

# Informe geológico sobre el agua subterránea de la región de Calama.

**E**L presente informe fué solicitado por la Dirección de Obras Públicas a raíz de un viaje de inspección ejecutado por el Director del Departamento de Hidráulica, señor S. Oyanedel. En este viaje había llamado la atención del señor Oyanedel la configuración del terreno que le parecía muy favorable para la formación de una gran corriente de agua subterránea, parecida a la que se ha descubierto por el sondaje de Chintaguay. En mi viaje de estudio, cuya duración estaba restringida a solamente 30 días, pude comprobar enteramente las conclusiones a que había llegado el señor Oyanedel.

## LA MORFOLOGÍA DE LA REGIÓN DE CALAMA

La región estudiada constituye la continuación de la provincia de Tarapacá caracterizada principalmente por la existencia del ancho valle longitudinal de la Pampa del Tamarugal que separa la Cordillera de la Costa de la de los Andes. Pero se distingue por la existencia de una tercera cordillera que llama-

remos la «Cordillera del Medio» a cuyo pie oriental se extiende otro gran valle longitudinal ocupado por el curso superior del río Loa. Este gran llano sube paulatinamente hacia el Este, alcanzando en la región del río Salado un ancho superior a 50 km. Más al norte, el ancho se reduce a unos 20 km. debido a los grandes volcanes superpuestos a los sedimentos terciarios que constituyen el subsuelo del llano.

La Cordillera del Medio se desprende de la Cordillera de Los Andes en la región de Collahuasi y termina en el Sur un poco al Oeste de Calama donde es atravesada por el río Loa y también por la faja de sedimentos terciarios del gran llano oriental. Al Sur de esta faja continúa la Cordillera del Medio con los cerros de Limón Verde, de Guacate etc. Los primeros están en comunicación con la larga cordillera Domeyko que se extiende hasta más allá de Taltal.

Para la cuestión del agua subterránea es muy importante que toda la región situada al Oeste de Calama puede considerarse como un desierto completo en que pasan a menudo varios años sin que caigan lluvias. Precipitaciones at-

mosféricas regulares se producen a alturas superiores a unos 3,000 metros. Por esto debemos buscar el origen de las corrientes de agua subterránea, en la parte alta de la cordillera situada al Este de Calama.

En las páginas siguientes estudiaremos primero la estructura geológica de la región mencionada, después la hidrología y las conclusiones que pueden sacarse para la elección del punto más apropiado para captar el agua por medio de sondajes.

### LA GEOLOGÍA

Las rocas más antiguas componen las serranías altas que se levantan encima de las anchas planicies; pero exceptuando las cordilleras volcánicas. Estas rocas más antiguas, que llamaremos «rocas fundamentales», tienen su mayor extensión en la Cordillera del Medio y en los cerros que constituyen la continuación austral; además, aparecen más al Este en las aisladas serranías que se levantan encima de las rocas terciarias como los cerros de Tuina, Alquina, etc.

Pertencen a la *formación porfirítica* del jurásico y cretáceo inferior. Se trata de lavas, conglomerados, brechas, areniscas y tobas porfiríticas que contienen aisladas intercalaciones de rocas calcáreas y de pizarras negras. Estas capas intercaladas son generalmente ricas en fósiles y permiten determinar la edad. Fósiles mal conservados, que probablemente pertenecen al jurásico, los encontré debajo de los mantos de ónix al S. O. de Calama. En la parte oriental de los cerros de Limón Verde se han encontrado fósiles del jurásico medio.

En las rocas mencionadas han penetrado las intrusiones de grandes masas de granodiorita, como por ejemplo

el macizo que contiene el mineral de Chuquicamata.

Para el problema del agua subterránea, todas las rocas fundamentales pueden considerarse como impermeables: las calizas, que podrían contener agua, tienen una extensión demasiado pequeña y están demasiado dislocadas, para poder buscar agua en ellas. Resulta que no hay esperanza de encontrar mayores cantidades de agua subterránea en las serranías en que afloran las rocas fundamentales. Un importancia positiva más grande tienen estas rocas porque estancan y desvían las corrientes subterráneas existentes en las rocas más nuevas.

Las *arcillas rojas* de la región de San Bartolo y San Pedro de Atacama, ocupan una posición intermedia entre las rocas fundamentales y las capas terciarias más modernas. Son los mismos sedimentos que encierran los depósitos de cobre nativo de Corocoro en Bolivia, que son idénticos a las minas de cobre de San Bartolo. Hay mucha divergencia acerca de la edad de estas capas que son consideradas por algunos geólogos como pertenecientes al cretáceo y por otros como sedimentos de la subdivisión más moderna del terciario o aún del cuaternario. Pero, tanto en Bolivia como en San Pedro de Atacama, las fuertes dislocaciones que han sufrido repetidas veces estas capas, hablan en contra de una edad tan moderna.

En el camino que conduce de San Pedro de Atacama a Calama (Perfil C-D), las arcillas rojas aparecen con un espesor de varios miles de metros y con fuerte inclinación de sus capas que en parte tienen posición vertical. Los 1 500 metros inferiores consisten en arcillas coloradas con frecuentes bancos de areniscas del mismo color. Muchas capas contienen vetas y vetitas irregulares

de yeso: en las areniscas aparece de vez en cuando el cloruro de sodio como cemento.

En varios puntos se han formado grandes depósitos de sal, tal como a unos 4 km. al SO. de San Pedro, donde aparecen las arcillas rojas con inclinación de unos 40° hacia el Oeste que, más al Sur, cambia a posición vertical y aún a un manto de 80° hacia el Este. Se trata probablemente de posición inversa que puede deberse a la presión ejercida por la recristalización de la sal; al mismo tiempo aparecen calcáreas de posición concordante. Encima de los mantos de sal, que contienen la sal como cemento de la arenisca, siguen arcillas muy ricas en yeso y encima de éstas se ponen las calizas bien estratificadas que en su base tienen estructura brechosa. En favor de una posición inversa de estas capas, que tienen manto de unos 80° al Este, habla la probabilidad de que los sedimentos se hayan depositado en el orden de su solubilidad principando con la precipitación del carbonato de calcio, siguiendo el yeso y al fin la sal, mientras que la sucesión es la contraria.

Desde el túnel del camino a San Pedro hacia el Oeste, se intercalan numerosos bancos de conglomerados entre las arcillas rojas; también esta parte superior alcanza un espesor superior a 1 000 metros. En el valle desfiladero que conduce al Llano de la Paciencia, las arcillas rojas quedan cubiertas por rocas más modernas que se caracterizan por los mantos de liparita y que llamaremos la formación liparítica.

Más al Oeste reaparecen las arcillas rojas con gran espesor; encima de ella vienen gruesos bancos de conglomerados que muestran buena estratificación; pero el número y espesor de las capas de arcillas rojas intercaladas es muy reducido;

los rodados no son bien redondeados y la concreción no es muy firme. Tanto las arcillas como los conglomerados tienen más de 1 000 metros de espesor de modo que se tratará de una repetición de las capas de más al Este que reaparecen debido a una falla. (Perfil C-D).

En la falda oriental de los cerros de Purilactis afloran gruesos bancos de conglomerados duros y de areniscas con intercalaciones de capas coloradas; los extractos tienen inclinación hacia el Este y hacen la impresión como si fueran la continuación de la formación de las arcillas rojas, formando en ella un ancho sinclinal. En tal caso, se produciría en los cerros Purilactis la transición entre la arcilla roja y la formación profirítica. La rápida pasada en automóvil no me permitió investigar esta cuestión de gran interés científico.

Del perfil C-D se desprende que las arcillas rojas han sufrido una fuerte dislocación y que después han sido niveladas por la denudación; encima de las cabezas de las arcillas se han depositado las rocas de la formación liparítica que a su vez se han dislocado fuertemente. Resulta de estas condiciones que las arcillas rojas no pueden ser tan modernas como han pretendido algunos geólogos porque se necesitan períodos muy largos para el desarrollo de los procesos de dislocaciones y de la denudación posterior.

Lo más lógico sería paralelizar los dos períodos de dislocaciones del perfil C-D con las dos fases de movimientos tectónicos que se conocen en la Cordillera de Los Andes; la primera de estas fases se produjo en el cretáceo superior y la segunda en el terciario medio o superior.

Resultaría entonces que las arcillas rojas tienen edad del cretáceo medio,

como suponía *Steimann* para las capas correspondientes de Bolivia.

Arcillas rojas de aspecto parecido vuelven a encontrarse en gran espesor en la región de Calama, en el profundo corte del río Loa. Aparecen aguas abajo de la ciudad en el salto de Chintoraste y unos 5 kms. más abajo, frente a los depósitos de ónix (punto 4 del mapa). Encierran también vetitas irregulares de yeso y quedan cubiertas por las "calizas del Loa". Ambas capas muestran dislocaciones suaves que consisten generalmente en ondulaciones suaves; pero poco antes de llegar al yacimiento de ónix (por el camino de Calama) las calizas aparecen fuertemente dislocadas con inclinación de unos 45°.

Se podría pensar en paralelizar las arcillas rojas de las dos regiones considerando también las calizas del Loa como equivalentes de las calizas encontradas al SO. de San Pedro de Atacama. Por desgracia no se conocen todavía fósiles en este último punto y por eso el problema queda dudoso. Debemos tomar en cuenta que la formación liparítica de San Pedro encierra también numerosos bancos de arcilla roja y que bien pueden extenderse hasta Calama.

