

57

FOLLETO N.º 5

# EL AGUA

EN LA

pendiente occidental de la cordillera  
real entre la Quebrada de Huatacondo  
i la Quebrada de Tarapacá.

POR EL

Dr. J. FELSCH



SANTIAGO DE CHILE  
SOC. IMP. I LIT. UNIVERSO  
Agustinas 1250

1920



50

FOLLETO N.º 5

# EL AGUA

EN LA

pendiente occidental de la cordillera  
real entre la Quebrada de Huatacondo  
i la Quebrada de Tarapacá.

POR EL

Dr. J. FELSCH



SANTIAGO DE CHILE

SOC. IMP. I LIT. UNIVERSO

Agustinas 1250

1920

# EL AGUA

EN LA

pendiente occidental de la cordillera  
real entre la Quebrada de Huatacondo

BIBLIOTECA NACIONAL  
SECCION CHILENA



85018



SANTIAGO DE CHILE  
IMP. DEL GOBIERNO  
Avenida - 1250  
1930

## El agua en la pendiente occidental de la cordillera real entre la Quebrada de Huatacondo i la Quebrada de Tarapacá.

Todas las vertientes de agua están ligadas íntimamente a la estructura geológica del subsuelo, con la escepcion de las vertientes de la falda occidental de los cerros de Columtuca.

Se pueden distinguir dos clases de vertientes:

### I.—VERTIENTES DE AGUA FRIA

En la parte baja de la falda occidental, entre alturas de 2,500 i 1,000 metros, estas vertientes son de poca importancia. Son resumideros de otras vertientes en la vecindad inmediata. A este grupo pertenecen casi todas las aguas que se obtienen por socavones o galerías en la planicie entre Pica i Matilla. La rejión de estas vertientes es seca.

En alturas mayores de 2,500 metros existen vertientes de agua fria de una produccion grande de agua, como las vertientes de Columtuca, Picunticsa i las de Alona i Chara. Estas vertientes están situadas en una zona de precipitacion atmosférica considerable.

### II.—VERTIENTES DE AGUA CALIENTE O TERMAS

Entre las termas hai que distinguir tres sub-grupos:

a) Vertientes de temperaturas elevadas (entre 30 i 56°) acompañadas de gases de hidrosulfúrico. La produccion de estas vertientes es invariable. Son vertientes de agua juvenil, es decir agua plutónica que sube por grietas de grandes profundidades.

b) Vertientes de temperaturas poco mayores que la temperatura media del año.

El agua de estas vertientes se resume en las rejiones de precipitacion atmosférica considerable i corre subterráneamente en la profundidad, aceptando una temperatura elevada hasta la vertiente. Miéntras que el grupo *a*) está ligado a la estructura jeológica de las capas basales de la cordillera, el grupo *b*) depende de la estructura jeológica de las capas cobertizas.

*c*) Termas con una produccion variable de agua. Este grupo representa una mezcla de los grupos *a*) con *b*).

El sub-suelo de la falda occidental de la cordillera está formado por dos formaciones jeológicas que difieren mucho por su orijen petrográfico i por la tectónica:

1.—La formacion basal de la cordillera se compone de sedimentos marinos como pizarras negras bituminosas, margas multicolores, calizas i areniscas. Estas capas sedimentarias están intercaladas e íntimamente ligadas con efusiones porfiríticas contemporáneas. En la zona de la alta cordillera están estas capas interrumpidas por grandes macizos de dioritas intrusivas i pórfidos cuarcíferos. Las capas sedimentarias i las efusiones porfiríticas son de la formacion jurásica i en partes del cretáceo inferior. En las margas del cerro Longacho se han encontrado varios fósiles que indican la edad del Doggeriano para estas capas. Tambien en la quebrada de Huatacondo encontré en pizarras negras algunos amonitas mal conservados que parecen pertenecer al jurásico central.

Al fin de la formacion cretácea, los sedimentos mesozoicos con las intercalaciones de porfiritas han sido plegados fuertemente. Inmediatamente despues o durante el plegamiento se han producido las intrusiones grandes de dioritas i probablemente inmediatamente despues las intrusiones de diorita cuarcífera i los pórfidos graníticos. Miéntras que la rejion de la cordillera durante la época mesozoica ha sido un mar, ella formaba desde el principio del terciario una cordillera alta.

Desde el principio de la época terciaria comenzó un período de denudacion mui fuerte.

En este período de denudacion fué destruida una gran parte de los sedimentos, intrusiones i efusiones mesozoicas.

La destruccion progresaba hasta tal grado que alcanzaba no sólo a quitar la tapa de las capas mesozoicas a los macizos de intrusion diorítica, sino tambien destruir cierta parte de esta última.

#### FORMACION COBERTIZA

Cuando los rios de la época de denudacion habian perdido poco a poco el declive, i en consecuencia habian escavado valles mui anchos, principiό de nuevo un período de sedimentacion, pero ahora una sedimentacion terrestre i fluvial. Es decir, los rios depositaban en los valles anchos los productos de la destruccion de la cordillera supracretácea, infraterciaria

en forma de conglomerados, con intercalaciones de areniscas i arcillas, dejando sin cubierta sólo algunos cerros o lomas restantes de la cordillera, que están formados por las capas mesozoicas, fuertemente plegadas con las efusiones profiríticas i las intrusiones dioríticas.

La sedimentacion de estas capas principi6 probablemente en el mioceno. En las capas superiores de conglomerados i areniscas fluviales se encuentran odsalrainteca lgunos extractos blancos de cenizas i tobas liparíticas. La serie de los conglomerados i areniscas fluviales está cubierta por un manto de cenizas i tobas, i éstas por una capa de efusion de liparita.

La efusion liparítica se estiende desde la cumbre de la cordillera hasta la pampa del Tamarugal. Desde la quebrada de Tarapacá hasta mas al Sur de la quebrada de Huatacondo. No se puede determinar con exactitud hasta que zona en la pampa del Tamarugal ha llegado la efusion. Mas o ménos 6 kil6metros al occidente de la cadena Cerro Longacho—Matilla—Puquio Núñez, se encuentra el punto mas avanzado hácia el Oeste de la efusion, pero aquí la liparita se presenta en una forma de breccia, así que es de suponer que el límite Oeste de la efusion liparítica que desaparece hácia el occidente dabajo de las aluviones modernas de la pampa no estará léjos. El oríjen de la lava liparítica se tendrá que buscar en los volcanes de la alta cordillera, en la zona de los volcanes de Piga i Porquesa. Por consiguiente el espesor de la lava liparítica i de las tobas correspondientes, es mucho mayor en los Altos de Pica que en la parte inferior de la falda de la cordillera.

En Alona, en la junta de la quebrada de Caya con la de Chara, es decir en el punto donde la cadena de los Altos de Pica está cortado por estas quebradas, las lavas liparíticas i las tobas tienen un espesor de 450 metros, parece que hácia el Norte en los Altos de Pica el espesor sube hasta 500 i 600 metros. Aquí se pueden observar varias corrientes de lavas liparíticas. En Algarrobal, 28 kil6metros aguas abajo de Alona, así como en la cadena del cerro Longacho i en Sagasca, existen solo dos capas liparíticas que no están separadas por un estrato intercalado, la efusion inferior es de color negro i tiene un espesor de 6 a 10 metros; el color negro proviene de la base vítrea de esta roca. La efusion superior es de color rosado claro i su espesor es de 8 hasta 15 metros. Estas dos efusiones liparíticas, que se han producido una inmediatamente despues de la otra, corresponden a la zona central de las lavas liparíticas en Alona. Es decir, que en la alta cordillera ya se formaron lavas liparíticas i tobas liparíticas durante la sedimentacion de los conglomerados i areniscas inferiores, las cuales en la parte baja de la falda de la cordillera están cubiertas por la efusion liparítica oscura i rosada. Por lo tanto se encuentra tambien de vez en cuando un rodado liparítico en los conglomerados inferiores.

En la alta cordillera, la actividad volcánica ha continuado con mucha intensidad despues de las efusiones inmensas de lava liparítica que han

corrido desde la cumbre de la cordillera hasta la pampa del Tamarugal. En los Altos de Pica la efusion oscura i clara de liparita está cubierta por lavas liparíticas claras i tobas de gran espesor, pero las efusiones liparíticas modernas apénas han alcanzado la media falda de la cordillera. Sólo las tobas liparíticas modernas se encuentran intercaladas en las areniscas gris oscuras sobre la efusion cobertiza de liparita en la rejion de Pica. El espesor de las capas modernas de tobas en la zona de Pica apénas alcanza un metro, miéntras se aumenta mucho hácia el Este, así es que las tobas modernas tienen un espesor de 100 metros i mas en los Altos de Pica.

En la parte baja de la falda, es decir 4 kilómetros al Este de Tambillo, en la quebrada de Quisma hácia el Oeste, se depositaban, contemporáneamente con las tobas i efusiones modernas de liparita, areniscas grises de grano mediano hasta grueso con cemento de cal. A veces el contenido en cal se ha acumulado en concreciones calcáreas en forma de bolas con un diámetro de 5 a 8 centímetros. En la quebrada seca, que baja al este de cerro Longacho, i en la quebrada de Tambillo, las areniscas grises están bien repletas de concreciones calcáreas. (Véase la fotografia N.º 1).

Mas al norte de la quebrada de Tambillo i al sur de la quebrada de Chacarilla, las areniscas grises con intercalaciones de tobas liparíticas pasan poco a poco en conglomerados. Estos conglomerados se componen de rodados de las capas basales de la cordillera i especialmente de liparita.

Por la frecuencia de rodados de liparita se puede fácilmente distinguir este horizonte de los conglomerados i areniscas debajo de las efusiones liparíticas.

Las capas terciarias se pueden dividir en tres horizontes de arriba para abajo:

3.—Areniscas i conglomerados superiores;

2.—Efusiones de liparita a modo de techo;

1.—Conglomerados i areniscas inferiores.

#### MOVIMIENTO TECTÓNICO SUPRATERCIARIO

Despues de la sedimentacion de las areniscas i conglomerados superiores se ha producido de nuevo un movimiento tectónico de mucha intensidad. La presion que dió oríjen a este movimiento tectónico, ha obrado desde el Oeste hácia el Este. La presion supracretácea encontró una rejion que estaba compuesta solo por capas todavía no plegadas, que por consiguiente conservaban una gran elasticidad; se formaban pliegues con rumbo del Sureste al Noreste, es decir rectangularmente con respecto al empuje.

La presion supraterciaria encontró la misma rejion con un zócalo semi-ríjido o poco flexible cubierto por capas todavía no plegadas i por consiguiente plásticas.

En el principio del movimiento tectónico se formaban en las capas



cobertizas pliegues mui suaves, hasta que las capas basales ya plegadas al fin del cretáceo se pusieron ríjidas. Despues se formaban en zócalo ahora ríjido, grietas de separacion rectangular a la direccion de la presion. En estas grietas se produjeron dislocaciones, así es que las capas cobertizas no fueron mas plegadas sino que fueron arrastradas debido a los deslizamientos en las fallas de las capas basales.

Este plegamiento en partes pasivo, que han sufrido los sedimentos terrestres fluviales i la formacion liparítica, se puede bien comprobar por la forma irregular de los anticlinales en la rejion de Pica i Sagasca.

El perfil N.º 1 demuestra la estructura jeológica del cerro Longacho. Como se ve, el núcleo del anticlinal está formado por las capas basales mui plegadas. Es probable que el punto mas alto del cerro Longacho, ya se haya elevado en forma de una isla de la corriente de lava liparítica, asimismo como la pequeña elevacion en la falda occidental del cerro Longacho. La falda oriental i occidental están formadas por las capas cobertizas. La inclinacion de las capas liparíticas en falda oriental es mui pronunciada hácia el Este. El ángulo de inclinacion es de 26 hasta 36° hácia el Este. En la falda occidental la efusion liparítica i las tobas subyacentes están mui tendidas i tienen una inclinacion de 5 hasta 8° hácia el Oeste.

El límite de las capas liparíticas está en la falda oriental del cerro en una altura de 15-28 metros menor que en la falda opuesta. En la falda occidental se encuentran las efusiones liparíticas siempre separadas de la capas basales plegadas por la capa de tobas, pero en la falda oriental faltan las tobas debajo de la liparita i esto en menor altura.

El perfil comprueba con toda exactitud que la faja del cerro Longacho está separada de la planicie oriental por una falla. El bloque del cerro Longacho ha sido elevado i mucho mas en el márjen oriental que en el occidental, miéntras que la zona de la planicie de Pica ha sido un poco hundida. Por este solevantamiento en la falda oriental del cerro Longacho han sido arrastradas las capas liparíticas hácia arriba. El perfil de la zona de dislocacion de Sagasca parece casi por completo al perfil del cerro Longacho.

Tambien la zona de Sagasca está formada por un anticlinal, con una flexura en el ala Este i con una ala Oeste poco inclinada; en el núcleo del anticlinal aparecen las capas jurásicas plegadas.

La falla que limita la zona de Sagasca hácia el Este está mui marcada.

En la falda oriental del núcleo de las capas basales, entre el establecimiento de Sagasca i el camino que sube en forma de serpentinias a Mamiña, se encuentran los conglomerados inferiores, las tobas i efusiones liparíticas, con poca inclinacion hácia el Este. De repente en un trecho de 400 metros se inclinan con 36° hácia el Este. De este punto, 500 metros mas al oriente, las capas cobertizas están cortadas por una falla casi vertical con rumbo Norte-Sur. Miéntras que las capas al Oeste de la falla tienen

un manteo tendido al Este, ellas están inclinadas hacia Oeste en el lado Este, así es que las capas forman en la falla el vértice de un ángulo.

Estas condiciones geológicas comprueban con evidencia el modo del movimiento tectónico.

Por la presión tectónica, que obraba de Oeste a Este, la grieta de falla ha sido formada en las capas basales rígidas, exactamente debajo de la parte Este de la flexura. El bloque de Sagasca, que está limitado hacia el Este por la falla, i el bloque oriental vecino, es decir el bloque de Macaya, han sido levantados en tal forma, que el borde oriental de los bloques alcanzó mayor altura que el borde occidental, así es que los dos bloques forman ahora dos planos inclinados de Este a Oeste, que están separados por un botamiento desde el borde Este de Sagasca hasta el borde occidental de Macaya. Por el mayor sollevamiento del borde Este de la lengua de Sagasca, han sido arrastradas las capas cobertizas en forma de una flexura de Oeste a Este.

Los anticlinales suaves que presenta la formación liparítica entre Sagasca i Tambillo en la quebrada de Tasma, se habían formado por la compresión en las capas basales hasta que éstas alcanzaban el estado rígido.

