

## EXISTENCIA DE AGUA EN LA II REGIÓN DE CHILE: INTERROGANTES E HIPÓTESIS

*Pierre Pourrut \* , Alex Covarrubias \*\**

### Resumen

A pesar de la aridez de sus condiciones climáticas y del fuerte incremento de las extracciones, no se observa ninguna disminución del recurso agua explotado en la II Región de Chile. Los resultados de nuevos estudios, en especial aquellos referente a posibles modificaciones climáticas, permiten explicar en parte esta aparente antinomia.

**Palabras claves:** *Aridez, incremento demanda, recarga natural, formaciones detríticas, cambios climáticos.*

### LA PRÉSENCE D'EAU DANS LA IIÈME RÉGION DU CHILI : QUESTIONS ET HYPOTHÈSES

#### Résumé

Malgré l'aridité du climat et l'accroissement accéléré de l'extraction, on n'observe pour l'instant aucune diminution notable des quantités d'eau exploitées dans la IIème Région du Chili. Les résultats d'études récentes, particulièrement celles relatives à de possibles modifications climatiques, permettent dans une certaine mesure d'apporter quelques éclaircissements à cette apparente contradiction.

**Mots-clés :** *Aridité, demande en hausse, recharge naturelle, formations detrétiques, changements climatiques.*

### THE PRESENCE OF WATER IN THE II<sup>nd</sup> REGION OF CHILE: QUESTIONS AND HYPOTHESIS

#### Abstract

In spite of arid climatic conditions and the increasing human withdrawal of water, no diminution of the manageable water resources of the II<sup>nd</sup> Region of Chile is yet to be observed. Results from recent studies, particularly those relative to possible climatic changes, allow to some extent to cast a new light upon this paradoxical phenomenon.

**Key words:** *Arid conditions, increasing demand, natural recharge, detritic formations, climatic changes.*

---

\* ORSTOM, DEC-UR 21, Casilla 34, Correo 2, Antofagasta, Chile.

\*\* Universidad Católica del Norte, grupo UNIRHI, Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

## INTRODUCCIÓN

Frente a la extrema escasez de precipitaciones que impera en todo el espacio comprendido entre la franja litoral y la puna andina, en la II Región de Chile, la procedencia del agua usada por los distintos sectores de desarrollo constituye una incógnita preocupante: "*¿Cómo se forma?, ¿de dónde viene?, ¿cómo circula? y ¿cuánto tiempo demora en su tránsito hasta los sitios donde se la puede captar?*". Otra interrogante fundamental es la siguiente: "*A pesar del aumento acelerado de las extracciones, que han pasado de 5 000 a 8 000 l s<sup>-1</sup> en los últimos veinte años, ¿por qué no se ha identificado todavía ningún descenso notable de la producción de aguas?*".

La presente comunicación pretende responder, parcial y preliminarmente, a las preguntas arriba planteadas. Geográficamente, el estudio se limita a las zonas de explotación de las aguas, que se sitúan por sobre los 2 500 m de altura, en las cuencas altas y en el piedemonte andino, a unos 250 km de la capital regional.

Después de describir brevemente los grandes rasgos geográficos que condicionan la formación del agua en la zona y una vez analizada la información disponible al respecto, se presentarán algunos aspectos de las investigaciones más novedosas con el propósito de formular algunas hipótesis, en especial aquellas basadas en una interpretación de las condiciones climáticas vigentes en épocas del pasado.

### 1. FACTORES NATURALES CONDICIONANTES DE LAS RESERVAS DE AGUA

El ámbito pluvioclimático y el contexto geodinámico son los agentes del entorno geográfico que condicionan más directamente la formación, localización, importancia y calidad del potencial hídrico. En efecto, de estas dos variables dependen las cantidades y las características del tránsito de las aguas en el sistema hidrológico superficial y subterráneo.

#### 1. 1. Entradas de agua al sistema hidrológico - Marco pluviométrico

La región es extremadamente seca, con muy escasas precipitaciones. Son tres las causas principales de la aridez.