La gran importancia de las arcillas rojas en la cuestión del agua subterránea consiste en que ellas son la causa de la mala calidad del agua de todas las vertientes y estero que nacen en la región compuesta por estas arcillas.

Los afloramientos más septentrionales de la formación roja los encontré un poco valle abajo de las vertientes de Toconce; se trata de algunas lomas de areniscas rojas que afloran en medio de las lavas liparíticas.

Parece que la mayor parte de las arcillas rojas se extiende desde San Bartolo hacia el NE. explicándose así la mala calidad de las vertientes del río

Salado; más al norte y noroeste de las vertientes de Linzor, en las que nace el río Toconce, todos los esteros conducen agua de buena calidad.

Después de la sedimentación de las rocas porfíricas y de las arcillas rojas, se produjo el primer plegamiento de la cordillera, con el cual se originaron grandes serranías de rumbo NS. Durante todo el terciario inferior, estas serranías quedaron expuestas a la denudación que redujo considerablemente su altura. Los productos de la destrucción fueron depositados en parte en el mar que se halla mucho más al oeste que la costa actual; en parte se depositaron en los anchos valles intercalados entre las serranías bajas. No hay ninguna depresión tan pronunciada como la formada por los altos de Pica en Tarapacá, donde pasó uno de los valles principales del terciario inferior. Pero, la circunstancia de que todas las cordilleras compuestas por rocas fundamentales terminan al sur del río Salado que es alcanzado solamente por la pequeña serranía de Aiquina, hace probable que al norte del río mencionado existía un valle importante en el terciario inferior. El reconocimiento de tales valles antiguos es tan importante porque en ellas se mueven las grandes corrientes subterráneas como en Pica y Chintaguay.

Las depresiones de dirección NS, ocupados por los sedimentos terciarios se deben en parte a la erosión del terciario inferior; en parte serán depresiones tectónicas formadas en el primer plegamiento; la circunstancia de que la formación liparítica del terciario medio ocupa estas depresiones y sube poco a las serranías compuestas de rocas fundamentales, indica que las depresiones existían ya antes de la segunda fase de movimientos tectónicos que se produjo en el terciario superior.

Las depresiones se rellenaron no solamente con los productos de denudación que consisten en rodados desérticos, sino también con espesas capas de lavas y tobas liparíticas cuya erupción se produjo en el terciario medio, antes de los movimientos de la segunda fase de los movimientos tectónicos. Comprenderemos todas estas rocas, tanto los rodados y areniscas como las capas liparíticas bajo el nombre de *formación liparítica*. Un punto fácilmente accesible, donde puede estudiarse el perfil de esta formación, se halla en el camino de Calama a San Pedro de Atacama, en el cordón situado al Este del llano de la Paciencia. En este punto, representado en el perfil C-D y en la fotografía N.º 1 principia la formación liparítica con un conglomerado basal de 1 a 4 m. de espesor que se compone de rodados de porfiritas; el conglomerado yace en concordancia aparente encima de un grueso banco de arcilla roja de la formación de sal. Encima del conglomerado sigue la liparita que, más al Este, cubre la formación de sal o de las arcillas rojas; la liparita tiene un espesor de unos 20 m. y encima de ella yacen unos 60 a 80 m. de arcillas coloradas y areniscas del mismo color, con intercalaciones de bancos de 0.5 a 1.5 m. de conglomerados gruesos, cuyos rodados tienen hasta 20 cm. de diámetro. Termina la formación con un banco de liparita de 30 m.; a unos 3 m. debajo de ella se halla una capa de tripoli o toba blanca.

Parece que en la misma región de San Pedro, la formación liparítica tiene una extensión muy grande en la Puna, situada al Este del pueblo mencionado; constituyendo la base sobre la cual se han construído los volcanes modernos, como el Licancabur del Perfil C-D. Estudié la formación liparítica con más detalles más al Norte, en la re-

gión de Chiu-Chiu-Turi-Linzor que está representada por el perfil A-B. En esa región existen todavía los centros de erupción de las lavas liparíticas constituídos por los cerros Hojalar y Tatio que se componen de una variedad rica en mica

En la falda occidental, las liparitas muestran una separación en gruesos bancos de posición vertical (fotografía N.º 3). Entre ambos cerros hay una zona no interrumpida de liparitas que corresponden a la gran grieta encima de la cual se hallan los dos principales centros de erupción, los cerros Hojalar y Tatio (Fotografía N.º 4). La gran edad de los volcanes explica la ausencia de cráteres y del cono de escorias; además, en vista de la forma de erupción de grandes masas de lava que han salido de una grieta larga, es muy probable que no hayan existido tales fenómenos.

También en el valle de Toconce, poco antes de llegar a las vertientes de Linzor, aparecen liparitas parecidas cuyos bancos muestran a menudo posición fuertemente inclinada, lo que puede considerarse como indicio de que esa región pertenece también a la zona de erupción. Las liparitas tienen a menudo estructura conglomerática por el gran número de fragmentos redondos ricos en mica que yacen en una masa fundamental de liparita áspera. Debemos suponer que los fragmentos son partes del magna que se había solidificado ya antes de la erupción y que fueron arrastrados por la lava en su salida.

Desde la zona de erupción, las lavas liparíticas se extienden hacia el oeste terminando a unos 15 kms., en forma de largas lenguas de terrazas a las cuales se han antepuesto algunos cerros testigos que indican una mayor extensión anterior (Fotos Nos. 5 y 6).

Según puede observarse en el profun-

do corte del río Toconce (foto N.º 5), siguen debajo de las liparitas del Tatio (13), otros mantos de liparita (12) que hacia abajo se ponen más compactas. El espesor total de las liparitas en la región es superior a 300 m. En el valle de Toconce no pude observar otras ca-

pas que lavas; pero más al NO., en el pueblo de Caspana, aparecen también capas sedimentarias situadas debajo de la liparita 12. El perfil observado en ese punto, que aparece también en la fotografía N.º 7, es el siguiente:

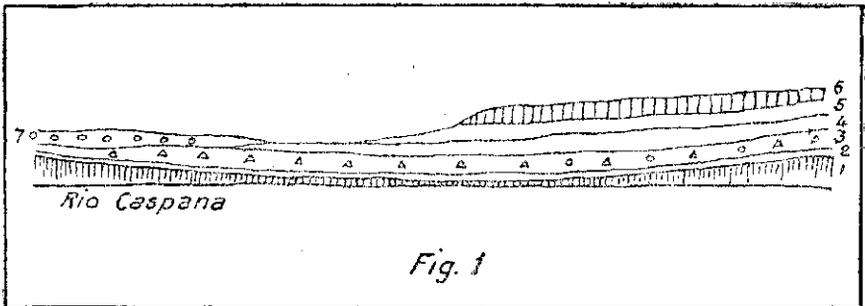


Fig. 1. Perfil de formación liparítica en Caspana

7) Rodados modernos depositados por un río de curso NS.

6) Liparita 12 que constituye la superficie de las mesetas que suben hacia el Este—40 m.

5) Rodados de color gris—40 m.

4) Capas rojizas ¿liparita o toba liparítica?—40 m.

3) Banco grueso de toba liparítica sin estratificación con piedras esquinadas de liparita que yacen en una masa fundamental arcillosa; compone la roca en que se ha construído el pueblo de Caspana. 30 a 40 m.

2) c) Suelo de raíces; una arcilla de color verdoso-amarillento, con tallos de plantas inscrutadas y atravesada por irregulares canales de raíces.—1 m.

b) Trípoli pizarroso, muy puro, 1,40 m.

a) Areniscas blandas de color gris, de grano fino; en la parte superior alternan con capas de trípoli.—3 m.

1) Liparita 11; la misma que valle abajo, en el río Salado se apoya en la brecha roja de liparita.

Por desgracia, no alcanzó el tiempo para estudiar desde cerca las capas 4 a 6, pero las más interesantes, que son las números 1 a 3 y 7, las observé al lado del camino.

El manto superior de la liparita 12 termina en una línea más o menos recta que puede reconocerse desde lejos por una pronunciada grada en el terreno. Este parece corresponder a una falla (foto N.º 9). Pero el perfil de la figura 1, permite ver que los mantos sedimentarios pasan sin dislocación hacia el Este; se trata en realidad, de un fenómeno de erosión en que termina la liparita 12. La erosión habrá sido causada por el río que corría por el centro del valle sinclinal representado en el perfil anterior y en el perfil A-B. La dirección del río ha sido de N. a S. Los rodados depositados por el río, que corresponden a la capa 7 del perfil tienen entre 10 y 30 cm. de diámetro y cubren gran extensión de la altiplanicie frente al término de la liparita 12.

El manto de trípoli (2b) reaparece un poco más al NO. en el camino de Caspana a Turi, donde en la cumbre de una loma, debe su conservación a la superposición de calizas duras que son idénticas a las que forman la superficie del valle del Loa en Calama. La extensión de las calizas es reducida y no puede saberse con seguridad si pertenecen a la formación liparítica o si son sedimentos posteriores. En cuanto se refiere al tripoli del perfil de la figura N.º 1, no cabe duda de que es más antigua que la liparita 12.