Pero mas tarde de este movimiento tectónico se formaron fallas transversales con rumbo casi de Oeste a Este. El manteo de estas fallas transversales es muy parado; en la Quebrada de Quisma he medido algunas veces 70 hasta 84° de inclinación al Sur. Por estas fallas fué hundido el bloque del Sur, hacia el Sureste.

Una consecuencia de tales fallas transversales es que el anticlinal de Longacho—Matilla—Puquio Núñez que limita la planicie de Pica hacia el occidente, pierde al Sur poco a poco de altura, así es que desaparece por completo al Sur de la quebrada de Puquio Núñez. Además, se puede constatar que la cadena del anticlinal Longacho—Matilla—Puquio Núñez, no forma una línea continua, sino que esta línea está cortada i que la parte Sur está botada en forma de escalon hacia el este. Bien marcada está la falla transversal que corta el anticlinal Longacho—Matilla—Puquio Núñez, algunos 1,000 metros al Sur del cruce del camino de Pica a La Calera con el anticlinal. En esta falla la quebrada seca ha escavado su desembocadura a la pampa.

El anticlinal de la cadena del Longacho termina bruscamente en el corte de la quebrada seca. Al sur de la quebrada principia la cadena del anticlinal Matilla, mas o menos 400 metros mas al Oeste.

En una distancia—Este a Oeste—de 6,000 metros, corre paralelo a la cadena del Longacho otra anticlinal entre La Calera i la desembocadura de la quebrada seca. Este anticlinal al Sur de la quebrada seca desaparece bruscamente en la pampa, mientras que ella está bien pronunciada en el terreno hacia el Norte.

Estas fallas trasversales representan los movimientos tectónicos mas nuevos de importancia en la falda occidental de la cordillera.

Los movimientos tectónicos postmiocenos, dieron a la cordillera de Los Andes la forma i la altura actual. Las modificaciones topográficas que se formaban durante el Diluvio i Aluvio son relativamente pequeñas.

#### LOS SEDIMENTOS MODERNOS

A consecuencia del levantamiento supraterciario de la cordillera, todas las aguadas habian recibido un declive pronunciado i por consiguiente comenzó de nuevo una época de erosion, que hoi dia todavía continúa. Es natural que los primeros rios cambiaron frecuentemente su lecho, por haber tapado con la gran cantidad de rodados el primer lecho. Este cambio frecuente entre erosion i sedimentacion, se producía casi exclusivamente en la parte inferior de la falda occidental, donde la topografía recientemente formada permitía a los primeros rios poca corriente. Por consiguiente, se encuentran los sedimentos modernos esclusivamente en la parte occidental de la falda, es decir siempre separada de los sedimentos anteriores por una discordancia de erosion. Los sedimentos modernos son areniscas de color gris poco cimentados, en las areniscas se encuentran intercaladas en forma de lente frecuentes capas de conglomerados.

Las areniscas están compuestas por granos de cuarzo, de feldespatos, aujitos i de granos negros de afanitas, siendo relativamente frecuentes los componentes negros. Las areniscas están cementadas por arcilla. Por consiguiente las areniscas son bien consistentes en las capas, pero espuestas al sol se descomponen en pedazos conchoideos. Las areniscas demuestran una estratificación irregular i muy frecuente diagonal. La gran mayoría de los rodados de los conglomerados intercalados provienen de la formación liparítica. En la parte norte i sur de la falda occidental de la cordillera, es decir en la zona de las quebradas de Tambillo, de Sagasca i de Juan de Morales en el norte i en la quebrada de Chacarilla en el sur, pasan las areniscas modernas o conglomerados, que se componen de rodados de la formación liparítica i de las capas basales de la cordillera.

El mayor desarrollo tienen los sedimentos modernos en la parte baja de la falda de cordillera entre Tambillo en la quebrada de Quisma i Matilla. Las areniscas i conglomerados modernos no han sufrido movimientos tectónicos de importancia, se encuentran sedimentados con inclinación suave de Este a Oeste, es decir con inclinación que corresponde mas o menos al declive de la falda de la cordillera. Los sedimentos modernos forman mas o menos una grada con una altura de 2,200 metros en la falda de la cordillera. El sub-suelo está constituido por la formación liparítica al oriente

de la grada de los sedimentos modernos hasta el valle longitudinal del río Collacagua i de la laguna de Huasco en la alta cordillera.

En la alta cordillera corresponden segun la edad jeológica a los sedimentos modernos, capas blancas de tobas liparíticas, un horizonte de conglomerados i corrientes de lavas de andesita aujítica.

#### OROGRAFÍA E HIDROGRAFÍA DE LA FALDA OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA

La falda occidental de la cordillera entre la línea divisoria con Bolivia en el Este, la pampa del Tamarugal en el Oeste, la quebrada de Tarapacá en el Norte i la quebrada de Huatacondo en el Sur, se puede dividir en dos zonas mui distintas con respecto a su orografía e hidrología:

1.—La zona de la alta cordillera limitada en el Este por la línea divisoria con Bolivia, en el Oeste por la cadena cerro Yarbicolla—Altos de Pica cerro Empexa.

2.—La zona del plano inclinado limitado en el Este por la cadena de los Altos de Pica i en el Oeste por la pampa del Tamarugal.

#### LA ZONA DE LA ALTA CORDILLERA

La zona de la alta cordillera está en una altura de 4 a 5 mil metros i presenta una superficie mui quebrada. Esta zona andina está formada por dos cadenas de cerros de 4,300 hasta 5,000 metros de altura, paralelo con rumbo Norte-Sur, que están separados por una altiplanicie longitudinal en una altura de 3,800 metros término medio. El valle o la altiplanicie longitudinal está dividida en la mitad de su estension Norte-Sur por una cadena de lomas de 3,900 metros de altura, con rumbo Oeste-Suroeste a Este-Noreste. La parte Norte del valle longitudinal no tiene desagadero, toda el agua de esta zona se junta en las lagunas del Huasco en una altura de 3,760 metros; por consiguiente, el agua del Huasco es salada. La parte Sur del valle longitudinal llamada la pampa de Chacarilla, que se estiende hasta 3 kilómetros al Norte de la quebrada de Copaquire, está desaguada por la quebrada de Chacarilla, cuyo curso superior está denominado quebrada de Alona. La rejion andina está situada en una zona de precipitaciones atmosféricas considerables. Los cerros de mayor altura de 5,000 metros están cubiertos por nieves eternas, que limitan el valle longitudinal. En los meses de Diciembre, Enero i Febrero, está lloviendo casi diariamente en esta zona. Sin embargo, los rios que llevan cantidades considerables de agua la van perdiendo poco a poco. El agua corre subterráneamente para aparecer mas abajo como agua salada. El río Collacagua que conduce el agua de las vertientes de Piga con 204 litros por segundo i el agua de

Batea 36,5 litros por segundo, pierde su agua en Manca Collacagua. El agua corre subterráneamente hasta las lagunas del Huasco. La quebrada de Caya, que está desaguando la zona grande acuífera de la pampa de Chacarilla, pierde también poco su agua en la pampa, para aparecer en Alona como agua mas salada.

Este hecho de que los rios en la rejion andina pierdan en partes el agua para aparecer en otra parte como agua salada, depende de la estructura jeológica de esta zona, que trataremos en un capítulo mas abajo.

#### LA ZONA DEL PLANO INCLINADO

La falda occidental de la cordillera entre la cadena de cerro Yarbicolla—Altos de Pica—Empexa i la orilla oriental de la pampa del Tamarugal, es un plano suavemente inclinado de Este a Oeste. El borde este del plano está en una altura de 4,200 metros término medio i el borde Oeste está en una altura de 1,100 metros. En este plano que es de color gris claro, se encuentran algunas pocas lomas como islas aisladas que son bien visibles por su color mas oscuro, como por ejemplo el complejo de los cerros Yarbicolla i Columtuca en el Norte, el cerro Empexa en el Sur, los cerros de Juan de Morales i de Sagasca en la parte baja noreste, el cerro Longacho en el centro, la loma de Puquio Núñez i los cerros de Algarrobal entre la quebrada de Chacarilla e Infiernillo. Mui bien se ve la forma de la falda occidental con los cerros aislados en forma de isla en la serie de fotografías N.º 2. Esta serie de 6 fotografías fué tomada desde el centro de la cadena cerro Longacho—Matilla; en la primera fotografía a izquierda, mirando al Norte, se ve en el centro el cerro Longacho i atras de éste un poco a izquierda, los cerros de Juan de Morales, ámbos elevándose como islas en el plano inclinado; en la segunda fotografía mirando al noreste, se ve en el centro el complejo del cerro nevado Yarbicolla i a mano izquierda los cerros de San Félix, cerros Peñascos i los cerros de Cunupa; en la tercera fotografía mirando hácia el Este se ve la cadena de los Altos de Pica, como una cresta horizontal i en la delantera del plano inclinado con la interrupcion apénas perceptible de la grada de las areniscas modernas en el fondo. En la cuarta fotografía, mirando al S. E. se ve en el fondo la prolongacion de la cresta de los Altos de Pica hácia el Sur i a mano derecha el cerro Empexa en el fondo, en el centro el oásis de Pica; en la quinta fotografía, mirando al Sur, se ve bien el declive del plano inclinado i su borde derecho, la loma chica de Puquio Núñez i atras de ella el cerro Challacollo; en la sexta fotografía, mirando al Sur—suroeste se ve la pampa del Tamarugal con el cerro Gordo en el centro del fondo.

La falda occidental es un desierto estéril con algunos oásis. La parte superior de falda está situada en una zona de pocas precipitaciones atmos-

féricas; la parte inferior casi no tiene precipitaciones atmosféricas. Por consiguiente se encuentran en el plano inclinado varias quebradas, que han sido escavadas por las aguas escurridas de la parte superior durante las precipitaciones atmosféricas. En la mayor parte estas quebradas son secas.

Estudiando el mapa topográfico de la falda occidental se pueden distinguir dos hojas hidrográficas:

1.º La hoja hidrográfica norte que comprende las quebradas Juan de Morales, Sagasca i Tambillo.

2.º La hoja hidrográfica sur comprende las quebradas de Quisma i Chacarilla.

Estas dos hojas hidrográficas están separadas por la elevacion en forma de isla de las capas basales del cerro Longacho en medio de la formacion cobertiza.

La hoja hidrográfica norte está desaguando la zona con precipitaciones atmosféricas considerables de la falda occidental de los complejos altos de los cerros Yarbicolla, San Félix, Peñascos, Cunupa i la parte mas alta del borde oriental del plano inclinado. La salida a la pampa del Tamarugal está restringida en el trecho corto entre las dos elevaciones en forma de isla de las capas basales, cerro Juan de Morales en el Norte i cerro Longacho en el Sur.

La hoja hidrográfica Sur está desaguando en primer lugar una parte de la region andina i la pampa de Chacarilla. La quebrada de Quisma está desaguando la parte central Sur i baja del borde oriental del plano inclinado. La quebrada de Quisma i la de Chacarilla no se juntan ántes de bajar a la pampa, pero las desembocaduras se acercan mucho. Se puede comprobar que las desembocaduras de la quebrada de Quisma estaba ántes a 6 kilómetros mas al Sur del pueblo El Valle. La quebrada de Chacarilla se junta en el borde oriental de la pampa con la quebrada de Puquio Núñez, así es que las desembocaduras de las quebradas en el anticlinal Matilla-Puquio Núñez estaban en una distancia de 10 kilómetros.

Mui característico es que las desembocaduras de las quebradas del plano inclinado estén restringidas en la parte norte del cerro Longacho i por otro lado en la zona al sur de Matilla.

Ya arriba se ha mencionado que el plano inclinado desde los Altos de Pica hasta el borde de la pampa representa las masas de relleno de valles grandes infraterciarias en la cordillera supracretácea.

La hoja hidrográfica del sistema de los rios infraterciarios, probablemente alcanzó hasta la línea divisoria con Bolivia i estaba limitada en el Norte por el complejo de capas basales de los cerros Columtusca, Yarbicolla, San Félix, Peñascos, Cunupa i en el Sur por el complejo de capas basales de Empexa-Quitala. La desembocadura del sistema de rios infraterciario

a la pampa, estaba probablemente en la parte donde las capas basales están hoy en la altura mas baja.

El plano inclinado está separado de la pampa por un anticlinal con rumbo Norte-sur del cerro Longacho-Matilla-Puquio Núñez. Este anticlinal presenta tambien en la superficie una cadena de lomas. Esta cadena está bien visible en la serie de 6 fotografías, donde se destaca bien en la parte delantera de las vistas. En el cerro Longacho aparecen en una estension de 4,000 metros las capas basales en forma de isla. La cresta de la loma de las capas basales baja hácia el Sur poco a poco i desaparece en una altura de 1,390 metros debajo de la formacion liparítica, 3,000 metros al Sur de la cima, que tiene 1,620 metros. En Matilla está la cresta del anticlinal, formada por la efusion de liparítica, en una altura de 1,255 metros. 1,500 metros al Norte de la chacra de Puquio Núñez está la cresta del anticlinal con la efusion de liparita en una altura de 1,200 metros. Este es el punto mas al Sur donde sale la efusion de liparita a la superficie en el borde occidental del plano inclinado.

La loma Puquio Núñez, con una altura de la cima de 1,243 metros, se ha formado por rodados de las capas basales con un diámetro no mayor de 15 centímetros. Los rodados son bien redondos, así es que es evidente que ellos están trasportados. No faltan rodados de liparita, pero éstos no son mui frecuentes. Se encuentran bloques de liparita con un diámetro de 50 centímetros, los cantos no son mui redondos.

La loma de Puquio Núñez está probablemente formada por una elevacion de los conglomerados inferiores, donde falta la capa liparítica. Si la loma de Puquio Núñez nunca ha sido cubierta por la efusion liparítica, o si ésta fué destruida por la erosion, no se puede comprobar. Queda comprobado que no se trata de una isla de las capas basales. Mas al Sur de la quebrada de Puquio Núñez desaparecen debajo de los sedimentos modernos todos los horizontes que han participado en los movimientos tectónicos.

Las capas basales se encuentran en la rejion de Puquio Núñez-Chacarilla, en menor altura que 1,190 metros.

Al Norte del cerro Longacho, en la junta de la quebrada Sagasca con la de Tambillo, aparece la efusion liparítica en forma de un anticlinal suave. Este punto está en una altura de 1,360 metros. Los conglomerados i areniscas inferiores, tienen aquí un espesor a lo ménos de 120 metros, como se puede comprobar en el curso inferior de la quebrada Sagasca.