1 - Las características específicas de la circulación general de la atmósfera: la región se encuentra casi permanentemente bajo la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur, alimentado por el descenso de masas de aire frío y seco originado en latitudes ecuatoriales; como consecuencia, el tiempo es muy estable y caracterizado por altas presiones barométricas y cielos despejados;

2 - La proximidad de la Corriente de Humboldt, con aguas frías procedentes de la Antártica, disminuye la evaporación de las aguas superficiales del océano. Cuando ingresan al continente, las escasas masas así generadas, constituidas de aire relativamente frío y poco húmedo, no encuentran los requisitos termodinámicos de enfriamiento requeridos para precipitar y no se producen lluvias. Un caso especial ocurre en ciertas condiciones topográficas y de exposición de las vertientes, asociadas con condiciones de inversión térmica, bajo las cuales se forman neblinas llamadas *camanchacas* cuyo impacto es localizado;

3 - Las alturas elevadas de la Cordillera de los Andes contribuyen para aislar su vertiente pacífica del resto del continente suramericano puesto que van obstaculizando el

ingreso de las masas de aire de la vertiente atlántica, excepto durante la época correspondiente al verano austral, caracterizada por la posición más al sur del sol y una elevadísima radiación solar. En este período, entre diciembre y abril, las masas ascendentes generadas en el Chaco paraguayo argentino y el centro activo de altas presiones del Atlántico coinciden para empujar, hacia el oeste, masas de aire atlántico húmedo y caliente que provocan precipitaciones y tormentas. Las cúspides andinas se ven entonces cubiertas por el manto de nieve característico del *invierno boliviano* o *invierno altiplánico*.

La figura 1 presenta la situación general de la zona estudiada y las líneas de igual precipitación anual. Se debe notar que todo el territorio ubicado bajo los 3 000 m de altura está con lluvias inferiores a 10 mm y que las isoyetas 200 y 300 mm, en la zona altiplánica, resultan de extrapolaciones.

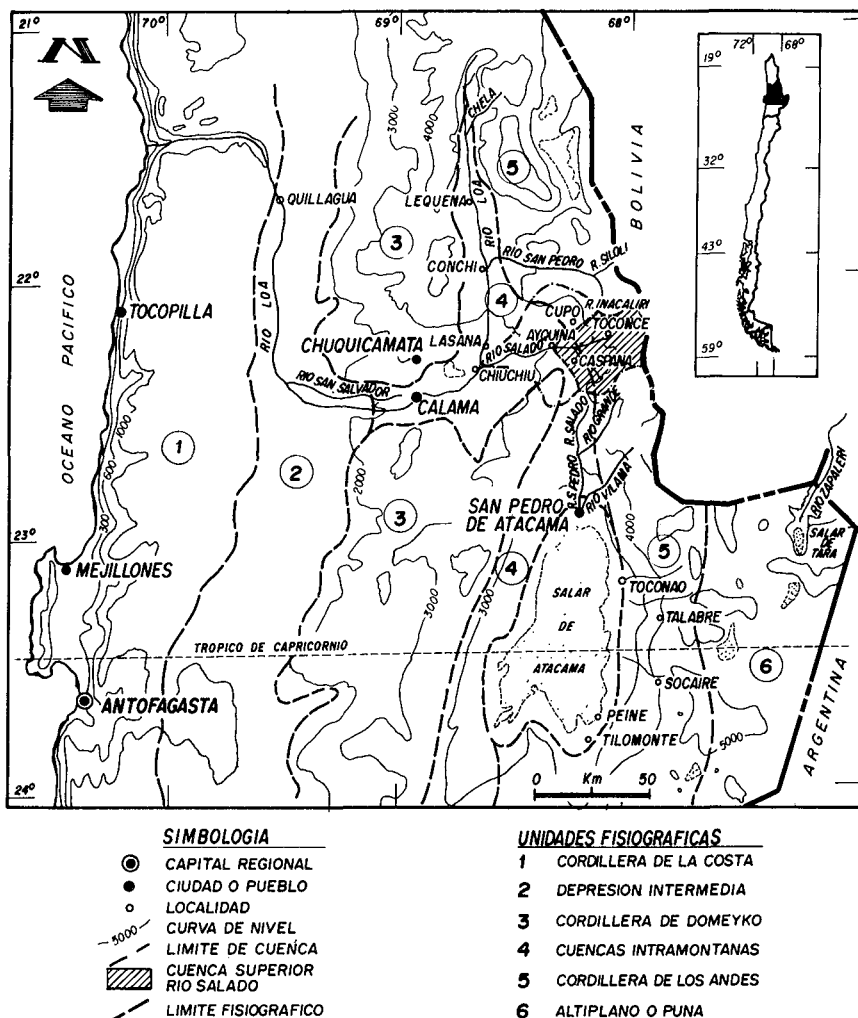


Fig. 1 - Mapa de ubicación.