La liparita 11, reaparece cerca del término NE. de los cerros de Aiquina, en el fondo del valle Toconce o Salado, donde alcanza unos 60 m. de espesor.

Característica para ella es el yacente formado por unos 15 a 20 m. de brecha roja de liparita que tiene una masa fundamental arenosa de color claro que hace contraste con las piedras esquinadas de liparita roja; las piedras alcanzan hasta 10 cms. de espesor. Muy bien puede estudiarse esta brecha cerca del pueblo de Aiquina. Otros 10 km. más abajo en el río Salado, aparecen debajo de la brecha unos 80 a 100 m. de areniscas estratificadas (foto N.º 10).

Un perfil detallado de las capas situadas debajo de la liparita 11 puede observarse al norte de Chiu-Chiu, en el profundo cañón del Loa representado en la figura siguiente:

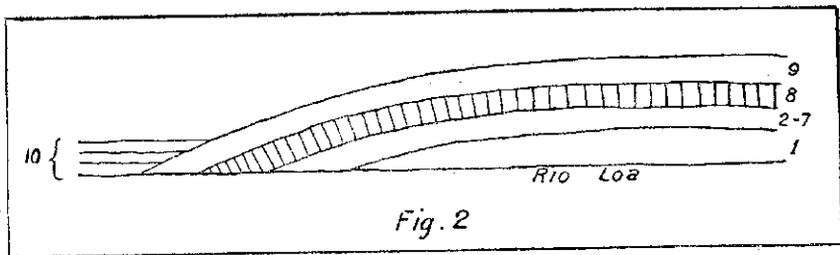


Fig. 2. Perfil de la formación liparítica al Norte de Chiu-Chiu

10) Las areniscas nuevas de la región de Chiu-Chiu, con arcillas y con capas de trípoli.

9) 10 a 15 m. de areniscas calcáreas, con numerosas capas de piedras poco redondeadas.

8) 15 m. liparita 11.

7) 121 m. tripoli blanco; impregnación secundaria de  $\text{CaCO}_3$  que causa partes duras concrecionarias.

6) 2 m. brecha roja de liparita, con muchos rodados de porfirita.

5) 2 m. arcillas, areniscas y brechas en capas alternantes de 110 a 30 cm. de espesor. En las arcillas aparecen frecuentes fajas de trípoli. Algunas capas de arcilla tienen color rojo.

4) 2 m. de brecha o conglomerado rojo de liparita.

3) 0,60 m. conglomerado grueso con rodados de 20 mc. de liparita o dacita de color gris.

2) 10 m. alternación aparecida a la capa N.º 5; además aparecen conglomerados.

1) 10 m. alternan arcillas rojas con espesores que alcanzan hasta 1,20 m. areniscas, trípoli (hasta 080, y un banco de carbonato de calcio.

En el perfil anterior aparece una discordancia entre la formación liparítica y las areniscas nuevas de la región de Chiu-Chiu, que son más nuevas que las calizas del Loa de la región de Calama

y de Conchi que estudiaremos más abajo. También en este perfil hay una considerable dislocación de las capas liparíticas que encierran arcillas rojas y capas de trípoli.

El último punto donde observé las capas yacentes de la liparita se halla en Conchi, donde el antiguo puente alto del Ferrocarril atraviesa el río Loa. Debajo de la liparita, que tiene unos 20 m. de espesor, siguen unos 40 m. de brechas de grano grueso que se apoyan directamente encima de las rocas fundamentales pertenecientes a la formación profirítica. La ausencia de extractos parecidos a los del perfil anterior, se explica porque la liparita se ha extendido encima de un lomaje de rocas fundamentales cubierto por rodados que provenían de la destrucción de los cerros más altos.

La edad de la formación liparítica no puede determinarse con seguridad a causa de la falta de fósiles; pero las fuertes dislocaciones que ha sufrido y que se deben a la segunda fase de movimientos orogénicos del plioceno, indican que la formación liparítica no puede ser más nueva que el terciario medio.

#### LAS CALIZAS DEL LOA Y SU YACENTE

En la región del Toco, de Calama y aún en Conchi, aparece como cubierta superficial del valle del Loa una serie de capas calizas de agua dulce que, en parte, contienen numerosos pequeños fósiles, especialmente caracoles. Debido a su posición paralela a la superficie actual, causan a primera vista la impresión de un sedimento muy moderno, del cuaternario, depositado en un extenso lago que coincidía más o menos con el actual valle del Loa; este lago, cuyo ancho podría estimarse en unos 15 Kms.,

hubiera seguido a la enorme curva del río desde Conchi hasta Quillagua, donde el río penetra a la Cordillera de la Costa. Pero ya la diferencia de nivel entre 800 m. en Quillagua y 3,100 m. en Conchi, hace más probable una edad mucho más grande. Además se nota luego que aún en las partes donde las calizas parecen tener posición horizontal, existen dislocaciones como fallas y plegamientos. Principiaremos el estudio de las calizas en regiones que ya hemos descrito y pasamos después a las zonas de su mayor extensión en Calama y en el Toco.

En Conchi aparecen en el borde superior del profundo cañón del Loa encima de la liparita; tienen el perfil siguiente:

- 2,50 m. calizas
- 0,40 m. banco superior de trípoli
- 1,00 m. banco duro de caliza
- 0,80 m. caliza arenosa con capa de rodados en la base
- 0,40 m. banco inferior de trípoli
- 20 m. liparita.

No se observa ninguna discordancia entre las calizas y la liparita; las capas sedimentales principian inmediatamente con una capa de trípoli que es un sedimento de un lago de agua dulce. El perfil hace la impresión de que las calizas pertenecen a la formación liparítica; en favor de esta opinión hablan también la presencia de trípoli tanto encima como debajo de la liparita; además calizas parecidas a las de Conchi, se hallan al norte de Chiu-Chiu, también debajo de la liparita. En este último punto, no existen las calizas características de Conchi encima de la roca volcánica, sino solamente arenisca calcáreas que constituyen un sedimento depositado por los ríos que provenían de las serra-

nías de rocas fundamentales, sea de los cerros de Aiquina o de los cerros Carcanal, en caso que estos se componen de rocas fundamentales, además provenía mucho material de arenas de las erupciones posteriores a la liparita, cuyas lavas alcanzaron tan al oeste como la capa inferior.

A la misma facie más arenosa pertenecen las areniscas calcáreas que constituyen el subsuelo de la planicie que se extiende entre Chiu-Chiu, Turi y Aiquina, que sube paulatinamente desde 2 300 m. a 3 300 m. La fotografía N.º 10 muestra estas areniscas con posición concordante encima de la liparita; del mismo modo que el manto eruptivo, aparecen las areniscas dislocadas por la falla que se manifiesta como una grada en el terreno, representada en la fotografía N.º 11 (véase también fig. 6 pág. 24); el punto se halla unos 10 kms. al oeste de Turi.

Ya hemos mencionado la existencia de las calizas en el camino de Turi a Caspana, poco antes de llegar a este último pueblo; en vista de la poca extensión de las capas calcáreas, es difícil saber si tienen posición concordante o discordante con respecto a las liparitas. En el primer caso, que coincide con las observaciones hechas en otras partes, en Conchi, etc., las calizas serían más antiguas que las liparitas 12 y 13.

En la región de San Pedro de Atacama no encontré calizas, fuera de los mantos calcáreos de posición vertical que acompañan los mantos de sal y que se han descrito más arriba. Son muy parecidas a las calizas del Loa, pero en vista de que no puede descubrirse ninguna relación con las liparitas, no puedo aseverar que se trate de la misma formación de Conchi. La mayor extensión la tienen las calizas del Loa entre Chiu-Chiu y Calama y más abajo

de este pueblo hasta Quillagua. En Calama, las estudié en dos puntos, en el sitio de Chintoraste y en los Ojos de Opachi (puntos 3 y 1 del plano). En el primer punto, observé al lado sur del salto, el perfil siguiente: (foto N.º 12);

6) 3 m. calizas blancas y areniscas calcáreas superficiales; contienen numerosas piedras esquinadas.

5) 1 m. brecha de 0.50 m. en medio de un banco de arenisca calcárea.

4) 3 m. areniscas estratificadas.

3) 0.4 m. brecha parecida a la brecha roja de liparita de la región de Turi; los fragmentos porfiríticos prevalecen y tienen 5 a 7 cm. de diámetros; los de liparita son muy pequeños.

3) 3 m. toba colorada de liparita.

1) 0.80 m. arcillas rojas estratificadas, un poco arenosas, contienen mucho material liparítico, en parte pequeñas piedras liparíticas ricas en mica.

En forma parecida se presentan las calizas y la arcilla roja a unos 5 kms. más valle abajo, donde el río Loa ha cortado una estrecha quebrada en las porfiritas fuertemente descompuestas (fotos Nums. 13 y 14; punto 4 del mapa); las porfiritas constituyen la continuación de las lomas de ónix de Calama. Las arcillas rojas se apoyan sin transición alguna en las rocas porfiríticas; algunas fajas teñidas por carbón molido parecen indicar que los cerros estaban cubiertos por vegetación cuando quedaron sepultados por la arcilla roja. Esta misma encierra también una capita de 1 cm. de color negro con restos vegetales, a unos 50 m. debajo de su límite superior; en el mismo punto aparecen además vetitas de yeso distanciadas unos 20 a 50 cm. entre sí.