Por consiguiente, las capas basales están en una altura de 1,240 metros máximo.

En la quebrada Tambillo hácia la pampa, la capa de liparita desaparece con inclinacion de 7° hácia Oeste debajo de los sedimentos modernos. La junta de la quebrada de Tambillo con la de Sagasca, está diez kilómetros al Este del borde oriental de la pampa.

Es posible que la hoja hidrográfica Norte del plano inclinado, en ei

principio de la erosion infraterciaria, pertenecia a la hoja Sur i que la desembocadura del sistema de los rios infraterciarios existia en la rejion de Puquio Núñez-Chacarilla; pero por erosion honda entre el cerro Longacho i Juan de Morales, todavía ántes del relleno de los valles infraterciarios, fué desviada i por consiguiente la parte Norte del plano inclinado forma hoi dia una hoja hidrográfica separada.

Queda, pues, comprobado que tambien para corrientes subterráneas, existen dos hojas hidrográficas en la falda occidental de la cordillera, que están separadas por el cerro Longacho. La línea divisoria entre las dos hojas hidrográficas corresponde mas o ménos a la línea entre el cerro Longacho i el callejon de los Altos de Pica.

#### LA REJION DE COLLACAGUA I DE LA PAMPA DE CHACARILLA

La rejion de la alta cordillera está limitada en el oeste por el complejo de los cerros de Yarbicolla, San Félix, Peñascos, Cunupa en el Norte i el complejo de Empexa-Quitalla en el Sur, que están juntados por la cadena de los Altos de Pica. Los complejos de Yarbicolla-San Félix-Peñascos-Cunupa i de Empexa-Quitalla, están formados por capas basales. Especialmente el macizo del cerro Yarbicolla i San Félix, sobrepasa mucho con respecto a la altura o la cadena de los Altos de Pica.

La cadena de los Altos de Pica está formada por la formacion liparítica.

Subiendo por la Apacheta de Yapu se observa que las tobas i las efusiones liparíticas se encuentran con discordancia sectorica bien marcada, con una inclinacion pronunciada hácia el este sobre la formacion mesozoica del cerro Japu.

Mas al Este, entre la Escalera i la quebrada de Chaquima, se encuentra un anticlinal bien pronunciado de la efusion de liparita, la inclinacion del ala oriental es de 26°; 4,000 metros mas al Este se encuentra la efusion de liparita con un espesor a lo ménos de 220 metros con inclinacion de 14° hácia el Este.

2,000 metros al Este de las casas de Collacagua, en el arroyo de Piga, desaparece la efusion de liparita debajo de tobas blancas liparíticas. 6,000 metros aguas arriba, en el arroyo de Piga, se encuentra un horizonte de conglomerados sobre las tobas blancas. 2,500 metros al Oeste de las vertientes de Piga, el horizonte de conglomerados está cubierto por una efusion grande de andesita aujítica. El horizonte de conglomerados i la efusion de andesita, tienen una inclinacion apénas visible hácia el sureste. Los rodados en el horizonte de conglomerados son de liparita i de rocas basales.



## LA CADENA DE LOS ALTOS DE PICA

El punto mas apropiado para reconocer la estructura de la cadena de los Altos de Pica, es la profunda quebrada de Alona; el único punto donde los Altos de Pica están cortados por un valle hasta las capas basales i hasta mayor profundidad que la superficie de la pampa oriental. En Alona se unen las quebradas que desaguan la pampa de Chacarilla. Del Norte baja la quebrada de Chara a lo largo de la falda oriental de los Altos de Pica; del Sur viene la quebrada de Caya. En la fotografía número 3, que está tomada de noroeste a sureste, se ve en la parte delantera, a mano izquierda, la quebrada de Chara; a mano derecha baja la quebrada de Caya, la efusión de liparita forma en el fondo la superficie de la pampa de Chacarilla.

El perfil N.º 3 representa un corte desde 4 kilómetros al Este de Alona, hasta 2 kilómetros al Oeste de la cresta de López. La superficie de las capas basales, que aparecen en el centro de la fotografía N.º 3, está en una altura de 3,331 metros; con discordancia tectónica bien marcada descansan sobre éstas de abajo hácia arriba.

- 1.—Conglomerados inferiores;
- 2.—Tobas liparíticas blancas;
- 3.—Efusiones de liparita de color pardo rojizo;
- 4.—Liparita negra con materia basal de vidrio negro;
- 5.—Liparita de color rosa.

Esta última capa está en una altura de 3,740 metros, así es que el espesor de las efusiones liparíticas tienen un espesor de 350 metros. Parece que cierta parte de las efusiones liparíticas está destruida por la erosion. Mas para el norte, en los Altos de Pica, se tendrá que calcular con una potencia de 500 metros de las efusiones liparíticas. En el perfil, la parte entre Alona i la cuesta de López, corresponde a la zona de los Altos de Pica, la parte al este de Alona a la falda oriental. Las efusiones liparíticas i las tobas i conglomerados subyacentes, forman entre Alona i la cuesta de López, dos anticlinales mui suaves. El anticlinal al Oeste de la chacra de Alona, o del corte de la quebrada de Caya, es mui simétrico. La inclinacion del ala oriental es de 9º i la inclinacion al Oeste 11º. El anticlinal al Oeste de la cuesta de López, es asimétrico; la inclinacion al Este es de 2º mientras que la inclinacion al Oeste es de 4º. La fotografía N.º 4 muestra el ala occidental del anticlinal, se ven bien las capas fuertemente plegadas del jurásico —pizarras oscuras, areniscas, margas i efusiones de porfirita— con rumbo N. 23º O. e inclinacion 57º hácia el noreste. Sobre las capas plegadas están depositadas con discordancia visible los conglomerados, las tobas i la efusion de liparita inclinándose mui tendidos hácia el oeste, lo que se nota bien en el manto blanco de las tobas. La parte oriental del perfil está dibujado con

interrupcion, porque los afloramientos de esta estructura se encuentran en la quebrada de Chara. Las capas liparíticas desaparecen debajo de los aluviones modernos con una flexura hácia el Este.

Hácia el Norte la cresta de los Altos de Pica, sube poco a poco para alcanzar al pié Sur del cerro Columtuca una altura de 4,470 metros. En toda estension la cresta está formada por la efusion de liparita. En Manca Collacagua, la flexura en la falda oriental está mucho mas pronunciada que en Chara. En Manca Collacagua la inclinacion de la capa liparítica es de  $28^{\circ}$  hácia el Este. El punto mas alto del zócalo de las capas basales en Alona es de 3,330 metros, en el Norte las capas basales alcanzan, en la cima del cerro Columtuca, una altura de 5,150 metros. Debajo de la cresta de los Altos de Pica, sube tambien la superficie de las capas basales de Sur a Norte i talvez con mayor declive que la formacion liparítica; por otra parte es probable que la potencia de la formacion liparítica disminuye hácia el Norte.

En la zona de las lagunas de Huasco, la cresta de los Altos de Pica tiene una altura de 4,200 metros.

Las lagunas de Huasco están en 3,760 metros. Suponiendo que la potencia de la formacion liparítica no ha disminuido desde Alona hasta la Mama Apacheta, entónces estará la superficie del zócalo de las capas basales en una altura de 3,700 metros, por consiguiente un poco mas baja que el nivel de las lagunas. Sesenta metros de desnivel para una distancia de 8,000 metros, no dará bastante fuerza a la corriente subterránea de agua, para correr por encima de la cresta de las capas basales i bajar hácia el Oeste, a la rejion de Pica. Ya se ha mencionado que la estructura jeológica hace mui probable que en esta parte de los Altos de Pica la potencia de la formacion liparítica habrá disminuido bastante en comparacion con la de Alona. En este caso estaria la superficie del zócalo basal en un nivel mas alto que las lagunas del Huasco.

Por consiguiente, indican las condiciones jeológicas, con cierta seguridad, que la pampa del Huasco está bien limitada hácia el Oeste con respecto a su estructura jeológica.

En el capítulo sobre la Topografía, se ha descrito que el valle Longitudinal entre la cadena de los Altos de Pica i la línea divisoria con Bolivia, está dividida por una cadena de lomas bajas con rumbo Oeste a este en una hoja hidrográfica del Norte i en otra del Sur. Al Sur de las lagunas del Huasco, la efusion de liparita forma una cadena de lomas que tienen una altura de 3,900 metros, por consiguiente 150 hasta 200 metros mas alto que las lagunas del Huasco. No me ha sido posible averiguar la causa de tal elevacion trasversal de las capas liparíticas; sin embargo, se puede deducir la posibilidad que las lagunas del Huasco tengan comunicacion subterránea con la quebrada de Chara i asimismo con Alona, Chacarilla.

La quebrada de Chara nace en la falda sur de la elevacion trasversal

de la formación liparítica, 11 kilómetros al sur de la laguna del Huasco. El borde de la pampa de Chacarilla en Alona, está en una altura de 3,500 metros i el punto mas alto de las capas basales a 3,331 metros. Suponiendo que la formación liparítica en la cadena transversal no tuviera mas que 300 metros de espesor, entónces ya existiría un desnivel de 100 hasta 150 metros entre las lagunas del Huasco i la cima de las capas basales debajo de las lomas transversales. Para la posibilidad de que la pampa del Huasco tenga un desagadero subterráneo hácia la pampa de Chacarilla, existe un indicio en las vertientes de Chara i Alona.

El principio de la quebrada de Alona, en la falda oriental de los Altos de Pica, tiene la forma de un anfiteatro con salida hácia el Oeste. (Véase la fotografía N.º 3 i el cróquis). El semicírculo del anfiteatro está formado por las barrancas casi verticales, de 120 metros de alto; el fondo del anfiteatro está cubierto por los conglomerados inferiores i por las tobas de liparita. Solamente en la salida, hondamente escavada, aparece el zócalo de las capas basales.

Jeolójicamente el anfiteatro forma el ala oriental del anticlinal de Alona. En el anfiteatro desemboca del sur la quebrada de Caya como se ve en la fotografía a mano derecha, i del Norte desemboca la quebrada de Chara, cuyo corte no aparece en la fotografía.

En cada una de las desembocaduras de las dos quebradas se encuentran vertientes, i en el fondo del anfiteatro que está situado entre las dos quebradas aparecen cuatro vertientes. La fotografía en que las vertientes están marcadas por círculos azules, i el cróquis, demuestran con toda claridad que todas las vertientes nacen debajo de la capa de liparita en la parte inferior de las tobas.

La quebrada de Caya está desaguando la gran mayor parte de la pampa de Chacarilla. En el curso central la quebrada lleva siempre agua; el curso inferior, que ha escavado su lecho en la capa de liparita sólo lleva agua en la época de las grandes lluvias de los meses de Diciembre, Enero i Febrero. El agua del curso central es mui poco salada, apénas si se quiere perceptible. En la desembocadura de la quebrada, en el semicírculo de Alona, nace una vertiente que no se seca nunca. (Véase la fotografía N.º 3, círculo azul N.º 1). La producción de la vertiente el 30 de Agosto de 1918 ha sido de 6.3 litros por segundo, medida bien exacta. La temperatura del agua es de 16º. El agua es poco salada, pero mucho mas salada que el agua del curso central. Esta vertiente ha formado una terraza de carbonato de calcio. En la fotografía N.º 3 la terraza está marcada con líneas verticales i con **Ca**. La fotografía N.º 5 demuestra bien esta terraza. Aquí se encuentra una chacra de 33 áreas. La chacra produce 3 cortes de alfalfa al año. Hai que mencionar que la alfalfa tiene un tallo compacto, miéntras que agua con mayor contenido de sal da alfalfa con tallo hueco,

como por ejemplo el agua de El Algarrobal, 30 kilómetros aguas abajo de la misma quebrada de Chacarilla.

400 metros al N. 25° O. de la vertiente de Alona, nace otra vertiente que produce 2.2 litros por segundo (véase la fotografía N.º 3, círculo N.º 2). La temperatura del agua ha sido de 16° centígrados.

1,200 metros mas al norte, en el fondo del anfiteatro, nacen tres vertientes (véase la fotografía N.º 3, círculos Núms. 3, 4 i 5). La temperatura del agua en las tres vertientes es de 19° centígrados. No ha sido posible tomar un aforo exacto de la vertiente N.º 3. Segun un cálculo, produce esta vertiente de 4 a 5 litros por segundo.

200 metros al norte del N.º 3 está la vertiente N.º 4, la produccion es de 10,5 litros por segundo. La vertiente N.º 5 es mui chica, produce mas o ménos medio litro por segundo. Tambien estas tres vertientes han formado una terraza de carbonato de calcio.

En la desembocadura de la quebrada de Chara está naciendo la vertiente mas poderosa. No ha sido posible tomar la temperatura en el punto en donde brota el agua, por la capa gruesa de vegetacion.

Hasta el punto donde he tomado el aforo, corre el agua 600 metros debajo de la vegetacion; la produccion ha sido el 31 de Agosto de 1918, 43,24 litros por segundo i la temperatura del agua de 14° centígrados. (Véase la fotografía N.º 3, círculo N.º 6). Con respecto a la calidad del agua, no hai una diferencia digna de mencionar en las seis vertientes. Como ya se ha mencionado, corresponde a la quebrada de Caya la parte Sur de la pampa de Chacarilla, es decir la parte mas grande de toda la pampa. A las vertientes Núms. 2, 3, 4, i 5, en el fondo del anfiteatro de Alona, corresponde la parte Este o central de la pampa de Chacarilla. La quebrada de Chara está desaguardo la parte Norte de la pampa, que es relativamente pequeña en comparacion con la parte de la quebrada de Caya. En el punto donde se ha tomado el aforo de agua, en la quebrada de Chara, ésta ya habrá recibido subterráneamente la produccion de las vertientes Núms. 4 i 5.

Deduciendo de los 43.24 los 11 litros que producen las vertientes Núms. 4 i 5, quedan siempre 32.24 litros por segundo para la quebrada de Chara, en cantidad cinco veces mayor que la de la vertiente de Caya, Alona. En Agosto, cuando tomé los aforos de las vertientes, estaba la quebrada de Chara seca, es decir que toda esta agua proviene de una corriente subterránea de la parte chica norte de la pampa de Chacarilla. Tomando en consideracion que la altura pequeña de la cadena trasversal de lomas de liparita que separa la pampa de Chacarilla de la del Huasco, es bien probable que la produccion grande de la vertiente de Chara esté orijinada por un afluente subterráneo de la pampa del Huasco. Siempre será la afluencia que recibe esta vertiente de parte de la pampa del Huasco, mui pequeña en comparacion de la produccion grande de las vertientes del Huasco, Batea i Piga.