## 1. 2. Transferencia y almacenamiento de las aguas - Contexto geodinámico

Las condiciones geológicas y la morfotectónica definen los distintos grados y tipos de permeabilidad: porosidad derivada de la litología, microfracturamiento y macrofallamiento. En el marco geotectónico global, la convergencia dinámica de la placa oceánica Nazca y del continente sudamericano es responsable de la notable actividad sísmica y del volcanismo activo que caracteriza la región oriental. Se ve también traducida en importantes fallamientos paralelos de orientación aproximada norte-sur que definen diferentes bloques alzados y fosas de hundimiento. Es posible distinguir seis compartimientos morfoestructurales de orientación norte-sur (Boric *et al.*, 1990), ubicándose los dos primeros y gran parte del tercero fuera de los límites del perímetro estudiado: - 1) la *Cordillera de la Costa* - 2) la *Depresión Intermedia* - 3) la *Cordillera de Domeyko* (Precordillera) - 4) las *Cuencas Intramontanas*, depresiones que separan la Precordillera de la Cordillera de los Andes; las principales son la cuenca superior del río Loa, la de su afluente el río Salado y la del Salar de Atacama; 5) la *Cordillera de los Andes*, cordón volcánico activo con estrato-volcanes cuyas altitudes frecuentemente sobrepasan 6 000 m de altitud; 6) el *Altiplano* (Puna), relieve relativamente suave con una altitud variable entre 4 000 y 4 400 m de altura y un sistema hidrográfico endorreico; está sólo presente en el extremo oriental de la región y se extiende hacia el este en territorio argentino y boliviano.

Ya que la gran mayoría de las rocas aflorantes, plutones y volcanitas, son de origen ígneo relativamente reciente, se da énfasis al período que abarca desde el Terciario Medio hasta el Cuaternario, cuando el frente magmático pasa a ocupar la posición actual y forma un cordón volcánico del que nació la Cordillera Principal de los Andes. Es importante citar

“... durante este período [Terciario Medio hasta el Cuaternario], imperó un clima hiperárido, con escasa erosión, aunque se formaron extensas cubiertas aluviales y algunos depósitos lacustres y salinos, que constituyen las actuales planicies (pampas) y salares localizados en la Depresión Intermedia y Cuencas Intramontanas” (Boric *et al.*, 1990).

## 1. 3. Conclusiones previas deducidas de las características del entorno ambiental

De lo que ha sido expuesto, se puede deducir que:

- las entradas de agua al sistema, tanto las actuales como aquellas de un pasado relativamente remoto, tienen que ser mínimas ya que las precipitaciones conocidas son muy escasas y que el ámbito desértico, según Boric *et al.* (1990), impera desde hace varios millones de años;

- en lo que se refiere al almacenamiento y a la circulación de las aguas en el medio subterráneo, las posibilidades aparentes son reducidas. En efecto, la secuencia estratigráfica publicada muestra muy pocas formaciones detríticas, quizás porque los trabajos geológicos han tenido un enfoque esencialmente minero, o quizás porque los resultados de los sondeos han sido mantenidos confidenciales. Además, pese a tener claro el panorama estructural a escala regional, los mapas no indican numerosas evidencias de fallamientos locales, en especial con un rumbo este-oeste.

En conclusión, las condiciones climáticas no parecen propicias para conformar escorrentías o infiltraciones de consideración ya que los parámetros de sublimación y

evapotranspiración son los más favorecidos. De igual manera, al referirse a la información geológica existente, tampoco parece que las condiciones son favorables para conformar capas acuíferas y facilitar su tránsito.

## 2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL BALANCE DE AGUA

Debido a su interés por la producción de agua, las cuencas hidrográficas del río Siloli y del río Salado (de esta última se están extrayendo 1560 l s<sup>-1</sup> para el agua potable y la gran minería) tienen instaladas antiguas redes de observación hidroclimatológica.