Las calizas del Loa siguen con concordancia encima de la arcilla roja; principian con un conglomerado basal de uno 10 a 40 cm; después vienen 10

a 15 m. de arcillas y arenas que alternan con capas de trípoli blanco y amarillento y más arriba siguen las calizas que constituyen la superficie del llano. Tanto las arcillas como las calizas muestran una pequeña dislocación, representada en el perfil siguiente que puede reconocerse también en la fotografía N.º 14.

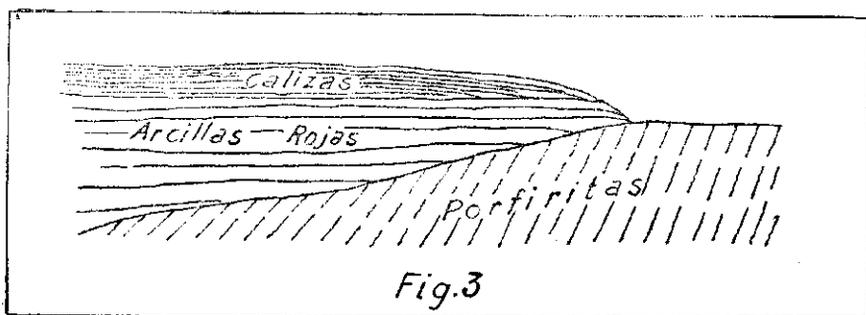


Fig. 3. Perfil observado a unos 5 kms. valle abajo del Salto de Chintoraste, río Loa

Las calizas del punto que acabamos de describir son muy puras y contienen sólo pocos componentes arenosos. Lo mismo vale también de las calizas que aparecen en el profundo cañón excavado por el estero de Opacha, situado al norte del salto de Chintoraste, mientras que en Chintoraste mismo se trata más bien de areniscas calcáreas. La mayor pureza de las calizas en los puntos mencionados se explica por su situación más central, donde no ha llegado tanta arena como en los bordes de la laguna en que se formaron las calizas. El espesor de las calizas es de 20 m. en Opachi.

Entre las calizas y la gruesa capa de arcilla roja del yacente, existe la misma relación que entre las calizas de Conchi y del río Salado y la capa liparítica; esta relación hace probable que la arcilla roja, que en partes tiene mucho material liparítico, sea contemporánea a la formación liparítica. Desgraciadamente ambas capas no se acercan más que unos 10 kms., siendo los puntos más cercanos el término del hondo cañón del Loa al Norte de Chiu-Chiu (perfil de la

figura N.º 2) y el salar de Chiu-Chiu, situado al oeste de este pueblo.

En el primer punto hay algunas capas de 1 m. de espesor de arcilla roja que se halla debajo de la liparita. En el salar existe mayor espesor de arcilla roja debajo de las calizas, pero no hay la capa liparítica. Un poco abajo de Chiu-Chiu, donde el río vuelve a encajonarse en la formación caliza, esta contiene intercalaciones de trípoli y abajo siguen areniscas y bancos de arcilla colorada de reducido espesor; el perfil entero tiene solamente unos 15 m. de altura y las capas presentan un plegamiento suave.

También en el Toco aparece la arcilla roja debajo de las calizas del Loa. Según Wetzel (1) la arcilla contiene las mismas diatomáceas que las capas de trípoli intercaladas entre las calizas, lo que indica que se trata de capas de la misma edad. Que no puede haber gran diferencia de edad entre la arcilla roja y la liparita por un lado y las calizas por el otro puede deducirse también de la concordancia que existe entre las

calizas y su yacente; en ninguna parte se observa una discordancia de erosión ni la intercalación de arcillas, areniscas, etc., excepción hecha de ciertos puntos, donde la arcilla roja está substituída por conglomerados, como p. ej. en el perfil de la fig. 5.

La edad relativamente grande que deben tener las calizas del Loa, porque, al ser contemporáneas a las liparitas, pertenecen al terciario medio, la habíamos deducido ya de la gran diferencia de nivel que tienen hoy día entre Conchi, Calama y Quillagua. También las fuertes dislocaciones que se observan en varios puntos indican tal edad como las fallas en la región del Toco, al Oeste de Turi y aguas abajo del salto de Chintoraste. Cerca de los depósitos de ónix, las calizas tienen una inclinación de unos 40°, como puede verse en la fotografía N.º 15; en el mismo punto aparecen acompañadas de las arcillas rojas.

Wetzel (1) considera las calizas como pertenecientes al cuaternario; en la misma publicación de él se encuentra la comprobación de una edad mucho más grande en los resultados a que llegó Hustedt al determinar las diatomáceas encerradas en el trípoli y en la arcilla roja.

Según Hustedt, faltan enteramente los representantes de numerosos géneros de diatomáceas que son muy frecuentes en la costa de Sudamérica; además, la flora de diatomáceas es enteramente distinta de la que se encontró en otros sedimentos lacustres del cuaternario del Perú y de Bolivia.

Esta gran diferencia se explica fácilmente por la edad mucho más grande de las calizas del Loa que son contemporáneas a la formación liparítica, quiere decir, tienen edad del mioceno.

Debemos imaginarnos las condiciones de formación de las capas del mioceno del modo siguiente: en la región de la alta cordillera se producían las erupciones enormes de lavas liparíticas que bajaron hacia el oeste, pero no llegaron más al occidente de Chiu-Chiu; mayor extensión alcanzaron las cenizas más finas que se depositaron hasta la región del Toco donde se mezclaron con el polvo rojo que provenía de las regiones compuestas por las arcillas rojas del cretáceo.

La arcilla roja más moderna que resultó de este modo se depositó tanto encima de los cerros como en las depresiones; pero el polvo y las cenizas caídas en los cerros fueron lavadas. Así se explica la frecuente intercalación de bancos de arcillas arenosas entre las arcillas puras y también entre los rodados depositados por ríos intermitentes como en la figura 4. Las intercalaciones de capas parecidas entre las liparitas, como al Norte de Chiu-Chiu, indican la contemporaneidad de la arcilla roja y de las liparitas.

Donde desembocan valles de mayor importancia, o cerca del pie de cerros formados por rocas fundamentales, no podían formarse arcillas rojas puras, sino prevalecen conglomerados con intercalaciones de delgadas capas de arcillas. Un punto muy interesante se halla al norte del C.º Topater, en la falda sur del valle del Loa, donde observé el perfil siguiente, representado también en la fotografía N.º 16:

(1) Wetzel, W.-Beitrag zur Erdgeschichte der mittlern.—Atacama.—Neues Jahrbuch f. Mineralogie etc. Tomo 58. 1927 p. 505.

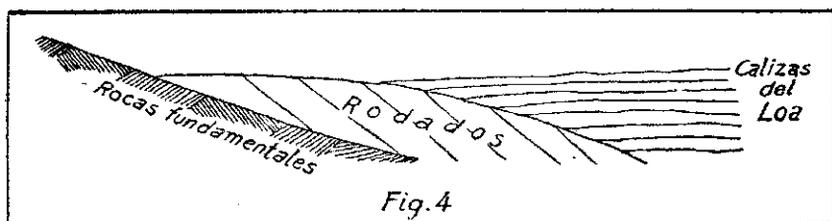


Fig. 4 Perfil en la falda norte del Topater

Los rodados tienen una fuerte inclinación y encima de ellos siguen con discordancia las calizas. El perfil no indica dislocaciones antes de la sedimentación de las calizas, sino se trata de la estratificación característica de un delta que se formó en el mismo lago en que se depositaron poco después las calizas. Los rodados encierran varias capas de arcilla roja, lo que indica que son contemporáneos a la formación de la arcilla roja de Chintoraste.

También unos 4 kms. más valle arriba, las paredes verticales del valle del Loa están constituidas por gruesas capas de conglomerados que yacen con cordan-

cia debajo de las calizas, como puede verse en la fotografía N.º 17. Los conglomerados que alcanzan hasta 60 m. de espesor, contienen solamente aisladas intercalaciones de arcillas arenosas de color rojo; pero más al norte, unos 1 000 m. al norte de la antigua estación de bombas de Chuquicamata, aparecen directamente debajo de las calizas las arcillas rojas que alcanzan hasta 20 m. de espesor.

Según podía observarlo desde la ribera izquierda del río, las arcillas reaparecen en la forma representada en la figura siguiente:

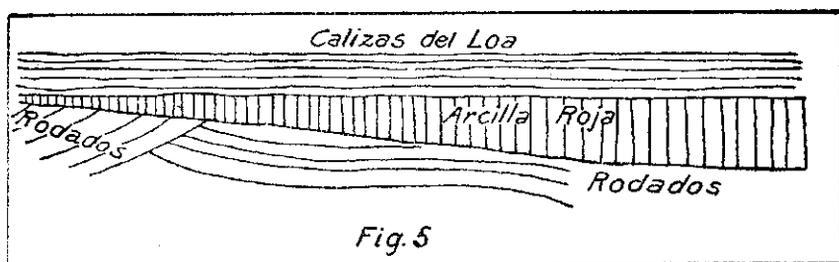


Fig. 5. Perfil cerca de la estación de bombas de Chuquicamata, en el río Loa

La estratificación irregular de los conglomerados no se debe a dislocaciones, sino es original causada por las fuertes corrientes que han depositado los rodados.