El grupo de las vertientes de Alona es mui característico para las con-

diciones del agua subterránea en la falda occidental de la cordillera. Las seis vertientes nacen en las capas impermeables debajo de la efusión de liparita i sobre las capas basales. Las capas basales no son apropiadas para las corrientes subterráneas, por el solo hecho de que han perdido la permeabilidad por el plegamiento. Por otra parte, en los horizontes del relleno de los valles infratuciarios, se encuentran entre los horizontes muy permeables de los conglomerados varias capas impermeables intercaladas, encima de las cuales se junta el agua subterránea i corre en la dirección del manto. La efusión de liparita es en trozos limitados bien compacta, pero en capas de extensiones muy permeable. Es un carácter de todas las efusiones volcánicas que se separan en una red de grietas verticales con respecto al plano del enfriamiento. Este sinnúmero de grietas verticales se nota bien en la fotografía N.º 7 que presenta el anticlinal de El Algarrobal en la quebrada de Chacarilla; en la parte superior se ve la efusión de liparita encima de la capa blanca de tobas. Por la cualidad quebradiza de la efusión de liparita, esta roca está muy rajada en los anticlinales. Por esta causa, la capa liparítica es impermeable para agua subterránea sólo en trechos cortos. En jeneral se pierde el agua muy pronto corriendo sobre la liparita. El agua de la quebrada de Caya se pierde poco a poco, donde corre sobre la efusión de liparita. Una capa muy impermeable para agua es la capa de cenizas liparíticas i algunas capas de areniscas de grano fino con cemento de arcilla intercaladas en la parte superior del horizonte inferior del conglomerado. Entre Alona i El Algarrobal, en la quebrada de Chacarilla, todas las vertientes nacen en las capas superiores del horizonte del conglomerado.

#### LAS VERTIENTES DE PIGA, BATEA I DEL HUASCO

Entre los volcanes modernos Piga i Porquesa, en el borde este de la hoja hidrográfica norte, nacen las vertientes grandes de Piga. Las vertientes aparecen en la capa blanca de tobas liparíticas modernas que están depositadas sobre la efusión de liparita. En el oeste de las vertientes, las tobas modernas están cubiertas por un horizonte de conglomerados i por una efusión grande de andesita. El volcán de Porquesa ha producido probablemente esta última.

El punto donde brotan estas vertientes es un valle ancho i bajo, con una hoja hidrográfica chica, limitada por los cerros Piga i Jemelos en el sur, Tres Corrillos, Challacollo en el este i Porquesa en el norte. La fotografía N.º 6 presenta la zona de las vertientes mas importante; en el fondo se ven las barrancas de las tobas liparíticas blancas. Los puntos en donde brota el agua están marcados por círculos; atras del último círculo, en el centro de la fotografía, está la quebrada completamente seca. En la parte delantera de la fotografía se ve el caudal considerable de agua que se ha formado en un trecho de 310 metros por las cuatro principales vertientes. El 16 de Setiembre de 1918, la producción de estas vertientes ha sido de

94.68 litros por segundo. El agua es dulce. La temperatura ha sido en la primera vertiente (fotografía N.º 6 a mano izquierda) de 22.5º centígrados; en la segunda, 22,8º centígrados; en la tercera, 23º centígrados, i en la cuarta, 22.8º centígrados.

1,400 metros aguas abajo nace otra vertiente 400 metros al sur de la quebrada; en los siguientes 1,000 metros observé, en la falda sur del arroyo de Piga, 15 metros sobre el lecho del rio, dos vertientes chicas mas en el horizonte de los conglomerados modernos. El aforo, tomado 2,400 metros aguas abajo de las vertientes principales, dió 204 litros por segundo. Las vertientes principales están situadas en una altura de 4,180 metros. No he reconocido bastante esta zona hácia el este para poder emitir una opinion sobre el carácter de estas aguas termales. Por consiguiente, me faltan las observaciones para averiguar si la hoja hidrográfica subterránea corresponde a la topografía.

Al pié del cerro Batea, 10 kilómetros al oeste-suroeste de las vertientes de Piga, nace una vertiente considerable, que produce 36.5 litros por segundo, aforo tomado el 16 de Setiembre de 1918. La temperatura del agua es de 19,5º centígrados. La vertiente nace en una quebrada que termina repentinamente al pié del cerro. La falda del cerro está formada por una efusion de andesita que se encuentra sobre las tobas modernas. 2,000 metros al suroeste de las casas de Collacagua, se junta el arroyo de Piga con el de Batea, para formar el rio caudaloso de Collacagua. Antes de esta union, recibe el arroyo de Piga del Norte, entre el morro de Collacagua i la loma de Hamachuma, un afluente que baja del cerro Porquesa. En Setiembre de 1918, ha sido el caudal de este afluente, un poco menor que el del arroyo de Piga. Segun observaciones del habitante de las casas de Collacagua, el afluente se seca casi completamente en los meses sin lluvia, miéntras que el arroyo de Piga i de Batea quedan siempre caudalosos. Es natural que tambien estos arroyos aumentan considerablemente su caudal en la época de lluvias. El rio Collacagua corre de norte a sur hácia la laguna del Huasco. Desde el cerro Batea, hasta Manca Collacagua, el valle está formado por las obas liparíticas modernas i por aluviones recientes. En Manca Collacagua toca el rio la falda oriental de los Altos de Pica. Aquí desaparece la efusion de liparita con inclinacion pronunciada al este debajo de los aluviones modernos. En este rumbo pierde el rio Collacagua toda el agua. De Manca Collacagua, hasta el Salar del Huasco, sigue un lecho seco, que lleva solamente agua en los meses lluviosos. El agua del rio Collacagua corre subterráneamente al Salar del Huasco. En la orilla occidental del Salar del Huasco, al pié de la falda oriental de los Altos de Pica, nacen tres vertientes, de las cuales dos son bastante caudalosas. La flexura en la efusion liparítica hácia el este, que se puede observar bien en Manca Collacagua, pasa a ser en la orilla del Salar del Huasco una falla en la cual fué hundido el bloque oriental.

A esta falla están ligadas las tres vertientes. La primera vertiente está situada a 800 metros al sur, donde toca el camino que baja de Collacagua, en la orilla noroeste del Salar. El agua brota 4 metros sobre el nivel del Salar con una temperatura de 15.5° centígrados; el aforo tomado el 17 de Setiembre de 1918, dió 53.31 litros por segundo. 1,000 metros mas al sur está la segunda vertiente en una altura de 12 metros sobre el nivel del Salar; la producción de esta vertiente ha sido muy pequeña. 500 metros al sur del punto donde el camino a Pica se desvía del camino a Huasco Lipez, está la tercera y mas poderosa vertiente en la orilla inmediata del Salar. La temperatura del agua es 15.5° centígrados. El 17 de Setiembre de 1918, el caudal ha sido de 73 litros por segundo.

También en la orilla sur y en la orilla este existe siempre una vertiente que no alcancé a reconocer. Todas estas vertientes producen agua dulce. No obstante de esto, las lagunas del Huasco, en las cuales se juntan todas las cantidades de agua de las vertientes, contienen agua salada.

Las lagunas presentan una palangana en la cual se acumulan los restos de evaporización de todos los caudales de la pampa del Huasco.

Queda pues comprobado que la pampa del Huasco con respecto a la hoya hidrográfica es una zona cerrada sin desagüero de importancia, según la morfología y también la estructura geológica.

Tomando en cuenta los afluentes considerables de las lagunas del Huasco, y en comparación de la producción pequeña de la vertiente de Chara en Alona, el desagüero subterráneo de la pampa del Huasco hacia el sur, puede ser muy limitada y sin importancia.

#### EL PLANO INCLINADO DE LOS ALTOS DE PICA Y LA PAMPA DEL TAMARUGAL

Las capas terrestres fluviales y de erupciones volcánicas, que forman el plano inclinado, han sido suavemente plegadas por el solevantamiento supraterciario de la cordillera. Estas capas forman anticlinales y sinclinales con un rumbo norte 10-20° oeste; y eso en tal forma que la cresta del anticlinal occidental queda siempre en un nivel mas bajo que la del anticlinal oriental vecino. El ángulo de inclinación en las alas es generalmente muy tendido, inclinaciones pronunciadas que están limitadas al borde oriental en un lado, y al borde occidental en el otro, y eso siempre en la vecindad inmediata de las elevaciones en forma de isla de las capas basales.

Las inclinaciones pronunciadas son originadas por falla del rumbo en las capas basales y son una consecuencia de que las capas cobertizas han sido arrastradas en el borde del zócalo basal elevado.

En el capítulo sobre la región de la Alta Cordillera, se ha descrito el borde oriental del plano inclinado. Se ha comprobado que el manto pro-

nunciado en forma de flexura de formacion liparítica, en el borde oriental del macizo de las capas basales del cerro Yarbicolla, pasa mas al sur en la orilla occidental del Salar del Huasco, a una falla en la formacion liparítica.

En la zona superior de la parte central de la pendiente occidental de los Altos de Pica, no se puede reconocer la estructura jeológica porque allá a consecuencia del espesor grande de la efusion de liparita, ninguna quebrada ha sido escavada hasta los conglomerados inferiores.

En el perfil de Alona-Chacarilla, véase el perfil N.º 3, se ve que la formacion liparítica forma cuatro anticlinales suaves i anchos. Este perfil demuestra mui bien que las crestas de los anticlinales, cuando mas hácia el oeste están, tanta menor altura tienen. La forma suave del anticlinal está bien explicada por la fotografia N.º 7 del anticlinal de El Algarrobal en la quebrada de Chacarilla.

#### EL BORDE OCCIDENTAL DEL PLANO INCLINADO

La estructura jeológica del borde occidental del plano inclinado, se puede reconocer bien completa en la quebrada de Quisma, entre Tambillo 22 kilómetros al este de Pica i Matilla. (Véase el perfil N.º 4). La superficie de la parte superior de la falda occidental de los Altos de Pica, está formada por la efusion de liparita. Cuatro kilómetros al este de Tambillo, en la quebrada de Quisma, desaparece la capa liparítica, con inclinacion de 7° al oeste debajo de las areniscas blancas modernas, i a dos kilómetros al este de Tambillo aparecen tambien, debajo de éstas, las areniscas superiores con intercalacion de una capa de tobas blancas, la cual termina en forma de cuña, mas o ménos 10 kilómetros al este del Salto de Chintaguai. Al pié del Salto grande de Quisma, a unos 5 kilómetros al oeste de Tambillo, aparece en el fondo de la quebrada la capa de liparita con suave inclinacion hácia el oeste, para desaparecer mui pronto otra vez debajo de una capa de brechas de liparita i de las capas de las areniscas superiores. Entre 4 i 5 kilómetros al este del Salto de Chintaguai, tienen las areniscas superiores una posicion horizontal; mui pronto quebrada abajo tienen una inclinacion tendida hácia el este. La inclinacion al este aumenta rápidamente progresando al oeste. 2,719 metros al este del Salto de Chintaguai termina el cañon angosto de la quebrada. Aquí afloran areniscas de grano grueso, mas bien arcosas, pertenecientes al horizonte de las areniscas superiores con rumbo norte 19° este e inclinacion de 18° hácia el este. 249 metros mas al oeste, aparece la efusion de liparita con inclinacion de 35° al este i con rumbo norte 22° este. 15 metros mas al oeste, la capa liparítica está cortada por una falla inversa; debajo de la falla inversa aparece en el fondo de la quebrada otra vez la capa liparítica con suave inclinacion al oeste. La grieta de falla inversa está rellenada por una brecha de friccion. Se nota



en la brecha de fricción i en la vecindad inmediata de la falla, impregnaciones de hidróxido de fierro e incrustaciones muy delgadas de carbonato de cal, vestigios que en esta grieta ha circulado algo de agua. La falla inversa está bien visible en la fotografía N.º 8. Esta fotografía está tomada de oeste a este. En el centro de la fotografía aparece en ámbos flancos de la quebrada la capa liparítica, con inclinación pronunciada hacia el este; mas atrás, a mano derecha, se ven las capas de areniscas superiores inclinándose hacia el este; debajo de la falla inversa, marcada por una línea cortada, en el punto en donde está parado un hombre, aparece la capa liparítica en posición casi horizontal, para desaparecer inmediatamente mas al oeste, debajo de las areniscas superiores, las cuales no se ven en la fotografía.

336 metros quebrada abajo están a la vista, en la falda sur de la quebrada, las areniscas superiores con inclinación suave al oeste. La cresta de este anticlinal cortado por la falla inversa, está en una altura de 1,530 metros.

2,470 metros hacia el oeste del anticlinal, está el Salto de Chintaguai. En la parte superior del salto aparece debajo de las areniscas superiores la efusión de liparita con inclinación de 5º hacia el este, para formar el anticlinal asimétrico del Salto. (Véase la fotografía N.º 9). La fotografía está tomada de norte a sur. Se ve a la izquierda el ala oriental del anticlinal con inclinación tendida hacia el este; ya a 300 metros al oeste, las capas tienen una posición horizontal—el centro de la fotografía;—400 metros mas al oeste se nota una inclinación apenas visible hacia el este; 150 metros mas al oeste bajan las capas liparíticas con inclinación de 23 grados al oeste, en forma de flexura, lado derecho de la fotografía. 1,300 metros quebrada abajo desaparecen las capas liparíticas con inclinación suave hacia el oeste debajo de las areniscas superiores. El hundimiento pequeño de las capas en el núcleo del anticlinal, ha sido causado por una falla situada a 200 metros al este de la flexura; por esta falla ha sido botada un poco la parte oriental del anticlinal.

Entre el Salto i Matilla, forman las capas el sinclinal ancho de la planicie de Pica. 100 metros aguas abajo de la bodega de los Chinos, se levantan del fondo de la quebrada, con inclinación de 14 grados hacia el este, las capas liparíticas i en un trecho corto las areniscas superiores. Aquí se puede observar en dos partes los efectos de la erosión que siguió al movimiento tectónico supraterciario. Esta erosión alcanzó a escavar las areniscas superiores i penetró tres metros en la capa de liparita. Las escavaciones de la erosión han sido rellenadas por las areniscas modernas. En el sinclinal, entre la vertiente grande de Chintaguai hasta «La Botijería», pasan las capas de liparita debajo del fondo de la quebrada de Quisma. La fotografía N.º 10, tomada de oeste a este, presenta la parte del sinclinal en la quebrada de Quisma. En el fondo de la fotografía se ve el hundimiento en forma

de flexura hácia el oeste de las capas liparíticas, cuya barranca vertical aparece como una faja oscura en el Salto de Chintaguai. En el centro de la fotografía afloran en el fondo de la quebrada las areniscas superiores, cuyas barrancas verticales claras, forman el cañon angosto en la parte oriental del pueblo «El Valle». Con un declive suave suben las faldas de la quebrada hasta la planicie de Pica. Esta parte superior de las faldas tendidas de la quebrada, está escavada en las areniscas modernas.