Con el fin de establecer su balance hídrico, se ha analizado en detalle (Kohnenkamp, 1993; Pourrut & Covarrubias, 1994; Covarrubias *et al.*, 1994) la información existente desde 1968 en el río Salado. La hoya (Fig. 2) se ubica sobre los 3 100 m de altitud y la zona de interés que controla el sistema cordillerano de producción de agua (estación de Ayquina) tiene una superficie de 784 km<sup>2</sup>. El total pluviométrico anual aumenta con la altura y varía entre 50 mm y alrededor de 200 mm, siendo elevadísima la irregularidad interanual. Un 90% de las precipitaciones ocurre entre diciembre y marzo, con lluvias diarias que raras veces pasan de 40 mm. Del 13 al 26 de febrero de 1977 se ha registrado un evento de frecuencia rara: 239 mm en Toconce, 223 mm en Linzor y 160 mm en Caspana, generando un pico de crecida de 370 l s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>.

Entre 1975 y 1990, los módulos específicos anuales fluctúan alrededor de 2 l s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>, con extremos mensuales entre 25 y 1,5 l s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>. La lámina escurrida es poco variable, con valores alrededor de 50 a 60 mm anuales, excepto cuando ocurren eventos anómalos, tal como en febrero del año 1977: en regla general, la lámina parece independiente de las precipitaciones que caen en la cuenca.

El cuadro 1 presenta los valores anuales de los parámetros del balance de agua, lo que permite evidenciar un resultado poco común: la lámina escurrida de los años secos es proporcionalmente elevada, hasta igualar o superar el valor de las precipitaciones.

Cuadro 1 - Balance hídrico en la hoya superior del río Salado (S = 784 km<sup>2</sup>).

Año híd.	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Déficit (mm)	Coeff. Esc. (%)
75-90	134	70	64	52,2
75-76	215	62	153	28,8
76-77	277	120	157	43,3
77-78	64	56	8	87,5
78-79	94	51	43	54,3
79-80	48	55	- 7	114,6
80-81	120	60	60	50,0
81-82	37	54	- 17	145,9
82-83	87	55	32	63,2
83-84	294	62	232	21,1
84-85	172	60	112	34,9
85-86	129	55	74	42,6
86-87	239	58	181	24,3
87-88	53	53	0	100,0
88-89	132	59	73	44,7
89-90	41	54	- 13	131,7

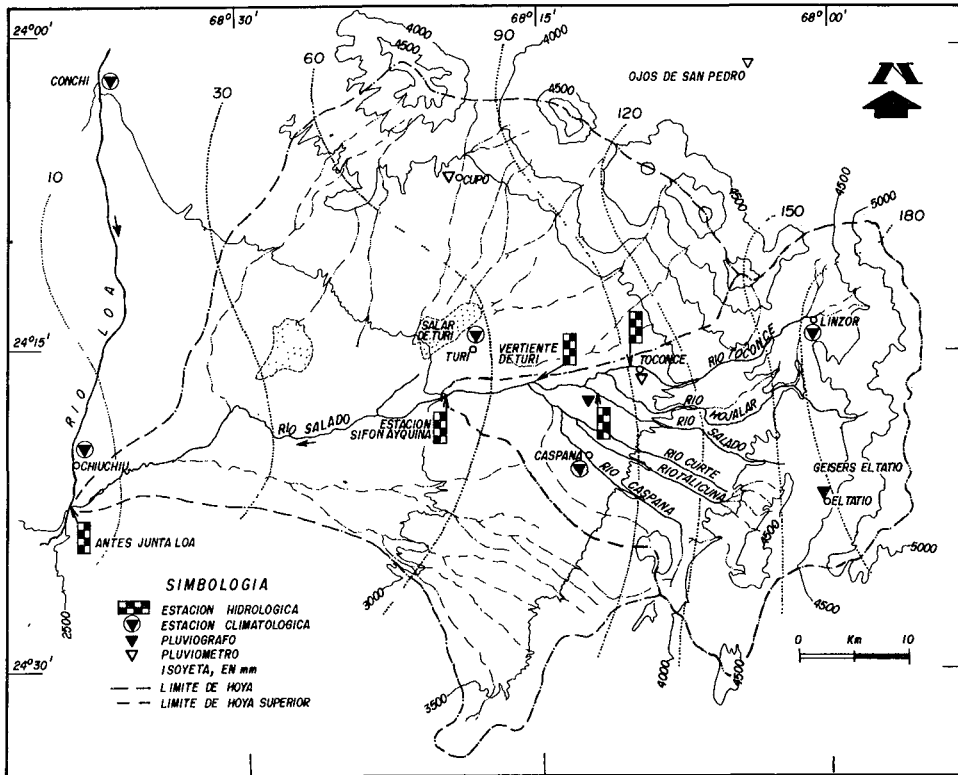


Fig 2 - Hoya del río Salado. Red hidroclimatológica y precipitación anual.

