentro de esta relación, que el intercambio de cationes se produce sin afectar el equilibrio de aniones. Sin considerar estos focos de saturación, y volviendo al marco general de evolución química para las aguas de Pica/Matilla/Esmeralda, es posible apreciar que el aumento de STD se produce exclusivamente por disolución de evaporitas, en donde los carbonatos (HCO_3) se mantienen constantes y su disminución porcentual se refleja dentro de la distribución de los aniones.

Características Químicas Originales del Agua de Recarga

En el punto anterior queda definida en forma implícita la composición química original de las aguas que afloran como recarga al relleno cuaternario, esto es: aquellas aguas con baja conductividad, una relación de cationes del tipo $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ y de aniones $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Esta composición es similar a la observada en las vertientes que drenan desde los Altos de Pica hacia el Salar del Huasco, consecuencia bastante lógica considerando que ambas cuerpos de agua transitan por la misma formación geológica (Tqal).

Por otro lado, pero también muy relacionada con las características químicas originales de las aguas que afloran como recarga en la zona de Pica, está la temperatura, donde se observan importantes gradientes, dicho fenómeno se explica en la existencia puntual de zonas de afloramiento que no alcanzan la superficie en forma de vertientes, recargando directamente el acuífero superficial. Estos afloramientos se sitúan preferencialmente en las zonas de mayor altura y presentan aguas de menor conductividad y consecuentemente menor STD. Aquellos casos particulares en que se observa aguas con alta temperatura y contenido de STD, son el producto de afloramientos en zonas salinas, situación ya discutida en el punto anterior.

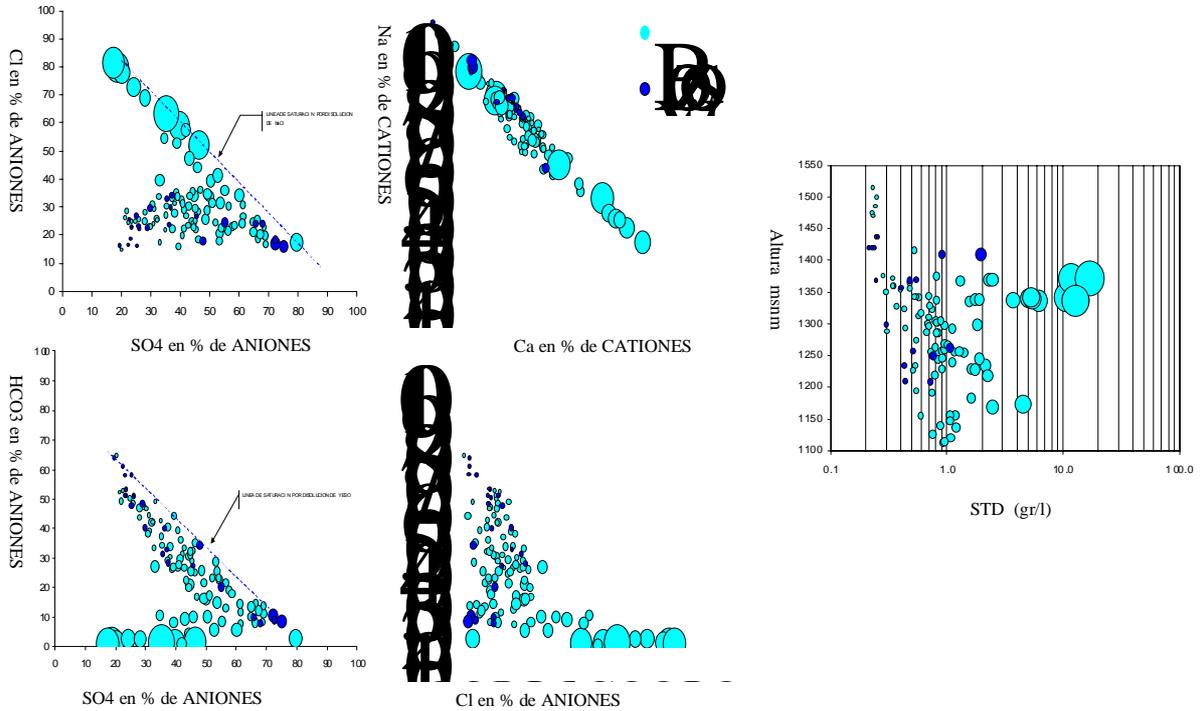


Figura n°7 - STD y Composición química de las aguas del acuífero de Pica y su distribución en altura

CONCLUSIONES

Sobre la base de la hidrogeoquímica y el análisis isotópico se ha podido establecer lo siguiente: a) las aguas del acuífero de Pica corresponden a un mismo cuerpo de agua, que evoluciona a partir de una condición inicial de alta temperatura, baja conductividad y bajo contenido de ^{18}O , b) teniendo en cuenta la delimitación hidrológica entre el sector de Pica y Salar del Huasco que determina Altos de Pica y que la edad relativa del acuífero subterráneo del Salar del Huasco es similar al que presentan las zonas terminales de los sistemas endorreicos, se concluye la existencia de una condición de impermeabilidad, entre ambas unidades, d) se define para el acuífero de Pica un límite inferior de la recarga de -12‰ SMOW para el contenido de ^{18}O . Para lo cual se establece que la recarga se genera principalmente a partir de 3500 m.s.n.m.

REFERENCIAS

SALAZAR C.; ROJAS L; POLLASTRI A., 1998. Evaluación de Recursos Hídricos en el Sector de Pica, Hoya de la Pampa del Tamarugal, I Región. Dirección General de Aguas.

SUZUKI O.; ARAVENA R.1984. Hidrología Isotópica y el Recurso Agua del Sector Esmeralda-Pica-Matilla. Comisión Chilena de Energía Nuclear.

DGA; CCHEN. 1985. Estudios de Hidrología Isotópica Area Salar de Llamara Desierto de Atacama-Chile.

DGA; UCHILE. 1985. Estudio Sobre el Origen del Vapor de Agua que Precipita en el Invierno Altiplánico.