#### EL ANTICLINAL DE MATILLA

Entre la bodega de los Chinos i la cocha de «La Botijería», se eleva la capa liparítica con inclinacion de  $14^{\circ}$  al este, hasta 25 metros sobre el fondo de la quebrada. 120 metros al oeste de la cocha está la capa de liparita cortada por una falla inversa. 8 metros mas abajo aflora otra vez la efusion de liparita, en un estado mui empujado i perturbado; sobre la liparita sigue:

- 1.—Una capa de 1.50 metros de areniscas blancas con material de toba liparítica;
- 2.—3 metros areniscas de grano grueso de color café oscuro;
- 3.—5 centímetros areniscas tostadas;
- 4.—10 metros de liparita.

Hácia el oeste, la capa liparítica de abajo se levanta poco a poco i forma, en una distancia de 400 metros, una loma en la cual se encuentra una casita. En la falda oriental, la efusion de liparita está inclinándose con  $19^{\circ}$  hácia el este. La cima de esta loma, de 1,223 metros de altura, está en el mismo nivel que la capa de liparita sobre la falla inversa 400 metros al este. En la falda occidental de la loma de la casita, la efusion de liparita baja con inclinacion pronunciada hácia el oeste, para aceptar en una distancia de 100 metros, una inclinacion suave de  $11^{\circ}$  al oeste. Con esta inclinacion sigue la capa liparítica hácia el oeste, formando el subsuelo del pueblo de Matilla, hasta el márjen oriental de la pampa del Tamarugal, i desaparece debajo de los sedimentos modernos.

La fotografía N.º 10—tomada de oeste a este—presenta la pendiente occidental de liparita en el anticlinal de Matilla. En la parte delantera de la fotografía se ve la cocha de Matilla, donde se encuentra el jinete. La cocha se encuentra en la capa de liparita, atras de la cocha aflora la efusion liparítica i está cubierta por areniscas modernas. Las plantaciones en las areniscas son de las chacras de Matilla; en el fondo de la fotografía, a mano derecha, aparece la loma de liparita con la casita. La cocha está en una altura de 1,180 metros i la cima de la loma en una altura de 1,223 metros. La distancia entre los dos puntos es de 800 metros. La efusion de liparita baja por consiguiente 43 metros hácia el oeste.

Comparando ahora las alturas de la efusion liparítica en los tres anticlinales paralelos consecutivos de este a oeste:

- 1.—Altura de la efusion liparítica en el anticlinal de Quisma: 1,530 metros.
- 2.—Anticlinal del Salto de Chintaguai: 1,505 metros.
- 3.—Anticlinal de Matilla: 1,223 metros,

resulta que la cresta del anticlinal en el oeste, se encuentra siempre en menor altura que la cresta del anticlinal vecino en el este.

#### LA PLANICIE DE PICA

La planicie de Pica forma una faja de seis kilómetros de ancho—este a oeste—i 25 kilómetros de largo, norte a sur.

La planicie está limitada en el este por el anticlinal del Salto de Chintaguai i en el oeste por el anticlinal del cerro Longacho—Matilla—Puquio Núñez. Estos dos anticlinales aparecen tambien morfolómicamente como cordones de lomas; en el norte forma el límite la pendiente sur del cono de las areniscas i conglomerados modernos de La Calera; en el sur la quebrada de Puquio Núñez o la pendiente norte del cono de conglomerados de la quebrada de Chacarilla.

La planicie se inclina un poco de norte a sur, igualmente los cordones o anticlinales limítrofes en el este i oeste disminuyen la altura de norte a sur. Miéntas que éstos en el norte están bien marcados, ellos desaparecen en el sur por completo. En el centro está la planicie interrumpida por el cono de conglomerados i areniscas modernas de la quebrada de Quisma en la falda occidental del anticlinal del Salto de Chintaguai. En la serie de seis fotografías (N.º 2) se ve la planicie de Pica en toda su estension. En la parte delantera de las seis fotografías se presenta bien marcado el cordon de Longacho—Matilla—Puquio Núñez.

El cordon del anticlinal del Salto está apénas visible atras del oásis de Pica. Este cordon está morfolómicamente poco marcado.

La fotografía N.º 11, tomada de este sureste al oeste noroeste, demuestra la parte norte de la planicie de Pica. En la parte delantera de la fotografía sale el eluvio de la efusion liparítica en la pendiente occidental del anticlinal del Salto; en el fondo se ve el cordon de Longacho—Matilla; se distingue bien que el anticlinal de Longacho—Matilla, en el norte sobrepasa en una altura considerable a la planicie de Pica, miéntas que él baja poco a poco hácia el sur, a izquierda en la fotografía, para desaparecer en Matilla, en el lado izquierdo de la fotografía. El sub-suelo de la planicie de Pica está formado casi en toda la estension por las areniscas modernas miéntas que los cordones limítrofes, en el este el anticlinal del Salto de

Chintaguai, en el oeste el anticlinal Longacho—Matilla—Puquio Núñez, se componen de liparita, con la escepcion de la cima del cerro Longacho, la cual está formada por las capas basales.

El cordon del anticlinal del Salto de 8 kilómetros al norte de la quebrada de Quisma, hasta 6 kilómetros al sur de ella está formado por liparita. Hacia el norte el anticlinal está cubierto por las areniscas modernas, i en la quebrada seca por las areniscas superiores. Al sur de la quebrada de Quisma disminuye la altura de la cresta del anticlinal visiblemente i desaparece dos kilómetros al norte de la quebrada de Puquio Núñez, en una altura de 1.300 metros, debajo de las areniscas modernas.

#### EL ANTICLINAL DE LONGACHO—MATILLA—PUQUIO NÚÑEZ

La estructura jeológica del anticlinal de Longacho, ya ha sido descrita en el capítulo sobre los movimientos tectónicos supraterciarios. Sin interrupcion se puede seguir a este anticlinal hasta la quebrada de Quisma, sólo al sur del corte de la quebrada seca, la cual separa el cordon de Longacho del cordon Matilla; la continuacion al sur está algo botada hacia el este por una falla trasversal. La efusion liparítica, en la cresta del anticlinal del Longacho, donde ésta ya cubre sin interrupcion las capas basales, está en una altura de 1,390 metros, mientras que ella está en una altura de 1,223 metros en el lado norte de la quebrada de Quisma. El nivel de la cresta del anticlinal ha bajado 167 metros en una distancia de 12,500 metros de norte a sur. En la quebrada de Quisma, demuestra el anticlinal, el mismo carácter de la estructura que en el cerro Longacho, es decir, inclinacion pronunciada del ala oriental, inclinacion tendida del ala occidental. Compárese el perfil N.º 1 del Longacho i el perfil N.º 4.

Entre la quebrada de Quisma i la quebrada Seca que desemboca en la pampa del Tamarugal, algunos seis kilómetros al sur de «La Botijería» el anticlinal está cubierto por arenas modernas. En la falda norte de la quebrada Seca, que es mui baja, mas o ménos 600 metros al oeste del camino de El Valle a Puquio Núñez, se encuentra eluvio de liparita en pedazos con cantos agudos, es decir que no demuestran señas de haber sido trasportados. Quebrada arriba aparecen pedazos de tobas blancas i despues pedazos de liparita oscura; al lado del camino, en la falda sur, aflora la efusion de liparita i sobre ésta, arenisca con cemento de cal con inclinacion tendida hacia el este. La direccion entre este punto i el cordon de Matilla es de norte 10º oeste, es decir, que ella corresponde al rumbo jeneral del anticlinal. Por consiguiente, el anticlinal queda bien determinado en la quebrada Seca. La altura del anticlinal en la quebrada Seca, es de 1,205 metros.

2,000 metros al sur de la quebrada Seca, aparece una loma baja con rumbo norte a sur, que sigue hasta Puquio Núñez. Esta loma tiene una

longitud de 6 kilómetros. La parte norte está formada por eluvio de liparita clara, mientras que en la parte sur se encuentran en la mayoría rodados de las capas basales. Cuatro kilómetros al norte de Puquio Núñez a esta loma, está antepuesta en el este otra loma algo mas baja, con rumbo norte a sur. Estos dos cordones de lomas están separados por un bajo angosto. En el cordon este se encuentran esclusivamente pedazos eluviales de liparita. En la fotografía N.º 12, tomada desde la loma de Puquio Núñez, de sur a norte, se divisan bien los dos cordones; en la parte delantera de la fotografía está la chacra de Puquio Núñez. Es de suponer que la loma occidental corresponde a la continuacion sur del anticlinal jeneral.

Entre Puquio Núñez i la desembocadura de la quebrada de Puquio Núñez, se levanta una loma bien pronunciada de 5 kilómetros de largo, con rumbo norte a sur. La loma está formada casi exclusivamente por rodados de las capas basales con un diámetro no mayor de 10 centímetros. Se encuentran tambien algunos pedazos de liparita en trozos grandes con diámetro de 30 centímetros, con cantos agudos o poco redondeados.

Se trata de una loma de conglomerado inferior que sobrepasa en forma de isla la efusion de liparita.

Los trozos de liparita que se encuentran en la loma, hacen probable que la cubierta de liparita ha sido destruida por la erosion. La loma de Puquio Núñez no sigue directamente al sur del anticlinal entre la chacra de Puquio Núñez i la quebrada Seca, sino algunos 600 metros mas hácia el este.

Es de suponer que la loma de Puquio Núñez presenta la continuacion i el fin sur del anticlinal que está botado hácia el este por una falla trasversal. La fotografía N.º 13, tomada de norte a sur, demuestra la loma de Puquio Núñez que se hace notar bien por el color oscuro.

#### LOMAS DE LIPARITA EN LA PLANICIE DE PICA

600 metros al este del cordon del Longacho, se encuentra en la planicie una loma de una longitud de 3,000 metros. Esta loma está limitada en el norte por la quebrada Seca i en el sur por las dunas de la chacra de Loreta. Esta loma está formada casi exclusivamente por pedazos de liparita. 400 metros al este del cordon de Matilla, al norte del socavon Santa Cruz, está en la planicie de Pica otra loma baja formada de eluvio de liparita. Esta loma es de 400 metros de largo.

En el márjen este del pueblo de Matilla, se levanta un cordon que está formado por la efusion de liparita. En esta loma está el faro de Matilla. La efusion de liparita tiene aquí una inclinacion mui suave hácia el este. Este cerro forma la cresta del anticlinal Matilla.

300 metros al noreste del faro, principia el socavon de agua potable

de Matilla en areniscas modernas. 50 metros al este de la boca corre el socavon en una brecha de liparita e inmediatamente despues entra con su fondo en la efusion de liparita firme. Este punto está situado en la misma altura que el faro de Matilla, donde la efusion de liparita ya tiene una inclinacion suave hácia el este. Se encuentra aquí, 300 metros al este del anticlinal, la efusion de liparita otra vez en el mismo nivel con inclinacion al este.

En el perfil de la quebrada de Quisma se ha descrito una falla inversa, por la cual la efusion de liparita se encuentra en el mismo nivel que la capa liparítica en la loma de la casita.

La loma de eluvio de liparita, al este del cordon de Longacho, al este del cordon de Matilla, al norte del socavon Santa Cruz, el afloramiento de la capa liparítica en el socavon del agua potable de Matilla, al este del faro, son dislocaciones de la efusion de liparita, causadas por una falla inversa que corre paralela al anticlinal Longacho—Matilla.

#### ORÍJEN JEOLÓGICO DE LA PLANICIE DE PICA

La planicie de Pica está limitada en el este i en el oeste por anticlinales asimétricos. En el anticlinal limítrofe oriental—anticlinal del Salto—demuestra el ala occidental un arrastramiento de las capas en forma de flexura, miéntras que en el anticlinal occidental del Longacho—Matilla—Puquio Núñez, el arrastramiento pronunciado de las capas, se encuentra en el ala oriental. Compárese el perfil del Longacho. Se ha comprobado, en el capítulo sobre los movimientos supraterciarios, que los arrastramientos de las capas cobertizas en forma de flexura, están orijinados por fallas en el zócalo de las capas basales.

Por consiguiente, pasa por debajo del ala occidental del anticlinal del Salto, una falla en las capas basales, por la cual ha sido hundido el bloque en el oeste i levantado el bloque oriental. En el anticlinal del Longacho—Matilla—Puquio Núñez, pasa una falla por debajo del ala oriental, por la cual ha sido hundido el bloque oriental. La planicie de Pica se ha formado pues por una dislocacion en forma de foso. La pequeña falla inversa que corre en el este, paralelamente al anticlinal Longacho—Matilla—Puquio Núñez, es una consecuencia de la compresion que las capas en el bloque hundido en forma de foso han soportado.

Este oríjen jeológico de la planicie de Pica es de suma importancia para las vertientes de aquella zona.

#### LA HOYA HIDROGRÁFICA NORTE DEL PLANO INCLINADO

La composicion jeológica de la parte norte del plano inclinado, difiere algo de la zona central. Esta modificacion de la composicion jeológica, es

causada por la frecuencia de los complejos de las capas basales, que limitan la rejion norte i que sobrepasan en forma de isla las capas cobertizas.

En el horizonte de los conglomerados inferiores, casi todos los mantos de areniscas están reemplazados por conglomerados. Las tobas liparíticas, tambien en la zona del norte, forman un manto mui continuo.

De Sagasca hácia el noreste, es decir hácia la falda occidental del gran complejo limítrofe de las capas basales, de Columtuca, San Félix, Peñascos, Cunupa i Caticuma, desaparece la efusion de liparita, así es que en la rejion de Mamiña i Macaya, ésta ya falta por completo, pero existen allá las tobas liparíticas como un manto bien característico. El gran complejo de Columtuca, San Félix, Peñascos, Cunupa i Caticuma, ha impedido a la corriente grande de lava liparítica, que bajaba del este, cubrir esta parte del plano inclinado, no así las tobas liparíticas, que han sido trasportadas por el aire.

El horizonte de las areniscas superiores se compone en la zona de Sagasca, hasta mas al norte de la quebrada de Noasa, de conglomerados. Los rodados son en la gran mayoría rocas de las capas basales, ademas se encuentran rodados de tobas i de liparita. Tambien el horizonte de los sedimentos modernos, se forma de conglomerados. Si el primero de los horizontes de conglomerados no demuestra una dislocacion tectónica, no se puede distinguir los dos horizontes de conglomerados.