### 3. ELEMENTOS COMPONENTES DE LA PROBLEMÁTICA

Los resultados obtenidos en la cuenca del río Salado confirman las conclusiones preliminares deducidas de las condiciones del ámbito geográfico: en primer lugar, la gran escasez del recurso agua, en términos de cantidad; en segundo lugar, la participación predominante, en los flujos de la red de drenaje, de aguas subterráneas de origen remoto. Ello evidencia que, en la actualidad, la recarga natural es extremadamente limitada, fenómeno que podría también ser asociado con un elevadísimo tiempo de tránsito subterráneo. Pero existe una aparente contradicción. En efecto, pese a la muy reducida e irregular alimentación de la red hidrográfica superficial así como a la escasez de la recarga natural del sistema subterráneo, pese al fuerte incremento de las extracciones en las zonas de altura debido a una demanda explosiva, las cantidades de agua explotadas año tras año desde hace mucho tiempo no se ven afectadas por ninguna disminución.

Al respecto, en base a los resultados del río Salado, debe resaltarse un aspecto peculiar de la distribución del recurso en el tiempo, que se traduce por un efecto de atenuación o "laminación" materializada por la constancia de los aportes, sin duda benéfica, que viene a contraponerse a la irregularidad pluviométrica. Hasta tal punto que pareciera que la ecuación del balance hídrico no se relacionaría con una ciclicidad de período anual y tendría una oscilación de mayor duración, probablemente plurianual.

Mientras tanto, *¿Seguirán así o se agotarán las fuentes? ¿Cuáles son los argumentos que podrían explicar la realidad presente y, sobre todo, que permitirían augurar el futuro hídrico en la región?*

#### 4. APORTE DE ESTUDIOS RECIENTES

Por distintas razones (incremento de la producción regional o interés científico), muchos son los estudios que sobre el tema se están desarrollando en la actualidad. Sería presuntuoso pretender establecer aquí la lista de todas las instituciones participantes y ofrecer un panorama completo del estado de avance de las distintas investigaciones, que abarcan campos y técnicas tan diversas como las de análisis isotópicos y de radiocarbón, palinología, paleolimnología, hidrología, arqueología antropológica, teledetección, etc.

Entre los resultados ya obtenidos, la mayoría con carácter provisional, algunos vienen a fortalecer la idea de un recurso de agua con poca esperanza de futuro, otros dibujan un cuadro más optimista y aportan valiosos elementos de comprensión. Esta diferencia en las expectativas constituye el guión de la presentación que se hace a continuación, atribuyéndose a todos los resultados un igual grado de confianza.

##### 4. 1. Expectativas pesimistas

###### 4. 1. 1. Fracción de tritio en las aguas

Es de subrayar que los análisis isotópicos efectuados en el marco de los estudios UCN/ORSTOM demuestran la casi ausencia de tritio (menor de 2 UT) en toda la red hidrográfica regional (confirmado por Messerli *et al.*, 1993), particularmente en el sistema de drenaje del río Loa y en las fuentes altas que dan nacimiento a sus principales afluentes. Por ende, la edad de las aguas supera los 50 años y su origen tiene que ser esencialmente subterráneo. Este resultado parece reflejar una muy escasa o nula infiltración con ausencia de recarga natural. Parece también indicar que las aguas son *fósiles* y que su tiempo de tránsito es muy elevado. Esta afirmación conlleva un sinnúmero de problemas para la explotación futura del recurso.

###### 4. 1. 2. Procesos de cambio climático actual y/o reciente

a) En el transcurso de los últimos 20-30 años, se ha evidenciado, en el Chile Central, un cambio de los regímenes térmicos (incremento de las temperaturas) y de precipitaciones (disminución de los totales anuales y del número de días con lluvia), traducándose en la elevación del límite de las nieves en alrededor de doscientos metros. Dicha afirmación (Reinaldo Börgel, comunicación personal) se ve en gran parte comprobada por las imágenes satelitales del último decenio: ellas muestran que las cubiertas de nieve ocupan actualmente un espacio geográfico menor durante un menor tiempo. En el Norte, pese a la ausencia de registros, algunas apreciaciones cualitativas (Baron & Reinhard, 1981) permiten adelantar lo mismo.

b) Los mecanismos de la circulación atmosférica podrían en realidad ser más complejos (¿habrán cambiado ellos?) que el esquema tradicional presentado en el primer párrafo de la introducción. En efecto, pese a ser resultados preliminares, ciertos análisis isotópicos (Deuterio y Oxígeno 18) efectuados en precipitaciones líquidas y sólidas, parecen

indicar que la influencia oriental no se limita únicamente al período del invierno boliviano y que es preponderante en relación con la influencia pacífica, aparentemente restringida.