Las arcillas rojas no se limitan de ningún modo a las partes más bajas del terreno, a la vecindad del río Loa;

las observé también al lado del camino de Chuquicamata al Toco, al este de los primeros contrafuertes de la Cordillera del Medio, donde constituyen una terraza de unos 10 m. de altura. En el Toco mismo forman una planicie que se eleva encima de la parte más baja en la cercanía del río, constituyendo la

coba, encima de la cual se apoya el manto de caliche.

Después de la sedimentación de las rocas calcáreas y de las liparitas, se produjeron los movimientos orogénicos del plioceno. Los movimientos consistían principalmente en la subida de diferentes bloques en fallas tal como queda indicado por las fallas del perfil C-D; una de ellas constituye el límite occidental de los cerros de Purilactis; otras fallas parecidas habrá probablemente también al pie de otras serranías compuestas de rocas fundamentales, como en los cerros de Aiquina. Las dislocaciones han afectado también a las rocas de la formación liparítica que en

los bordes de la serranía de Aiquina ha sufrido un solevantamiento unilateral; a esto se debe la inclinación de las liparitas hacia el Este que se observa hasta bastante distancia desde el límite de las rocas fundamentales, como puede verse en la fotografía N.º 9 y en el perfil de la figura 1. Pero el solevantamiento principal se ha producido en la región de la alta cordillera resultando el declive general de la formación liparítica hacia el oeste. Otra falla, de unos 15 a 20 m., constituye el límite occidental de la planicie de Turi. La grada causada por la falla puede seguirse por gran distancia en el terreno (foto N.º 11). En el detalle la falla tiene el perfil siguiente:

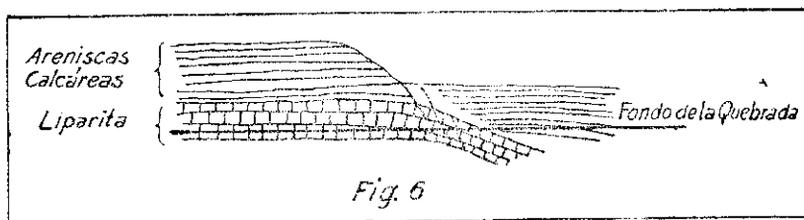


Fig. 6. Se ve que se han dislocado también las areniscas calcáreas, correspondiente a las calizas del Loa.

Donde la formación liparítica ocupa mayor extensión está atravesada por cerros de rocas fundamentales, los disturbios han dado origen a tensiones horizontales, resultando un plegamiento bastante fuerte de las liparitas, como lo demuestra el perfil C-D al oeste de San Pedro de Atacama.

Al Norte de Chiu-Chiu, la formación liparítica ha sufrido una pequeña dislocación en forma de flexura, representada en la figura N.º 2. Desde el norte las capas de esta formación vienen con posición casi horizontal, y a unos 3 kms. al norte de Chiu-Chiu, descienden con

fuerte declive desapareciendo debajo de sedimentos modernos.

Las dislocaciones sufridas por la arcilla roja de la región del Loa y por las calizas superpuestas consisten en ondulaciones suaves, como en el salar de Chiu-Chiu, al pie de Chintoraste y unos 5 kms. abajo de este último punto. Sólo en la región del ónix hay un manto fuerte de unos 45°, representado en la fotografía N.º 1. En general, las dislocaciones pliocénicas no han cambiado mucho el aspecto de la región; la repartición de los cerros y depresiones ha quedado más o menos la misma que

antes. Parece que, fuera de un solevantamiento general de la región situada al Este de Calama, las serranías fundamentales han experimentado solevantamiento general de la región situada al Este de Calama; las serranías fundamentales han experimentado solevantamientos especiales y las depresiones ya existentes se han hundido un poco más.

La consecuencia de los movimientos tectónicos era un mayor declive de la superficie, debido al cual los ríos principiaron a excavar sus profundos cañones en la formación liparítica y en la arcilla roja. Esta erosión se efectuó en el cuaternario y sigue hasta hoy día.

Al mismo tiempo se produjeron en la alta cordillera las erupciones de los grandes volcanes apagados y activos, que en gran extensión cubren la formación liparítica, como queda indicado en los perfiles A-B y C-D. Por estas erupciones modernas se ha cerrado numerosos valles antiguos cuyos nacimientos se hallaban mucho más al Este que la frontera actual y que descendían al río Loa; un valle importante de esta clase que puede reconocerse todavía, es el del salar Ascotán.

#### LA HIDROLOGÍA

El resultado de los diferentes procesos geológicos que acabamos de estudiar en los párrafos anteriores, es la actual estructura morfológica de la región situada al Este de Calama. De mayor interés para la hidrología subterránea es la repartición de las rocas fundamentales y de la formación liparítica; las primeras son impermeables para el agua, de modo que estancan y desvían las corrientes subterráneas; las segundas pueden conducir considerables cantidades de agua subterránea en sus mantos de conglomerados, brechas y areniscas.

La repartición de los dos elementos morfológicos está representada en el croquis geológico que acompaña este informe; se vé en él una extensa cuenca ocupada por la formación liparítica que antes se extendía mucho más hacia el Norte y Este, y cuyas rocas pasan aún hoy día mucho más en esas direcciones, pero quedan superficialmente cubiertas por las lavas modernas. Esta cubierta de rocas volcánicas no impide la infiltración del agua de las lluvias hacia las capas de más abajo, ni el movimiento general de las corrientes subterráneas hacia el Oeste, hacia donde existe inclinación general de la formación liparítica.

Desagradable es la cubierta volcánica porque impide reconocer las ramificaciones principales de los antiguos valles rellenados por las liparitas, lo que facilitaría la elección del mejor punto para sondajes.

En su camino hacia el oeste, las corrientes subterráneas se encuentran en varios puntos con las rocas fundamentales así por ej. en la punta N. E. de los cerros de Aiquina. En este punto, donde el camino de Turi a Caspana desciende al río Salado, existe una pequeña vertiente de 21°C. que contiene agua casi dulce. Se trata de agua termal que sube de mayor profundidad y que se ha estancado delante de la continuación de las rocas fundamentales. Otra vertiente vecina es la de Caspana que brota a unos 200 m. valle arriba del pueblo, al lado del estero; su gasto es de más o menos 1 litro por segundo. La temperatura del agua era de 17°C mientras que al mismo tiempo a medio día, la temperatura del estero era de 12°C lo que excluye que se trata de filtraciones provenientes del estero. También más abajo de la vertiente principal sale un poco de agua en varios puntos de la roca. Se trata

de agua que sube por grietas. El estancamiento habrá sido causado por las rocas fundamentales situadas al Este de los cerros de Aiquina que apenas salen encima de la formación liparítica (compárese la fotografía N.º 9).

Más hacia el Oeste no se conocen vertientes que salgan directamente de la formación liparítica que desaparece en la región de Chiu-Chiu. El agua subterránea que seguramente existiría en las capas permeables de la formación mencionada, seguirá hacia el Oeste hasta alcanzar las rocas fundamentales de la Cordillera del Medio o más bien la zona de lomas rocosas antepuestas a su pie oriental que se extienden desde Cere hasta el cerro Topater.

En toda esta región, el agua subterránea tiene una cubierta enteramente impermeable en la arcilla roja que alcanza espesores superiores a 60 m. según puede observarse aguas abajo del salto de Chintoraste. Esta capa gruesa explica por qué faltan las vertientes profundas de agua termal en la región entre Chiu-Chiu y Calama, ya que la arcilla no sólo es impermeable sino también favorece la existencia de grietas abiertas por las cuales podría subir el agua. Por el otro lado, la arcilla es muy favorable para la formación de corrientes subterráneas que pasan encima de ella en las capas calizas. Así, una gran parte del agua subterránea que se forma en los faldeos orientales de la Cordillera del Medio, corren encima de la arcilla y aparecen en las partes bajas del terreno, como p. ej. en el salar situado al Oeste de Chiu-Chiu.

A las mismas arcillas deben su existencia las vertientes famosas de los Ojos de Opachi. Se habían formado originalmente en la falda del profundo cañón de la quebrada de Quetena y por medio

de la erosión retrograda han retrocedido hasta su posición actual.

En los Ojos de Opachi aparece una parte del agua que proviene de la Cordillera del Medio junto con filtraciones provenientes de las vegas situadas al Oeste de Calama. El agua corre por grietas de las calizas del Loa, que, debido a la solubilidad del carbonato de calcio se han ensanchado considerablemente, de modo que en la vertiente salen fuertes chorros de agua. Según Gustavo Lira (1) el caudal de las vertientes es influenciado fuertemente por los riegos de la región de Calama que se efectúan durante la mayor parte del año, siendo entonces el gasto de unos 600 litros por segundo, mientras que en Julio cuando no se riega, su gasto desciende hasta 300 l/p. s.

En favor del origen poco profundo del agua de las vertientes habla también la temperatura baja que determinó en  $13\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ . siendo al mismo tiempo la temperatura del Loa de  $13^{\circ}\text{C}$ .

Según un trabajador de la fábrica de dinamita, un buen conocedor de las vertientes, el gasto de agua disminuye desde las 8 de la mañana y vuelve a aumentar desde las cuatro o seis de la tarde. La indicación de que el agua es más tibia en la noche de tal modo que permite bañarse, puede indicar que en la noche sale de las vertientes mayor cantidad de agua proveniente del riego efectuado durante el día; mientras el agua fría que sale en el día proviene de agua que ya ha pasado por mayor distancia como corriente subterránea.