Los caudales que alimentan en la hoya hidrográfica norte a las corrientes subterráneas, bajan de la rejion de precipitaciones atmosféricas considerables de Columtuca i San Félix, i de las vertientes calientes de Macaya i Mamiña.

#### LAS VERTIENTES DE MAMIÑA

En la quebrada de Mamiña aparecen, 500 metros al este del pueblo, debajo de los conglomerados inferiores, las capas basales. Quebrada arriba, las capas basales se elevan rápidamente sobre el fondo de la quebrada, así es que los conglomerados i las tobas liparíticas, forman sólo el borde superior de las faldas de la quebrada. Las capas basales, se forman de brechas porfiríticas i de efusiones de porfirita. Estas capas están fuertemente plegadas. Mas o ménos 2,500 metros al este del pueblo, se encuentra en las capas porfiríticas, una intrusion de diorita que ha orijinado una zona de metamorfismo de contacto en las capas porfiríticas.

El horizonte de los conglomerados inferiores tiene un espesor de 180 metros i está cubierto por las tobas liparíticas. Estas capas cobertizas demuestran una inclinacion suave hácia el oeste. Todas las vertientes nacen en el este del pueblo, en el fondo de la quebrada o en una altura de pocos metros sobre el fondo. La vertiente principal que produce 18.5 litros por segundo, nace en una quebrada corta, 1,200 metros al este del pueblo.

El agua sale de las capas inferiores del horizonte de conglomerados

inferiores. La temperatura del agua es de 54°5 centígrados. El agua está mui cargada de hidrosulfúrico. Al enfriarse pierde el agua pronto el hidrosulfúrico, así es que el agua se hace entónces perfectamente tomable. Ya 400 metros al sur de la vertiente, aflora en la falda sur de la quebrada corta la brecha porfirítica.

Entre la intrusion de diorita i la junta de la quebrada principal con la quebrada corta, de la vertiente principal, nacen en el fondo de la quebrada cuatro vertientes de agua caliente con hidrosulfúrico i veintiseis vertientes mui chicas de agua fria o tibia. Todas estas vertientes nacen directamente de las capas basales o de los sedimentos fluviales recientes.

Casi en el límite entre diorita i porfirita, al pié del cerro de diorita, nace la vertiente de Jamajuga, en el lado sur de la quebrada. 1,000 metros quebrada abajo nacen las tres vertientes calientes de Conco, Guatapa e Ipla. Estas vertientes tienen las temperaturas siguientes:

Conco	43.5 centígrados.....	} con hidrosulfúrico.
Guatapa	47 » .....	
Ipla	36 » .....	

Las tres vertientes nacen en terreno vegetal de la quebrada, pero ya en una distancia de 200 metros afloran en la falda norte, brechas de porfirita.

Las demas veintiseis vertientes producen una cantidad tan insignificante de agua, que no son de interes. En jeneral estas vertientes están alimentadas por agua resumida de las chacras quebrada arriba.

Segun informaciones de los habitantes de Mamiña, la produccion de la vertiente principal es mui constante, al estremo que no se nota desde años aumento o disminucion de la cantidad. Solamente la temperatura del agua ha bajado. Se me ha informado, que ántes de 8 años a esta parte, el agua tenia 56° centígrados. En los últimos años la temperatura ha sido constantemente de 54° centígrados.

El hecho de que esta vertiente no está influida por las épocas de precipitaciones atmosféricas i el cargamento elevado de hidrosulfúrico, comprueban con evidencia que se trata de agua juvenil que está ligada a una falla en el zócalo de las capas basales i talvez a la intrusion de diorita.

La fotografía N.º 14, tomada desde el cerro de diorita de este a oeste, demuestra la quebrada de Mamiña con las chacras que están regadas por las vertientes. Los horizontes jeológicos están indicados; se ve en la parte delantera la intrusion de diorita i mas hácia el fondo, en la parte inferior de las faldas de la quebrada, especialmente en la falda noreste, las capas porfiríticas indicadas por P (porfirita) i B. P. (brecha de porfirita). En la parte central, a mano izquierda, la falda sur de la quebrada está formada hasta el fondo por el horizonte de conglomerado inferior i por las tobas liparíticas que se presentan en una barranca vertical clara. En el fondo,



a mano izquierda, se ve en el plano inclinado la loma de Juan de Morales. Las vertientes están marcadas por círculos.

N.º 1.—Vertiente de Jamajuga.

N.º 2.—Vertiente de Conco.

N.º 3.—Vertiente de Guatapa.

N.º 4.—Vertiente de Ipla.

Círculo V. p. Vertiente principal, la quebrada corta no se ve.

N.º 5.—Vertiente Cipuna.

La producción total de las vertientes de Mamiña, la calculo en 28 hasta 30 litros por segundo. 2 kilómetros al norte de Mamiña se encuentra la quebrada de Cipuna, que se junta 6 kilómetros al suroeste con la quebrada de Mamiña. 3 kilómetros al noreste del pueblo de Mamiña, nace en el horizonte del conglomerado inferior, una vertiente chica de 26 centímetros, de agua dulce; 200 metros quebrada arriba aparecen en la quebrada las capas porfiríticas.

4 kilómetros quebrada abajo, nacen, en el fondo de la quebrada, vertientes de agua algo salada. Es probable que la vertiente de Cipuna depende de las fallas que producen las vertientes de Mamiña, mientras que las vertientes poco saladas están alimentadas por corrientes subterráneas que bajan en la falda de la cordillera.

#### LA VERTIENTE DE MACAYA

10,000 metros al sureste de Mamiña está situado el pueblo de Macaya en la quebrada del mismo nombre. La vertiente, que riega la chacra del pueblo, nace al pie occidental del cerro Peñascos, en una altura de 2,570 metros. Los cerros al este del pueblo están formados por efusiones de porfírita, de margas, pizarras i areniscas; en una distancia de 3,000 metros al este del pueblo, en una altura de 2,765 metros, se encuentra una gran intrusión de aujtdiorita.

Las faldas de la quebrada de Macaya están compuestas del horizonte del conglomerado inferior de 140 metros de espesor; sobre los conglomerados descansa la capa de tobas liparíticas. En el este de Macaya se observa la forma cómo las capas de conglomerados se apoyan a la falda occidental del complejo de las capas basales, el cual sobresale mas o menos 700 metros del plano inclinado.

La vertiente aparece encima de una grieta con rumbo norte 38º este e inclinación de 78º hacia el este, en una efusión de porfírita. El agua tiene una temperatura de 37º centígrados i está cargada con hidrosulfúrico. Esta vertiente produce 2,1 litros por segundo.

500 metros quebrada arriba se encuentra otra vertiente chica en porfírita; el agua sale con 35º centígrados. En todo el trecho entre la vertiente

principal i la vertiente chica, nacen vertientes mui chicas. La produccion de agua en este trecho es de 0,54 litros por segundo.

300 metros quebrada abajo, atraviesa un filon de andesita aujítica a la porfirita; en el andesita nace sobre una grieta una vertiente que produce 0,08 litros por segundo.

600 metros quebrada abajo, en la falda norte, se encuentra un socavon de 5 metros de largo; de una grieta en porfirita vierte aquí agua tibia de 28° centígrados. La grieta tiene un rumbo de norte 30° este e inclinacion mui pronunciada hácia el sureste.

Esta vertiente produce 0,3 litros por segundo. Segun noticias recojidas entre los habitantes de Macaya, la vertiente grande no demuestra cambios por la época del año, parece que el caudal del Macaya se aumenta sólo si la quebrada lleva agua desde los cerros altos.

Deduciendo del contenido en hidrosulfúrico i de estabilidad del caudal, es de suponer que las vertientes de Macaya producen agua juvenil i que están ligadas a grietas en la porfirita.

El total del caudal de las vertientes de Macaya es de 2,8 litros por segundo.

Las chacras de Namiña i de Macaya, producen ante todo alfalfa, ademas cebada i verduras. De frutas solamente duraznos.

#### LAS VERTIENTES DE COLUMTUCSA I PICUNTICSA

En la falda sureste del complejo de Columtuksa, el cerro mas alto que limita el plano inclinado, se encuentran algunas vertientes importantes de agua dulce. La rejion de las vertientes está limitada en el norte por el cerro San Félix, de 4,760 metros de altura, en el noreste i este por el cerro Yarbicolla o Columtuksa, de 5,180 metros i en el sur por los Altos de Sitalca, de 4,430 metros.

La parte este del cerro San Félix i el cerro Yarbicolla, forman la cubierta de capas mesozoicas de una gran intrusion de diorita aujítica, que compone los cerros situados al oeste hasta 3 kilómetros al este de Macaya; la parte inferior de la falda de los Altos de Sitalca está tambien formada por diorita. El macizo de diorita pasa poco a poco de la zona exterior hácia el centro, a diorita cuarcífera de anfíbolita. En esta última se encuentran, en la quebrada de Picunticsa al pié de los Altos de Sitalca, nidos grandes de turmalina acompañada por metales cupríferos.

En la zona de San Félix i cerro Peñascos, el macizo de diorita está atravesado por filones básicos de porfirita, que han causado las vetas de metales de antimonita i plata del distrito minero de Yarbicolla i San Félix.

En la falda sur del cerro Yarbicolla, aparece una efusion de andesita.

El borde superior de la falda sur de la quebrada de Picunticsa, es decir los Altos de Sitalca, está formado por el horizonte de conglomerados infe-

riores, de tobas liparíticas i de la efusion de liparita. Los Altos de Sitalca presentan la parte norte de los Altos de Pica.

Las vertientes importantes i constantes se encuentran en la falda sur del cerro nevado Yarbicolla i en la del cerro San Félix en la quebrada de Columtuca. La fotografía N.º 15, tomada de suroeste a noroeste, muestra las vertientes en el curso superior de la quebrada de Columtuca. En el fondo de la fotografía se ve la falda sur del cerro nevado Yarbicolla; a mano izquierda aparece la falda sur del cerro San Félix; a mano derecha, en el fondo de la fotografía, al pié de la pendiente poco nevada, se eleva la loma de andesita de una altura de 4,630 metros. La grada al pié del cerro Yarbicolla está formada por una gran masa de escombros de porfirita que forma este cerro. En la falda de la grada de escombros aparece el agua, que corre en partes cubierta por los escombros; quebrada abajo se oye muy bien el ruido fuerte de la corriente. Mas o ménos 800 metros mas abajo aparece ya un caudal apreciable en la quebrada (Véase el grupo de círculos N.º 2 en el centro de la fotografía). El agua tiene una temperatura de 3 centígrados. En la parte inferior de la falda del cerro San Félix, aparecen en muchos puntos vertientes chicas (véase los círculos Núms. 3 i 4). Debajo de la loma de andesita, en los escombros, en un trecho de 500 metros de ancho, vierte agua que algunos 200 metros mas abajo forma ya un chorro apreciable. (Véase la fotografía, círculo Núm. 1. Todas estas vertientes se juntan en la quebrada de Columtuca.

5,000 metros quebrada abajo está el establecimiento de Yarbicolla, en el cual se ha usado el caudal de Columtuca para producir la potencia hidráulica.

3,000 metros mas abajo se junta con la quebrada de Columtuca un afluente chico que baja del cerro Peñascos.

5,000 metros hácia el suroeste se junta la quebrada de Columtuca con la quebrada de Picuntica, para formar la quebrada de Sagasca. 500 metros quebrada arriba de la junta tomé el aforo del caudal de Columtuca, que dió 50 litros por segundo. El agua es dulce.

De la parte sur de la falda occidental del cerro Yarbicolla, baja la quebrada de Picuntica. En el curso superior de esta quebrada, surge agua en la parte inferior de las faldas en numerosos puntos. La mayor parte de los manantiales chicos produce continuamente algo de agua; no obstante esto, se seca la quebrada de Picuntica en años secos, ántes de la desembocadura en la quebrada de Columtuca. El 10 de Setiembre de 1918, el caudal de la quebrada de Picuntica ha sido de 30 litros por segundo.

Segun informes recojidos entre los moradores de las cercanías, el caudal de Columtuca merma un poco en años secos, pero siempre corre en la quebrada una cantidad apreciable de agua. El oríjen de estas aguas no es dudable. Todas las vertientes están alimentadas por las precipitaciones atmosféricas considerables en los cerros altos. La cubierta de nieve del

cerro Yarbicolla, garantiza que la producción del agua es continua por todo el año.

El ingeniero Valentin Martínez ha presentado un proyecto de abastecimiento de agua potable para el puerto de Iquique; publicado en 1893, por la Imprenta Cervantes.

El señor Valentin Martínez ha medido el caudal de Columtuca en dos ocasiones distintas e indica un promedio de 35 litros por segundo (véase página 12 de la publicación). La calidad muy buena del agua de Columtuca i Picunticsa, comprueban también los análisis efectuados por el Director del Instituto de Higiene, señor F. Puga Borne, publicados en la página 8 del proyecto del señor Valentin Martínez.

#### VERTIENTE DE PICUNTICSA

Residuo 185 miligramos.

Materia orgánica, 24 miligramos.

Nitratos, no contiene.

El grado hidrotrimétrico es de 8° 244.

#### VERTIENTE DE COLUMTUCA

Residuo, 180 miligramos.

Materia orgánica, 15 miligramos.

Nitrato, no contiene.

El grado hidrotrimétrico es de 6° 166.

En consideración de la calidad excelente de las aguas de Columtuca i de los caudales de estas vertientes, menciono especialmente el proyecto elaborado por el señor Valentin Martínez, del año 1893. Se encuentran en este proyecto presupuestos detallados sobre la captación i conducción del agua. Con una cañería de 15,000 metros se puede conducir a la cañería matriz de Columtuca, en la quebrada de Sagasca, las vertientes de Mamiña, i en tal caso se obtendría o se obtiene en esta zona una cantidad mínima de 60 litros por segundo.

En caso de que se resuelva captar el agua de Columtuca, será una necesidad indispensable medir el caudal de las vertientes mensualmente una o dos veces durante un año. 5 kilómetros quebrada abajo de la junta de Columtuca i Picunticsa, se pierde el agua en el acarreo suelto de la quebrada de Sagasca. Poco más abajo, las capas basales se sumerjen debajo del fondo de la quebrada, así es que toda la serie de las capas, que forman la superficie hasta mayor profundidad, en el corte de la quebrada está compuesta por el horizonte de conglomerados inferior, las tobas liparíticas,

la efusion de liparita, el horizonte de conglomerados superiores. Por consiguiente corre el agua de Columtucsa subterráneamente en el acarreo moderno de la quebrada i entra despues al horizonte de conglomerados inferiores.