COMENTARIO: *En conjunto, todos los resultados arriba indicados apuntan hacia una neta disminución de la alimentación de los sistemas hídricos superficiales y subterráneos.*

#### 4. 2. Expectativas optimistas

El concepto ampliamente admitido de la vigencia de la hiperaridez desde el Mioceno (Boric *et al.*, 1990), en gran parte se ha sustentado en el hecho que los sistemas de drenaje, controlados por el nivel de la Depresión Intermedia, no han tenido la capacidad para abrirse un camino hasta el océano a través de la barrera topográfica de la Cordillera de la Costa. Nuevas interpretaciones de las condiciones climáticas del pasado no coinciden con esta teoría; abogan a favor de la existencia de condiciones mucho más húmedas que en el presente en dos períodos distintos no tan remotos. Vale subrayar que su impacto es doble:

a) a nivel de la existencia de procesos de erosión hídrica que concurren hacia la constitución de potentes formaciones detríticas, mecanismo favorecido por las distintas fases del levantamiento de los Andes. De esta manera, quedaron constituidos grandes reservorios subterráneos, a veces intercalados entre estratos volcánicos impermeables;

b) a nivel de la posibilidad de alimentar dichos reservorios y constituir reservas de agua.

##### 4. 2. 1. Condiciones pluvioclimáticas a partir del Terciario Medio

Apoyándose en evidencias de terreno, se propone aquí una modificación en cuanto al inicio de las condiciones áridas. En efecto, se posterga sustancialmente esta fecha ya que ha sido posible evidenciar, en dos épocas posmiocénicas distintas, la presencia de potentes series detríticas originadas en procesos de erosión hídrica. El marco geodinámico de esta hipótesis está brevemente expuesto a continuación.

El Oligo Mioceno Inferior marca una reducción en la intensa actividad volcánica del período anterior. Se reactivan los procesos de erosión-sedimentación, con la depositación de secuencias continentales como conglomerados, brechas, areniscas y limolitas, producto de mecanismos de abrasión y de transporte fluvial, excepcionalmente de corrientes de barro. La reanudación de procesos de este tipo es el producto de dos fenómenos simultáneos: alzamiento del nivel de referencia y presencia de un potente agente erosivo. El levantamiento se explica por resultar de la fase orogénica Incaica, a principios del Oligoceno; contribuye en la formación del sistema de fallas y bloques alzados de la Cordillera de Domeyko y coincide con un solevantamiento paulatino de la región oriental y su inclinación hacia el oeste, lo que Reinaldo Börgel llama "peneplanicie terciaria" (comunicación personal, 1993). La potencia de las formaciones depositadas en relación con el tiempo, al igual que la amplitud y extensión de los sistemas hidrográficos, si bien se explica en parte por la búsqueda del perfil de equilibrio de la red de drenaje y divagación lateral de los cauces en el momento de los reajustes tectónicos, también implica necesariamente la existencia de un clima notablemente lluvioso. Este episodio queda bien evidenciado por el intenso fallamiento (interface Mioceno Inferior-Plioceno) que recorta antiguos sistemas de drenaje y grandes valles, dejando al descubierto distintos niveles de terrazas. Esta tectónica desarrolla también pilares y fosas



tectónicas en compresión (Maksaev, 1979) y, beneficiándose de condiciones climáticas suficientemente húmedas, estas fosas dan paso a la formación de lagos, como lo muestra la presencia de potentes capas de calizas, areniscas calcáreas y diatomitas en numerosos puntos de la región. Posteriormente, se afirma que la sedimentación detrítica no es muy importante (Boric *et al.*, 1990), y es verdad que el mayor evento de la época es la reanudación de la actividad volcánica cuyos productos, ignimbritas, piroclastos y estrato-volcanes, corresponden a las unidades más extensas.