También la gran cantidad de sales contenidas en el agua habla en favor de filtraciones superficiales que aparecen en las vertientes. Según un análisis que

(1) G. Lira. Aguas del río Loa, 1921.

agradezco a la Administración de la fábrica de dinamita, la composición del agua es la siguiente, expresada en grâmos por litro:

Sales inorgânicas			
CaO	4,697		0,372
Cl.	2,292	MgO	0,184
SO <sub>3</sub>	0,280	Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O	1,788
SiO <sub>2</sub>	0,094	NO <sub>3</sub>	0,043

La cantidad de agua debe haber sido antiguamente mucho más grande que hoy; se observa no solamente una quebrada seca que continúa aguas arriba del primer Ojo de Opachi, sino existen también grandes masas de tobas calcáreas que descienden al profundo barranco situado entre los dos Ojos de Opachi y que fueron depositadas por un afluente antiguo de la quebrada. Lo mismo vale también de las profundas quebradas que bajan hacia el río Loa, abajo del salto de Chintoraste.

Igual origen que las vertientes de Opachi, lo tienen las filtraciones que aparecen en la quebrada de Quetena, al Este de Calama, al pie de los Cerros Negros.

Las vertientes descritas hasta ahora tienen su origen en napas subterráneas que pasan por capas permeables y que por causas geológicas, que pueden reconocerse con cierta facilidad, se ven obligadas a salir a la superficie. Bien distintas de estas aguas son las vertientes termales que son frecuentes en la alta Cordillera; se trata en gran parte de aguas juveniles provenientes de la desgasificación del magna igneo situado a gran profundidad,

La calidad de las aguas termales de la alta Cordillera es variada; las vertientes de Turi que riegan las extensas vegas de esa región, tiene agua un poco salobre de 22 C. y un gasto aproximado de

30 litros por segundo. En los geysirs, llamados «Volcanas del Tatio», sale apua de 84° C y vapores que en uno de los sondajes tienen 86°C (véase fotos Núms. 19 y 20). El agua es fuertemente salada y descompone las aguas del río Toconce y que proveen Chuquicamata con agua potable. Según la obra arriba citada de Gustavo Lira, tiene un gasto bastante variable, según la época del año; en Febrero de 1916 era de 198, en Marzo de 1917 de 159 y en Julio de 1918 de 243 litro por segundo.

La variabilidad del gasto indica que las vertientes contienen fuerte mezcla de aguas vadosas provenientes de las precipitaciones atmosféricas. Las vertientes cuya temperatura, es de 23°C., provienen del límite entre lavas andesíticas, situadas al Este y lavas de la gran masa liparítica del cerro Hojalar. Es bien posible que se trate del estancamiento de aguas que se mueven en las andesitas más modernas y que se estancan en las liparitas menos permeables; la temperatura alta indica que provienen de mayor hondura o que, a lo menos tienen fuerte mezcla de agua juvenil de origen profundo. La calidad del agua es muy buena,

#### LA CAPTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN DE CALAMA CHIU-CHIU

En el párrafo anterior hemos visto que las condiciones geológicas hacen muy probable la existencia de corrientes subterráneas dentro de las rocas permeables (areniscas, conglomerados y brechas) de la formación liparítica; además, las vertientes de Caspana y la situada al NE. de los cerros de Aiquina, que tiene su origen en estas corrientes, nos dan una comprobación directa de la existencia del agua subterránea. En vista de la gran extensión de la forma-

ción liparítica en la alta cordillera, donde caen regularmente precipitaciones atmosféricas, puede esperarse cantidades considerables de agua subterránea.

Según la repartición de las rocas fundamentales podemos contar con varias corrientes importantes; una proviene del nacimiento del río, Loa y, en caso que los cerros Carcanal consistan en rocas fundamentales, pasará un poco al Este del río Loa; allá podríamos esperar la parte más profunda de la depresión rellena por la formación liparítica, ya que en Conchi mismo aparecen las rocas fundamentales a poca hondura debajo de las liparitas. Otra corriente proveniente de la región del volcán Paniri y de más al NE. pasará entre los cerros de Aiquina y los de Carcanal y se juntará con la primera en las cercanías de Chiu-Chiu. En el caso de que los cerros de Carcanal fueran liparíticos o de origen volcánico aún más modernos, el agua de la región de los volcanes Paniri a Toconce correría directamente hacia el OSO, y se juntaría también con el agua que viene desde más al Norte. Una tercera corriente pasará los cerros de Aiquina y los de Tuina (véase foto N.º 7) y se juntaría con las dos primeras en la región de Calama. Esta última corriente proviene de la región de los geysirs del Tatio y de las arcillas rojas con sal que se extienden desde San Bartolo hacia el NE. por esto hay peligro que contenga agua salada.

Cierto peligro existe también que una parte de las corrientes subterráneas pase hacia el sur, hacia los salares del Llano del Quimal, donde el agua se perdería por evaporación, de modo que no toda el agua subterránea pasaría por el valle desfiladero de Calama.

De las observaciones anteriores resultan tres regiones apropiadas para sondajes, porque no hay posibilidad de otra

clase de captación. La primera se halla en Chiu-Chiu, la segunda al NE. del término oriental del cerro Topater y la tercera sería el valle desfiladero abajo de Calama.

En la región de Chiu-Chiu tenemos como punto más favorable el fondo del profundo cañón del río Loa representado en el perfil de la figura N.º 2 (página 13). El sondaje se ubicaría en algún punto al lado del río o del camino carretero que viene de Chiu-Chiu; el sondaje debe quedar dentro de la región donde las capas liparíticas tienen posición horizontal.

La ventaja de este punto es que la perforación principia inmediatamente dentro de las rocas de la formación liparítica, que son las únicas que pueden conducir agua. No hay motivo para esperar luego las rocas fundamentales, en las cuales habría que paralizar el barreno porque ya no habría probabilidad de encontrar agua en ellas. Además, la calidad del agua será probablemente muy buena, ya que todas las vertientes situadas al N. y NE. de Chiu-Chiu tienen agua dulce, lo mismo que el río Loa.

El sondaje perforará un gran espesor de capas parecidas a las del perfil de la página 13. La alternación entre capas impermeables (arcillas y liparitas) y otras permeables hace muy probable la existencia de agua artesiana. Acerca de la profundidad del agua no puede decirse nada; solamente debe aconsejarse efectuar el sondaje con una máquina que alcance hasta 400 m. de hondura, de ningún modo está excluido que se encuentre agua ya mucho antes, a los 100 m. p. ej.

La segunda región apropiada para barrenos, es la de Calama, siendo la más favorable el valle desfiladero situado aguas abajo de la ciudad, especialmente

el profundo cañón del Loa, abajo del Salto de Chintoraste. Un buen punto se hallaría a unos 200 metros abajo del salto (a la izquierda de la fotografía N.º 12); la máquina de sondaje podría bajar fácilmente por la falda norte del valle. Se trata de perforar la gruesa capa de arcilla roja que, según hemos visto más arriba, constituye un cierre impenetrable para las aguas que pueden hallarse más abajo. La profundidad que debe alcanzarse, será probablemente menor que en el primer caso, porque las rocas fundamentales estarán más cerca de la superficie que en Chiu-Chiu. Pero esto encierra también el peligro que el sondaje las encuentre antes de cortar la capa acuífera.

Según hemos visto más arriba, la calidad del agua que se encontrará, es un poco problemática, pero de ningún modo, debemos considerar el agua de las vertientes de Opachi como mal indicio en este sentido, porque el agua que

se buscará, pertenece a una corriente enteramente distinta de la que alimenta las vertientes de Opachi. La gran ventaja del punto es la situación muy cercana al Toco, de modo que se ahorrarán unos 40 kms. de cañería en comparación con el sondaje de Chiu-Chiu.

El tercero se halla en el fondo del río Loa, valle arriba del cerro Topater, donde se hallaba antes la estación de bombas de Chuquicamata; la fotografía N.º 17 muestra a la izquierda el camino que baja hacia el punto del sondaje propuesto.

El punto evitará el peligro de encontrar luego las rocas fundamentales; pero necesitará la misma hondura que el primero. La situación sería desfavorable en caso que la corriente subterránea principal pase al sur del cerro Topater, en vez de hacerlo por el Norte. La calidad del agua será igual a la del sondaje ubicado valle abajo de Calama.



Foto 1.—Perfil de la «Formación Liparítica» al Este del Llano de la Paciencia.  
(Texto p. 9). (hacia el Sur)

li=liparita inferior que atrás cubre las arcillas rojas de la formación de sal.  
ls=liparita superior, separada de la inferior por 60 a 80 m. de areniscas y arcillas rojas.  
x=automóvil que sirve de escala para la fotografía.