#### LA VERTIENTE DE SAGASCA

Una parte del caudal de Columtucsa aparece al pié del ala oriental del anticlinal de Sagasca en forma de una vertiente tibia. La estructura jeológica del punto de la vertiente es mui característica. En el capítulo sobre los movimientos tectónicos supraterciarios, se ha descrito el perfil número 2 del anticlinal de Sagasca. Mas o ménos 2,000 metros quebrada arriba del establecimiento de Sagasca, se sumerjen las capas basales hácia el este debajo del horizonte de conglomerados i desaparecen debajo del fondo de la quebrada. Las capas cobertizas, conglomerado inferior, tobas i efusion liparítica, conglomerados superiores en este punto, se inclinan en forma de una flexura pronunciada hácia el este. Las capas cobertizas tienen un rumbo norte  $10^{\circ}$  oeste e inclinacion de  $36^{\circ}$  este. El ancho de la flexura pronunciada es de 300 metros; al este de la flexura la inclinacion disminuye rápidamente progresando al este. 300 metros al este del punto, donde las capas basales se sumerjen debajo del fondo, la inclinacion es solamente de  $8^{\circ}$  al este i 700 metros todavía mas al este las capas están casi horizontales. Aquí esta serie de capas cobertizas están cortadas por una grieta que mantea casi vertical hácia el este. Mas al este de la quebrada, las capas se inclinan mui suaves al oeste, así es que en el punto de la grieta se encuentra el fondo del sinclinal vecino oriental del anticlinal de Sagasca.

La formacion cobertiza se compone de las capas siguientes de abajo hácia arriba:

1. 60 metros conglomerados
2. 1 metro toba liparítica
3. 25 metros conglomerados
4. 8 metros cenizas blancas
5. 20 metros tobas
6. 30 metros efusion de liparita
7. Conglomerados i areniscas superiores
8. Conglomerados modernos.

200 metros quebrada arriba de la desaparicion de las capas basales, se encuentra en el fondo de la quebrada, la parte superior de la capa N.º 3 i 3 metros sobre el fondo la capa N.º 4.

En la parte inferior de las tobas blancas (capa N.º 4), se ha elaborado un socavon de 20 metros de largo con rumbo hácia el Norte. De este socavon

sale el agua con una temperatura de 26 grados centígrados; el caudal es 1,99 litros por segundo.

20 metros mas al este brota un manantial chico en la parte superior de la capa N.º 4; el caudal es de 0,06 litros por segundo.

El oríjen de estas vertientes está bien determinado por la estructura jeológica. El agua de Columtucsa entra en el curso superior de la quebrada de Sagasca en las capas inferiores del conglomerado inferior i forma en estas capas una corriente subterránea. Por la estructura jeológica se puede comprobar, suponiendo solamente el espesor del horizonte de conglomerado i de liparita en la vecindad del zócalo de las capas basales, que esta corriente debe pasar en parte en una profundidad mayor de 300 metros debajo de la superficie, una profundidad suficiente para elevar la temperatura del agua hasta 26 centígrados. Suponiendo que la temperatura media del año en Sagasca es de 15 grados, entónces en una profundidad de 2 metros existe una temperatura invariable de 15 centígrados. Segun la esperiencia, se aumenta la temperatura de 30 en 30 metros, cada vez un centígrado; por consiguiente están las capas en una profundidad de 300 metros bajo una temperatura de 15 mas 11 igual 26 centígrados.

El anticlinal de las capas cobertizas en las cuales se encuentra el horizonte acuífero i la elevacion del zócalo de las capas basales, represa la corriente subterránea, en el sinclinal vecino oriente; en esta parte asciende el agua por la grieta hasta la capa impermeable de tobas; en la parte inferior de tobas i en la parte superior de conglomerados N.º 3, aparece la vertiente de Sagasca. Debido a la evaporacion grande i a la estension grande horizontal de la corriente subterránea, la vertiente de Sagasca produce sólo 2,05 litros por segundo, una cantidad insignificante en comparacion a los caudales de agua, que se sumerjen en la parte superior de la quebrada. Es indudable que una perforacion en el fondo del sinclinal, que toca la corriente subterránea en las capas inferiores del horizonte de conglomerados inferiores, produciria un caudal mucho mayor que la vertiente de Sagasca.

Las corrientes subterráneas de la hoja hidrográfica norte del plano inclinado están alimentadas:

1. Por las vertientes de Mamiña i Macaya.
2. Por los caudales de la zona de precipitaciones atmosféricas considerables de Peñascos, San Félix, Yarbicolla, i Altos de Sitalca.

#### LA VERTIENTE DE UTUMA EN LA QUEBRADA DE JAPU

En la quebrada de Japu se encuentran dos vertientes calientes muy cargadas por gases hidrosulfúricos.

2,000 metros quebrada abajo se junta la quebrada de Japu con la de Cilpani, para formar la quebrada de Noasa, la cual hasta mas abajo del

pueblo de Parca lleva agua durante todo el año. La quebrada de Japu está desaguando la rejion de los cerros de Cauquima, de 4,850 metros, i de Japu. Toda la zona de la quebrada de Japu está formada por capas mesozóicas, en las cuales se encuentra, al este del pueblo de Noasa, una intrusion de diorita. Entre el cerro Cauquima i Japu, se halla una efusion grande de andesita. En la junta de la quebrada de Japu con la de Cilpani, las capas basales están cubiertas por conglomerados, tobas liparíticas, la efusion oscura i clara de liparita. 40 metros aguas arriba de la primera vertiente caliente, la quebrada es bastante caudalosa. El 15 de Setiembre de 1918, he medido 29 litros por segundo; la temperatura del agua ha sido de 3 centígrados.

La vertiente caliente principal se encuentra a 15 metros sobre el fondo de la quebrada, al lado norte. La vertiente ha formado una terraza estensa cubierta por una capa gruesa de carbonato de cal. La altura es de 3,505 metros. La fotografía N.º 16 muestra la vertiente. En el fondo se nota la capa clara de carbonato de cal; en el centro se ve la abertura grande, con el agua brotando; los puntos claros que se notan en la parte delantera de la fotografía, son burbujas de gases hidrosulfúricos. La temperatura del agua en este pozo es de 35 centígrados. En una zanja el agua corre hácia suroeste, donde se ha escavado un pozo para baños. El agua tiene aquí una temperatura de 33 grados i está mui lechosa por precipitaciones de azufre que se juntan en el borde del pozo. Del baño corre el agua en una zanja de 100 metros de largo a la quebrada. 40 metros mas abajo del baño el agua tiene una temperatura de 31 centígrados i es otra vez clara por haber perdido el hidrosulfúrico. De aquí el agua deja incrustaciones de carbonato de cal en la zanja i en todos los tallos de las plantas. Esta vertiente produce 2,82 litros por segundo.

500 metros aguas abajo, en una terraza, al lado sur de la quebrada, está la segunda vertiente. Tambien esta vertiente brota con 35 centígrados i deja en la zanja primero precipitaciones de azufre i despues incrustaciones de carbonato de cal.

#### LAS VERTIENTES EN LA QUEBRADA DE CHACARILLA

La estructura jeológica de la quebrada de Alona i Chacarilla ya se ha descrito detalladamente en el capítulo sobre la rejion de Alona.

La cantidad apreciable de agua, que produce la zona de Alona i Chara, se pierde por completo en el acarreo moderno de la quebrada mas o ménos 6 kilómetros abajo de las vertientes, o algunos cientos de metros al este de la cuesta de Lipez.

Entre la cuesta de Lipez i la chacra de Chacarilla está la quebrada seca. El trecho de la quebrada desde Chara i Alona, hasta la chacra de

Chacarilla, se denomina quebrada de Alona; desde la chacra hasta la pampa del Tamarugal se llama quebrada de Chacarilla o del Salado. Desde la chacra de Chacarilla para abajo, aparece otra vez algo de agua en el lecho del rio. Quebrada abajo se aumenta poco a poco el agua en la quebrada, ocho kilómetros al oeste de la chacra he medido 10,8 litros por segundo. En este punto se sumerje el zócalo de las capas basales, debajo del fondo de la quebrada. Las capas basales forman el fondo i las partes inferiores de las faldas de la quebrada desde las vertientes de Chara-Alona, hasta 8 kilómetros al oeste de la chacra de Chacarilla, sin interrupcion. 16 kilómetros de la chacra de Chacarilla quebrada abajo, están las chacras abandonadas de El Algarrobal. Tres kilómetros ántes de llegar a las chacras de El Algarrobal, forman las capas cobertizas un anticlinal ancho i suave. La fotografía N.º 7 muestra este anticlinal. En el fondo de la quebrada, donde se encuentra el ala oriental del anticlinal, principia la vejetacion. (Véase la fotografía N.º 7 en el límite de la primera i segunda hoja). De aquí para abajo se aumenta visiblemente el caudal de agua. En la parte de la cresta del anticlinal se encuentra en el fondo, por todo el ancho de la quebrada, un terreno pantanoso. Quebrada abajo de este terreno pantanoso, el caudal es de 55 hasta 60 litros por segundo. En ningun punto se ve brotar el agua.

El agua es bastante salada, mucho mas salada que el agua de las vertientes de Alona i Chara. A causa de la mala calidad del agua, se ha abandonado las chacras de El Algarrobal.

El oríjen del agua es indudable.

El agua corre subterráneamente desde la cuesta de Lipez hasta el ala oriental del anticlinal de El Algarrobal. El anticlinal represa el agua en la parte oriental, así es que alcanza bastante presion para surjir hasta el fondo de la quebrada. Los manantiales del agua están cubiertos por el terreno pantanoso. En la corriente subterránea el agua se ha cargado poco a poco con mayor cantidad de sales. Segun informaciones recojidas entre los moradores de las cercanías, el caudal de agua de El Algarrobal es muy variable: se aumenta despues de las épocas de lluvias en la alta cordillera i se merma despues de las sequías.

#### LAS VERTIENTES DE AGUA DULCE EN LA QUEBRADA DE CHACARILLA

La vertiente mas importante de agua dulce riega la chacra de Chacarilla.

La vertiente brota de la parte superior de la falda norte de la quebrada de Chacarilla, en una altura de 2,315 metros. El fondo de la quebrada está en una altura de 2,125 metros. El zócalo de las capas basales llega hasta 2,270 metros. Sobre el zócalo de las capas basales descansan con suave inclinacion hácia el oeste, las siguientes capas de abajo para arriba:



1. 40 metros de conglomerados.
2. 4 metros de tobas liparíticas.
3. 30 metros de conglomerados.
4. Tobas liparíticas.
5. Efusión de liparita.

El horizonte de conglomerados N.º 3 está muy impregnado de agua. La mayor cantidad de agua sale encima del manto de tobas liparíticas (N.º 2). El agua es dulce i brota con una temperatura de 9,5 centígrados. El 29 de Agosto de 1918 he medido el caudal de la vertiente i ha dado 1,61 litro por segundo. El dueño de la chacra, un veterano del ejército, me ha informado que el caudal merma notablemente desde Julio o Agosto hasta principios de Enero. En los meses de Enero hasta Agosto, la vertiente produce mas que ciento por ciento. Las variaciones de la vertiente corresponden exactamente a la época de lluvia i a la sequía en los Altos de Pica. Una estructura jeológica especial no he podido constatar.

La vertiente está alimentada por las precipitaciones atmosféricas en la parte sur de los Altos de Pica. El agua atraviesa la cubierta de la efusión de liparita i las tobas subyacentes i se acumula en el horizonte de conglomerados. Capa N.º 3, encima del manto de tobas liparíticas (N.º 2).

En la falda sur de la quebrada, entre la chacra de Chacarilla i El Algarrobal, se encuentran tres manantiales de agua, que producen muy poca agua. Los tres manantiales brotan en el conglomerado inferior algunos pocos metros sobre el zócalo de las capas basales. El agua de estas vertientes ha formado una terraza de carbonato de cal i de sal, i por esto ya se ven las vertientes desde lejos. La fotografía N.º 17 muestra estas vertientes. He tomado la fotografía 5 kilómetros quebrada arriba de El Algarrobal, de sureste a noreste. En la parte central a mano izquierda, aparecen en el fondo de la quebrada las capas basales. A mano derecha, en la barranca sur, se ve la serie de las capas cobertizas; en la parte inferior de la serie se divide en el centro de la fotografía, las manchas blancas de las vertientes.

Estas vertientes están alimentadas por las precipitaciones atmosféricas en la falda occidental del complejo de Empexa. El agua se sumerge a través de la efusión de liparita i las tobas i areniscas subyacentes i se acumula en el conglomerado inferior, para correr según el declive de las capas subterráneamente hacia el oeste.

Las vertientes de la quebrada de Chacarilla son muy importantes para explicar los caracteres de las corrientes subterráneas en la falda occidental de la cordillera.

## CONCLUSIONES SOBRE LAS VERTIENTES EN LA QUEBRADA DE CHACARILLA

1. Las vertientes, que están alimentadas por la planicie interandina —pampa de Chacarilla— producen agua salada—vertiente de Alona, Chara, El Algarrobal.

2. Las vertientes, que están alimentadas por las precipitaciones atmosféricas en la parte alta de la falda occidental, producen agua dulce en cantidades limitadas—vertiente de la chacra de Chacarilla.

3. Las corrientes subterráneas están represadas en el ala oriental de los anticlinales i están bajo presiones elevadas.

4. La producción de las vertientes alimentadas por precipitaciones atmosféricas, varia según la época de lluvia i sequía.

5. Las corrientes subterráneas se encuentran debajo de la formación de liparita i sobre el zócalo de las capas basales.

## LAS VERTIENTES DE PICA

En la planicie de Pica se encuentran cinco vertientes naturales, de las cuales tres se encuentran en la parte oriental de la planicie, i dos en el borde occidental. Las tres principales vertientes Las Animas, El Resbaladero, Concova, en la parte oriental de la planicie, producen todas un caudal apreciable con una temperatura de 33° centígrados.

Las vertientes de Santa Cruz i de Comiña, se encuentran entre la loma aislada de liparita i la cresta del anticlinal de Matilla en el borde occidental de la planicie de Pica. El agua brota en Comiña con 26° centígrados.

En la quebrada de Quisma, en la parte oriental de la planicie de Pica, brotan cuatro vertientes naturales:

1 En el núcleo del anticlinal del Salto brota una vertiente muy chica con una temperatura de 28° centígrados. Esta vertiente está acompañada de gases hidrosulfúricos en poca cantidad

2 La vertiente de Calhuai, 1,800 metros quebrada abajo del Salto, produce muy poca agua. Son algunas gotas de agua las que mantienen el subsuelo húmedo

3. Las vertientes grandes de Chintaguai, 3 kilómetros al oeste del Salto. El agua brota con una temperatura de 33° centígrados.