Por último, la concomitancia entre actividad volcánica y glaciaciones resulta ser un rasgo primordial. Está reflejada en la existencia de numerosos flujos de lodo y explica la gran heterogeneidad (formas y tamaños de los bloques) así como la amplia extensión de los depósitos con características aluviales o aluvio laháricas. Es también probable que este fenómeno haya generado aguas sobresaturadas en sales: su almacenamiento en cuencas endorreicas de origen tectónico y su posterior evaporación (ya empieza el clima árido) podría ser uno de los procesos de formación de los *salares*.

Para argumentar esta interpretación, dos trabajos de tesis de grado han identificado nuevas y potentes series detríticas. Una de ellas, ubicada en el sector de los cerros de Ayquina, es mio-pliocénica y la constituyen gravas, areniscas y conglomerados (Calderón, 1994). La otra, intercalada entre dos flujos de lava en el cauce superior del río Loa, es de edad pliocénica y se compone de areniscas y grauvacas (González, 1995).

De esta manera, quedan constituidos sistemas hidrogeológicos capaces de almacenar las aguas.

#### 4. 2. 2. Condiciones climáticas del Tardiglacial al Holoceno

Fundamentándose principalmente en evidencias palinológicas y paleolimnológicas (Markgraf, 1989; Messerli *et al.*, 1993; Grosjean & Núñez, 1994), así como paleoceanográficas (Ortlieb, 1994), importantes descubrimientos paleoecológicos han sido efectuados. A grandes rasgos, el modelo es el siguiente:

a) después del último paroxismo glacial (18 ka B.P.), durante el cual las temperaturas son muy inferiores a las actuales, el período tardiglacial (17-10 ka B.P.) evidencia niveles lacustres más altos (de 5 a 10 m) en relación con los de hoy día. La modelización de las condiciones climáticas muestra también que las precipitaciones anuales eran significativamente superiores (hasta 300 ó 400 mm, quizás más);

b) el Holoceno inferior (10 a 7 ka B.P.) se caracteriza por tener temperaturas más altas y condiciones mucho más húmedas. Se puede citar

*"The early Holocene (11-7 kyr B.P.) experienced wetter conditions and summer temperatures ... together with significant groundwater recharge"* (Messerli *et al.*, 1993).

c) las condiciones de hiperaridez son relativamente recientes: *"After about 3000 B.P. conditions became drier"* (Messerli *et al.*, 1993)".

Queda establecido que existieron condiciones climáticas propicias para alimentar las rocas-reservorios.

COMENTARIO: *En conjunto, los resultados presentados en este subcapítulo muestran que las características climáticas fueron favorables para conformar importantes reservorios subterráneos y para alimentarlos, en una época no tan remota.*

## 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y VISIÓN A FUTURO

Los argumentos presentados son antinómicos y pueden dar lugar a interpretaciones opuestas. Respecto al potencial de la recarga y a los procesos del tránsito subterráneo, piezas claves para contemplar el futuro del recurso agua, los autores ratifican la validez de tres hipótesis (Pourrut & Covarrubias, 1994).

1 - *La mala estimación de las precipitaciones*: existiría una recarga actual, procedente de la infiltración consecutiva a la fundición de las nieves. El agua se almacenaría en los estratos fracturados superiores y, después de un tiempo de tránsito por el momento desconocido, contribuiría en renovar las reservas.

2 - *La existencia de aportes externos*: la cuenca hidrogeológica de alimentación de la estribación andina-pacífica podría ser mucho más amplia que la hoya topográfica definida por las líneas divisorias de agua. Al respecto, estudios isotópicos (Giggenbach, 1978) han demostrado que las aguas termales del campo geotérmico de El Tatio se derivan de precipitaciones caídas en el sector oriental. Existen también evidencias de que, en la ladera andina oriental, las condiciones geológicas son muy favorables a la infiltración. Por ejemplo, se ha observado que fuertes crecidas han sido totalmente infiltradas después de un corto recorrido (François Risacher, comunicación personal, 1994). Dichas condiciones favorables han sido comprobadas por los autores en las cuencas altas de los ríos Inacaliri y Siloli, donde abundan sedimentos clásticos y tobas poco o nada consolidadas que dan nacimiento a manantiales importantes bajo las ignimbritas riolíticas de cobertura. Otro factor positivo conocido es la mayor abundancia de nieve en el lado oriental.