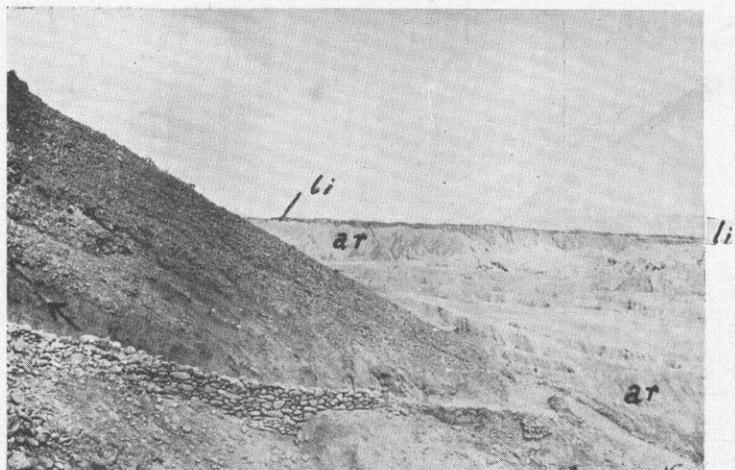


Foto 2.—El camino que sube al túnel, al Oeste de San Pedro. (hacia el Sur)  
li=liparita inferior, continuación de 1 de la foto 1.  
ar=arcillas rojas de la formación de sal con fuerte inclinación, la flecha indica la dirección en que se halla el túnel.



Foto 3.—La falda occidental del Cerro Hojalar, pág. 10. (hacia el Sur)  
Se ve la posición vertical de los bandos de liparita; en la esquina derecha abajo,  
al lado del estuche de la máquina fotográfica la inclusión de una piedra rica en  
mica dentro de la liparita.

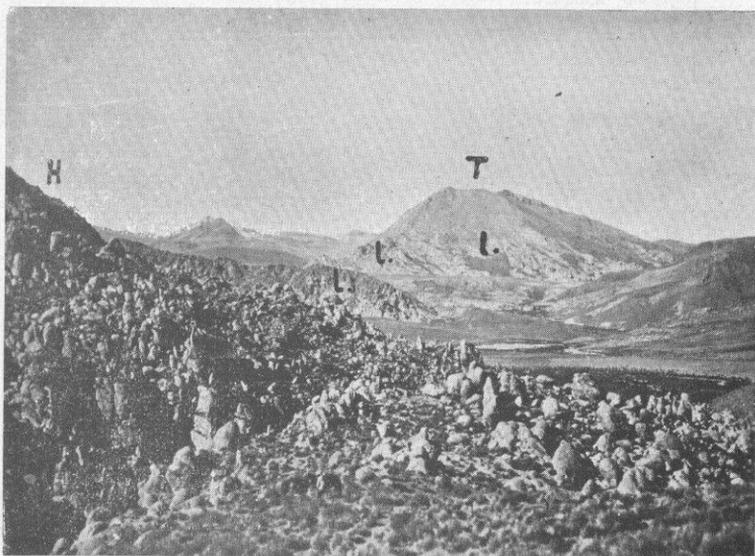


Foto 4.—La zona de liparitas que une los cerros Hojalar y Tatío.  
(hacia el Sur) página 10.  
l = liparitas; H = falda S.O. del Cerro Hojalar; T = cerro Tatío.

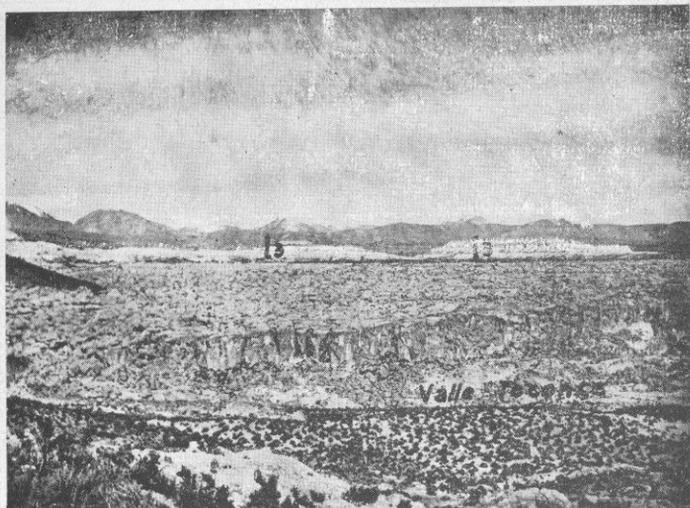


Foto 5.—Las liparitas en el Valle de Toconce (hacia el S. E). (página 10).

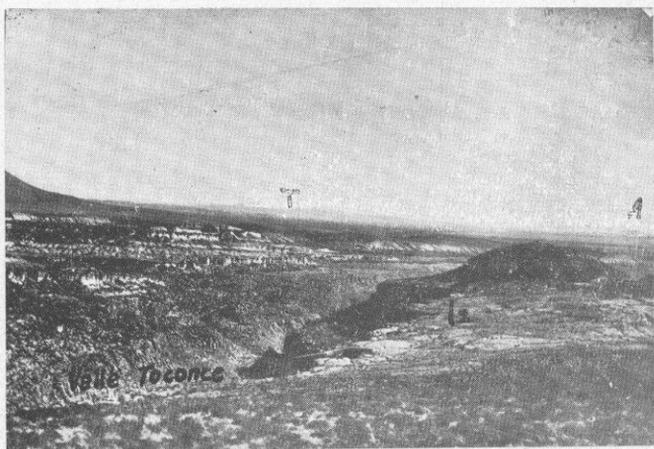


Foto 6.—Panorama de las liparitas al sur del río Toconce. (pág. 10).—  
Hacia el Sur

$I_2$  = liparitas provenientes de la erupción de los cerros Hojalar y Talio.

$I_3$  = liparitas de la mesetas situada al Sur del río Toconce.

C = Morros de Cáblor, situados al sur de Caspana.

T = Cerros de Tuina.

A = Parte austral de los cerros de Aiquina.

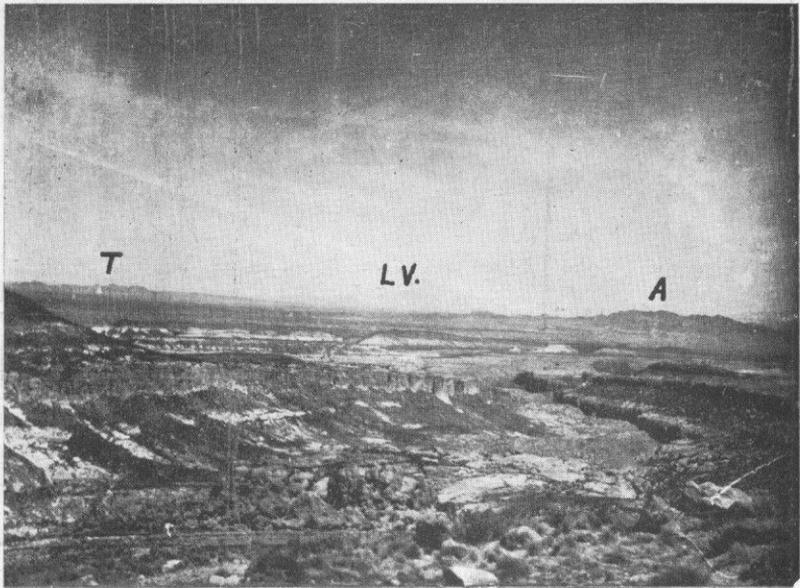


Foto 7.—Mirando desde el valle Toconce hacia el S.O. (página 32)  
Se ve la meseta liparítica que pasa entre los cerros de Tuina (T) y los de Aiquina (A) llegando hasta los cerros de Limón Verde (L. V.) situados al Sur de Calama.



Foto 8.—La formación liparítica en el Valle de Caspana. (mirando hacia el Este; página 11).

La fotografía representa el perfil de la página 11, fig. 1.

$l_2$  es la capa de liparita con su término causado por la erosión; 3 es la capa N.º 3 del perfil citado.

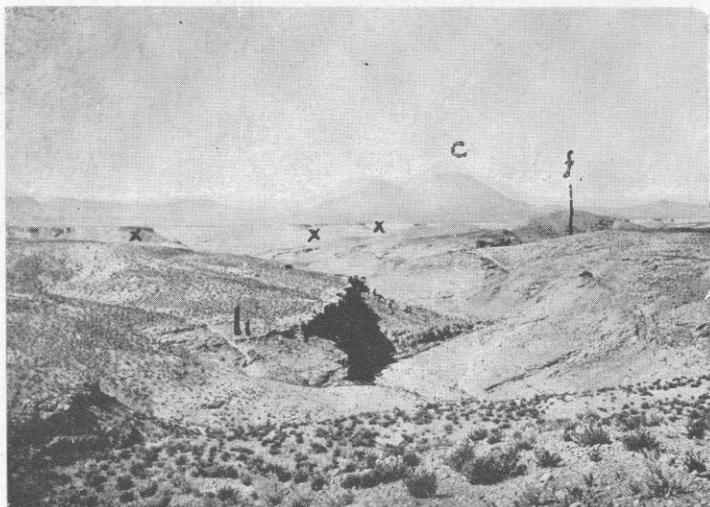


Foto 9.—La formación liparítica valle abajo de Caspana. (mirando hacia el S. E.; pág. 12 y 24).

- x = borde erosión en que termina la liparita 12, inclinación hacia el Oeste.
- f = rocas fundamentales de un contrafuerte oriental de los cerros de Aiquina, que quedan un poco más a la derecha.
- li = liparita inferior con la inclinación hacia el Este, debido al solevantamiento de los cerros de Aiquina.
- C = Morros de Cabor, conos volcánicos sobrepuestos a las mesetas liparíticas.



Foto 10.—El valle del río Salado a unos 10 klms. abajo de Aiquina. (páginas 13 y 16).

- c = areniscas calcáreas correspondientes a las calizas del Loa.
- li = liparita.
- b.l. = brecha roja de liparita más abajo hasta el fondo del río siguen areniscas, conglomerados y arcillas.



Foto 11.—Término de la liparita en una falla, a unos 10 klm. al Oeste de R. Turi  
(pág. 24, fig. 6; hacia el Este).

c=calizas o areniscas calcáreas

l=liparita



Foto 12.—El salto del Loa en Chintoraste.

1) Situación aproximada del perfil descrito en la página 17.

2) Región del punto de sondaje propuesto en la página 34.

c=calizas del Loa

a r=arcillas rojas.

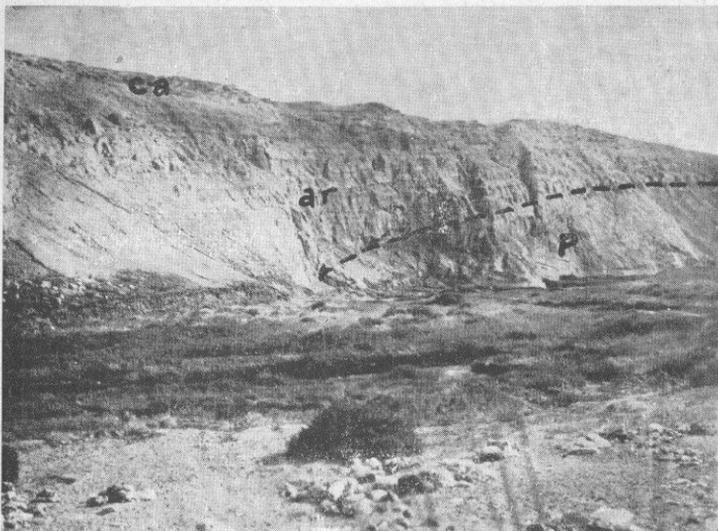


Foto 13.—Perfil de la superposición de las arcillas rojas encima de las rocas fundamentales, a unos 5 km. valle abajo del Saldo de Chintoraste.



Foto 14.—El mismo perfil correspondiente a la Figura 3. (página 18)  
 p=porfiritas fundamentales  
 a, r=arcilla roja.  
 aren=arenas y arcillas alternantes con capas de trípoli.  
 ca=calizas del Loa.

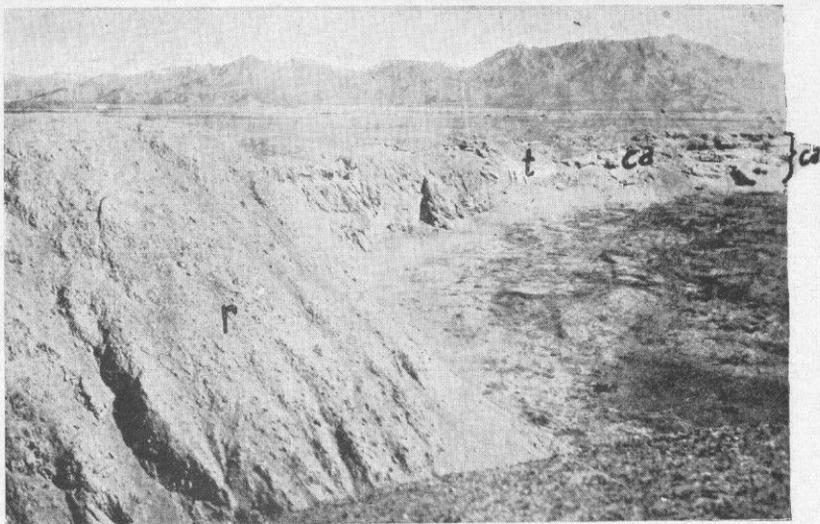


Foto 16.—Perfil de la figura 4, página 22, observado en la falda Norte del Cerro Topater.

r=rodados fuertemente inclinados, con intercalaciones de algunos bancos de arcilla roja arenosa.

ca=calizas del Loa.

t=capa de trípoli.

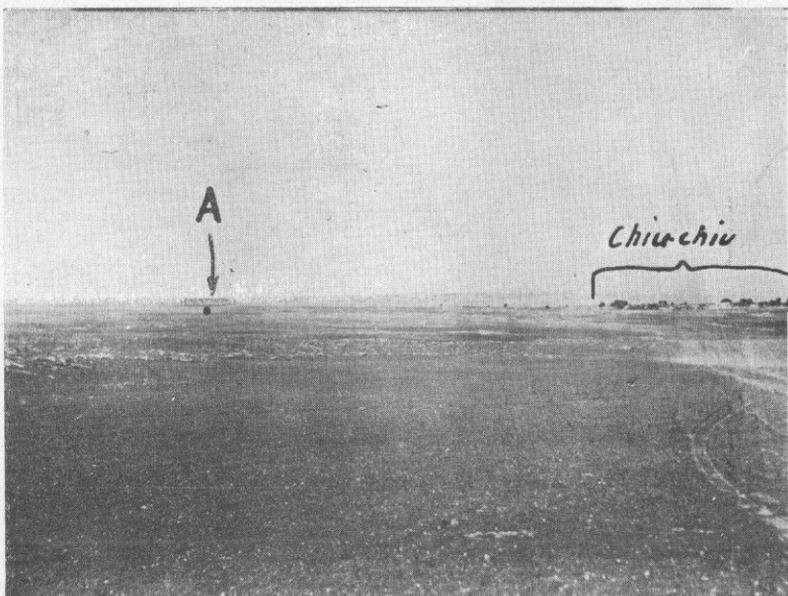


Foto 18.—La región de Chiu-Chiu mirada desde el Sur

A=la angostura de la flexura de la formación liparítica, representada en el perfil de la figura 2, página 13.

En esta angostura se halla el primer punto de sondaje propuesto en la página 33.

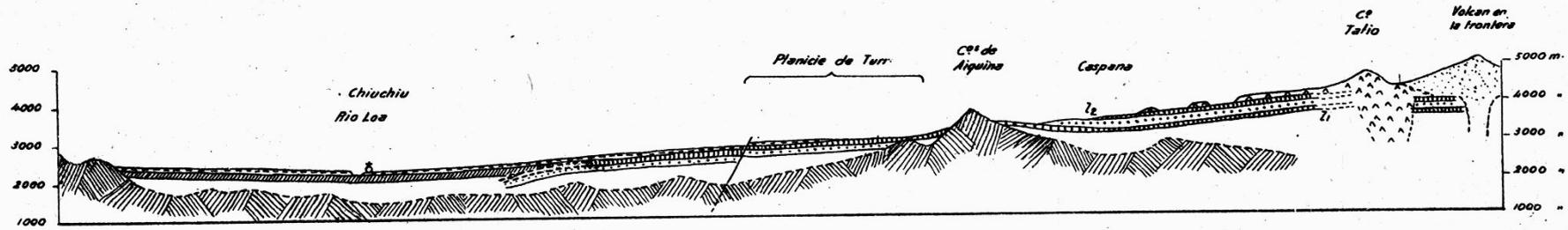


Foto 19.—El gran geisir del Tatio.  
El chorro de agua y el vapor salen de un sondaje; a la izquierda se ve otra  
vertiente termal.

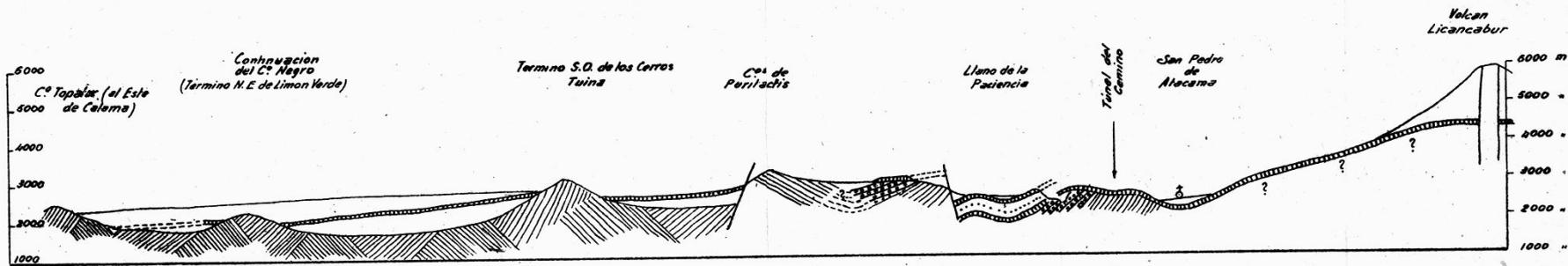


# PERFILES TRASVERSALES AL ESTE DE CALAMA

## CORTE A - B



## CORTE C - D



### LEYENDA

-  Calizas del Loa.
-  Arcilla colorada.
-  Areniscas, Conglomerados y arcillas terciarias y mas modernas.
-  Liparitas del C° Talio.
-  Areniscas etc. de la formación liparítica (a la vista).
-  Liparitas (L1, L2).
-  Arcillas y Areniscas rojas pasando a conglomerados (formación de sal).
-  Rocas fundamentales pre terciarias.
-  Andesitas de los volcanes modernos.



*M. & P. S. G. S. C.*