3 - *La descarga de potentes acuíferos*: la interestratificación de los estratos-reservorios entre capas impermeables del complejo volcánico (véase 4. 2) significa un grado más o menos elevado de aislamiento y bloqueo, en consecuencia, una cierta limitación y regulación de las salidas. Gracias a la acumulación de agua hasta altitudes elevadas, las reservas se encuentran entonces en carga hidráulica. Pueden circular en coladas volcánicas, a través de la red de fisuras producidas por el enfriamiento rápido de lavas relativamente ácidas (dacitas por ejemplo), o descargar directamente a los sistemas hidrográficos un flujo, quizás limitado, pero continuo e independiente de las precipitaciones.

El presente trabajo espera haber contribuido a aclarar algunos conceptos relativos a la existencia de agua en la II Región de Chile. Desde luego, falta todavía mucho antes de conocer toda la cadena que, a partir de la fuente original de vapor de agua, conduce a su redistribución en cada uno de los parámetros que conforman el ciclo hidrológico. Los estudios y tesis en curso, al igual que las investigaciones futuras, intentarán rellenar los principales vacíos en el conocimiento de una realidad compleja, constituyéndose el entendimiento cabal de los mecanismos en un complemento indispensable para la localización de los recursos de agua con miras a su racional aprovechamiento.

Finalmente, a la luz de los resultados mostrados, *¿podría ocurrir un colapso hídrico en la II Región?* Los autores, cuyo criterio personal ha sido ya develado, dejan la respuesta a libre interpretación.

## Referencias citadas

- BARON, A. M. & REINHARD, J., 1981 - Expedición arqueológica al volcán Licancabur. *Revista de la Corporación para el Desarrollo de la Ciencia*, No 1(4), Santiago.
- BORIC, R., DÍAZ, F. & MAKSAEV, V., 1990 - Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta. *SERNAGEOMIN CHILE*, Boletín No 40.
- CALDERON, M., A., 1994 - *Relación entre las rocas volcánicas y el flujo y almacenamiento de agua subterránea, sector Vegas de Turi, II Región*, taller de título, convenio UCN-ORSTOM, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, UCN.
- COVARRUBIAS, A., POURRUT, P. & KÖHNENKAMP, J., 1994 - *Características y problemática hidrológica en los altos Andes septentrionales de Chile*, Congreso Nacional de Aguas Subterráneas, Santiago.
- GIGGENBACH, W., 1978 - The isotopic composition of waters from El Tatio geothermal field, Northern Chile, in: *Geochimica et Cosmochimica Acta*: 979-988, Vol. 42.
- GONZÁLEZ, H., 1995 - *Hidrogeología de la cuenca superior del río Loa*. Informe de avance de tesis de grado, inédito.
- GROSJEAN, M. & NUÑEZ, L., 1994 - Lateglacial, Early and Middle Holocene environment, Human occupation and Resource use in the Atacama (Northern Chile). *Geoarchaeology: An Internat. Journal*, Vol. 9, No 4: 271-286.
- KÖHNENKAMP, G. J., 1993 - *Balance y caracterización de los recursos de agua superficiales de la cuenca del río Salado*. Memoria al título de ingeniero civil, convenio UCN-ORSTOM, Antofagasta.
- MAKSAEV, V., 1979 - *Las fases tectónicas Incaica y Quechua en la Cordillera de los Andes del Norte Grande de Chile*, Actas del Congreso Geológico Chileno, No 2, Vol. 1, Arica.
- MARKGRAF, V., 1989 - Paleoclimates in Central and South America since 18,000 B.P. Based on Pollen and Lake-level records. *Quaternary Science Reviews*, 8: 1-24.
- MESSERLI, B., GROSJEAN, M., BONANI, G., BURGI, A., GEYH, M., GRAF, K., RAMSEYER, K., ROMERO, H., SCHOTTERER, U., SCHREIER, H. & VUILLE, M., 1993 - Climate change and natural resource dynamics of the Atacama Altiplano during the last 18,000 years: a preliminar synthesis. *Mountain Research and Development*, Vol. 13, No 2: 117-127.
- ORTLIEB, L., 1994 - Evolución de la aridez en el desierto de Atacama durante el cuaternario: nuevas perspectivas. in: *7º Congreso Geológico Chileno, vol. I*: 351-355, Universidad de Concepción.
- POURRUT, P. & COVARRUBIAS, A., 1994 - High mountain basins in Northern Chile: water balance problems in volcanic complex. in: *Conference on Assessment of hydrological temporal variability and changes*: 129-140, Barcelona.