4. La vertiente Miranda, 800 metros al oeste de la vertiente grande. Trataremos primero las tres principales vertientes de Pica i la vertiente grande de Chintaguai. Estas cuatro vertientes tienen los siguientes caracteres comunes:

1. El agua tiene una temperatura de 33 grados.

2. Las cuatro vertientes están situadas en el borde oriental del sinclinal de Pica, o en la parte inferior del anticlinal del Salto.

3. Las cuatro vertientes producen una cantidad apreciable de agua.
4. En las cuatro vertientes se nota un olor mui suave a gases hidrosulfúricos.
5. En las cuatro vertientes no se ha notado desde años una vacilacion del caudal.

Las tres vertientes de Pica están situadas en la parte oriental del pueblo en un bajo en forma de valle suave con rumbo de noreste a sureste. En la falda occidental del anticlinal principia este valle mui pronunciado de repente sin tener ninguna prolongacion hácia arriba. La fotografía N.º 18 muestra mui claro el principio repéntino del valle. Las vertientes están marcadas por círculos.

N.º 1. Concova.

N.º 2. El Resbaladero.

N.º 3. Las Animas.

Las vertientes están tambien indicadas en la fotografía N.º 11.

Las tres vertientes nacen en areniscas gris oscuras modernas.

La vertiente de Concova brota con fuerza i produce un caudal de 8,167 litros por segundo. 600 metros al sur 50º oeste valle abajo brota la vertiente del Resbaladero, la mas grande de Pica.

Esta vertiente produce 37 litros por segundo. 800 metros al sur 50º oeste de El Resbaladero está la vertiente de las Animas. Esta vertiente produce 14 litros por segundo. 600 metros al norte 70º oeste se ha efectuado el socavon de Miraflores de 150 metros de largo con rumbo norte 63º este en las areniscas gris oscuras modernas; en este socavon brota una vertiente en una grieta con rumbo norte 30º oeste. La temperatura es de 33º centígrados. El caudal del socavon es de 8,79 litros por segundo.

Es indudable que estas cuatro vertientes, situadas en lugar mui limitado, tienen el mismo oríjen. La distancia máxima de una a otra vertiente es de 800 metros.

200 metros al este sureste de Concova, la falda occidental del Salto está formada por la efusion liparítica, que se sumerje hácia el oeste, debajo de las arenas modernas.

Por consiguiente, el área de las cuatro vertientes está situada en la zona donde la capa liparítica tiene una inclinacion mui suave hácia el oeste.

#### LA VERTIENTE GRANDE DE CHINTAGUAI

En la quebrada de Quisma, tres kilómetros al oeste del Salto, brotan en un trecho de 360 metros varias vertientes de grietas en la capa liparítica. Este grupo de vertientes se llama la vertiente grande de Chintaguai. El ala occidental, con inclinacion pronunciada al oeste en forma de flexura del

anticlinal del Salto se encuentra a 1,600 metros al este de las vertientes. En este trecho de 1,600 metros, la capa liparítica forma el fondo de la quebrada. Mas abajo se sumerge la capa liparítica poco a poco con inclinación de 4° al oeste debajo del horizonte de las areniscas superiores, mientras que la quebrada mas arriba está estéril. Principia aquí la vegetación en el fondo de la quebrada. En el lado norte del lecho de la quebrada aflora la efusión de liparita hasta una altura de 3 metros de grietas; en esta capa liparítica brota en un trecho de 260 metros agua con 32 grados centígrados.

La fotografía N.º 19, tomada de sur a norte, muestra la capa liparítica con los manantiales de agua. En el fondo de la fotografía se ve la capa escarpada de liparita; en los puntos que se han marcado con círculos se notan partes mas oscuras de la capa liparítica, que no son otra cosa que los manantiales de agua. Es natural que al pié de esta capa escarpada se ha formado una vegetación tupida.—120 metros quebrada abajo brotan tres vertientes fuertes en una línea que cruza la quebrada con un rumbo de norte 60 grados este. La mas poderosa de estas vertientes está situada en el lado sur de esta quebrada. La fotografía N.º 20 muestra esta vertiente, se ve el caudal apreciable de la vertiente. El grupo de la vertiente grande de Chintaguai produce 52,7 litros por segundo. La temperatura de 33° centígrados con que brota el agua en las tres vertientes de Pica, en el socavon de Miraflores i en la vertiente grande de Chintaguai, comprueba que el agua asciende en grietas de la profundidad. Suponiendo para Pica una temperatura media del año de 20 grados centígrados, entónces el agua provendria de una profundidad de 390 hasta 400 metros.

La forma de los manantiales de la vertiente grande de Chintaguai, tan desparramada en la capa liparítica, comprueba con evidencia que el agua asciende en grietas desde la profundidad i está desviada por grietas secundarias en la capa liparítica. Del mismo modo se han formado las tres vertientes i la vertiente del socavon Miraflores en Pica.

No se puede por consiguiente construir una sola línea a la cual están ligadas las vertientes de Miraflores, Concova, El Resbaladero, Las Animas i las vertientes grandes de Chintaguai. Se ha comprobado que todas estas vertientes están situadas en la parte inferior del ala occidental del anticlinal del Salto. La línea recta que forma la junta de la vertiente grande de Chintaguai con El Resbaladero i Miraflores, tiene un rumbo norte 11° oeste, es decir paralela al rumbo de la cresta del anticlinal del Salto.

En el capítulo sobre los movimientos tectónicos supraterciarios, se ha comprobado que la flexura en el ala occidental del anticlinal del Salto, está orijinada por una falla debajo de la flexura en el zócalo de las capas basales. Esta falla ha abierto el camino al agua para ascender de la profundidad hasta la superficie. (Véase el perfil N.º 4).

La vertiente de Concova queda a 600 metros al este de la línea jeneral. La vertiente de las Animas queda a 800 metros al oeste. Las tres vertientes

—Las Animas, El Resbaladero i Concova—forman una línea con un rumbo norte  $50^{\circ}$  este; las fallas trasversales tienen frecuentemente en la zona de Pica un rumbo correspondiente, por ejemplo los tres manantiales de la vertiente grande de Chintaguai, forman una línea norte  $60^{\circ}$  este.

Las vertientes de Las Animas i Concova, están desviadas por una grieta trasversal de la línea jeneral.

Sobre la estabilidad de la produccion de estas vertientes, que no muestran vacilacion en las épocas de lluvias i de sequías del año, en los Altos de Pica, no se puede encontrar una opinion exacta por falta de aforos confidentiales de los años pasados.

En una publicacion de Guillermo E. Billinghurst, sobre la irrigacion de Tarapacá, del año 1893, página 72 a 75, están indicados los caudales de las vertientes i galerías de Pica, pero estos caudales son tan distintos de los aforos tomados en los últimos años i tan contradictorios a las informaciones de los agricultores de Pica, que no se pueden tomar en cuenta. El cura de Pica, señor Luis Friedrich, que se ha ocupado mui detenidamente desde 20 años de las vertientes i socavones de aquella zona; el señor subdelegado de Pica, señor Jara, uno de los mas ancianos i espertos agricultores de Pica; el señor Morales, etc., me han informado, unánimemente, que no han notado nunca una vacilacion sensible de los caudales de las vertientes principales. El 24 de Setiembre he medido el caudal de Concova, 8,16 litros por segundo, i de Miraflores, 8,87 litros por segundo. El señor Jara me ha informado que estos resultados corresponden a los apuntes que él posee sobre estas vertientes desde muchos años atras, es decir todos los dueños de estas vertientes me han afirmado que no notan vacilaciones de los caudales. Por consiguiente, es mui probable i casi seguro que el caudal de las vertientes de Miraflores, Concova, El Resbaladero, Las Animas i vertiente grande de Chintaguai, no está afectado ni por las épocas del año, ni por años lluviosos o secos. Si estas vertientes estaban limitadas por corrientes subterráneas, que se forman por precipitaciones atmosféricas en los Altos de Pica, no habria esplicacion para la estabilidad de los caudales.

Como rejion de oríjen para corrientes subterráneas que bajan a Pica, se puede tomar en consideracion solamente la parte central de los Altos de Pica. La parte norte de la falda occidental de la cordillera hasta la latitud del borde norte del Salar del Huasco, está desaguada por la quebrada honda de Juan de Morales, Sagasca i Tambillo. La parte sur de la falda de la cordillera está desaguada por la quebrada de Alona-Chacarilla. Por la vertiente de la chacra de Chacarilla, la quebrada de Chacarilla recibe un afluente subterráneo del norte. Por consiguiente, la parte sur de los Altos de Pica, contigua a la quebrada de Chara, está desaguada subterráneamente hácia Chacarilla.

Por la estructura jeológica se ha comprobado que la pampa del Huasco no se puede tomar en consideracion como rejion de abastecimiento para

las corrientes subterráneas que bajan de Pica. Si la rejion Pica tenia afluentes subterráneos del Huasco, las corrientes subterráneas tendrian que llevar agua salada.

Pero las vertientes de Pica i Chintaguai tienen una composicion química bastante distinta. Se ha comprobado que las corrientes subterráneas en la falda occidental de la cordillera se encuentran en las capas inferiores de la formacion de cubierta, es decir en las capas entre el zócalo de las capas basales i la formacion liparítica.

En el capítulo sobre la estructura jeológica de la rejion de Pica, se ha descrito que el ala este del anticlinal contiguo al oriente del Salto tiene la forma de flexura hácia el este. Además, el nivel de la cresta de estos anticlinales baja considerablemente hácia el sur, así que la cresta de los anticlinales en la quebrada de Puquio Núñez está cubierta por areniscas superiores en un nivel mas bajo que en el Salto.

Se ha comprobado que las corrientes subterráneas están represadas en el ala oriental de los anticlinales. Por consiguiente, el mayor caudal de la corriente subterránea, está desviado hácia el sur por el ala oriental con inclinacion pronunciada del anticlinal de Quisma, del cual el nivel de la cresta baja considerablemente hácia el sur. Resulta de esta estructura jeológica que la mayor parte del caudal de las corrientes subterráneas que bajan de los Altos de Pica, está desviada hácia el sur i que la menor parte del caudal pasará por los anticlinales a Pica. No se ha podido reconocer la continuacion de los anticlinales al norte de Pica por falta de afloramientos. Seguro es que la planicie de Pica recibe afluentes subterráneos del noreste, pero estos afluentes correrán juntos al ala oriental del anticlinal Longacho-Matilla hácia el sureste. A consecuencia de esta direccion de la corriente subterránea en la planicie de Pica, todas las galerías de agua que principian en el anticlinal de Matilla, tienen un rumbo de sureste a noreste, por ejemplo las galerías de agua potable de Matilla, de Loaiza, de Sauque, de Santa Cruz i San Sebastian.

El afluente subterráneo de noreste no se puede tomar en consideracion para las vertientes principales, pues éstas están situadas en el ala occidental del anticlinal del Salto.

Queda comprobado, que para las vertientes de Miraflores, Concova, El Resbaladero, Las Animas i vertiente grande de Chintaguai, no se pueden tomar en consideracion corrientes subterráneas de importancia. Esto excluye la situacion de las vertientes con relacion a la estructura jeológica. Mientras que todas las vertientes con oríjen comprobado de una corriente subterránea—Sagasca, Chara, Alona, El Algarrobal—que baja de la alta cordillera a la pampa del Tamarugal, están situadas en el ala oriental de los anticlinales con rumbo norte-sur. Las vertientes principales de Pica i de Chintaguai, están ligadas a una flexura con inclinacion pronunciada hácia el oeste, causadas por una falla en el zócalo de las capas basales.

Después de un terremoto sale el agua de las vertientes principales muy turbia. Este hecho indica que las vertientes están ligadas a una grieta en la cual se producen oscilaciones por un terremoto.

*Las vertientes Miraflores, Concova, El Resbaladero, Las Animas, vertiente grande de Chintaguai, producen agua juvenil que asciende en la falla en el zócalo de las capas basales.*

2,300 metros al noroeste de Miraflores está situado el socavon de Loreto, que produce poca agua de 36 grados. Es probable, que esta agua dependa tambien de la línea de las vertientes grandes i que ha sido desviada por una grieta secundaria hácia el oeste.

#### LAS VERTIENTES DEL SALTO DE CHINTAGUAI

Al pié del Salto de Chintaguai, en un manto de areniscas de grano fino, brota una pequeña cantidad de agua con una temperatura de 20 centígrados. La capa acuífera de arenisca se encuentra debajo de un horizonte de 20 metros de conglomerado i 43 metros debajo de la efusion de liparita.

En el Salto mismo tienen las capas una inclinacion de 5 grados al este (véase la fotografía N.º 9 a mano izquierda i perfil N.º 4). Sin duda alguna proviene esta vertiente de una corriente subterránea que está represada en el ala oriental del anticlinal del Salto.

600 metros quebrada abajo del pié del Salto se encuentra una vertiente chica en el fondo de la quebrada. El agua brota con 28 centígrados i arrastra de vez en cuando burbujas de gases hidrosulfúricos que desprenden un olor fuerte. Esta vertiente está en el núcleo del anticlinal, que está cortado por una falla de un botamiento chico. El fondo de la quebrada está relleno por areniscas calcáreas modernas, en las cuales se encuentran frecuentemente tallos de plantas petrificados por calcita. El carbonato de cal es una precipitacion de esta vertiente. Es probable que esta vertiente produce tambien agua juvenil i asciende de abajo en la falla.

#### LA VERTIENTE DE MIRANDA

800 metros al oeste de la vertiente grande se encuentra en la falda norte de la quebrada, 15 metros sobre el fondo, la vertiente de Miranda que produce 2,57 litros por segundo. Las capas de las cuales sale la vertiente, están cubiertas por arenas modernas.

10 metros mas abajo aflora el horizonte de areniscas superiores. Probablemente esta vertiente brota entre las areniscas modernas i las areniscas superiores.

## LAS VERTIENTES DE SANTA CRUZ I COMIÑA

Las dos vertientes están situadas entre el ala oriental del anticlinal de Matilla i la loma de liparita al oeste de la boca de la galería antigua San Sebastian. En el capítulo sobre la estructura jeológica de la planicie de Pica, se ha descrito que la loma de liparita al este de San Sebastián, se ha formado debido a una falla inversa que corre paralela al ala oriental del anticlinal de Matilla. Las dos vertientes están ligadas a esta falla inversa. En la falla asciende el agua de la corriente subterránea que entra de noreste a la planicie de Pica i pasa a lo largo del anticlinal Longacho-Matilla hácia el sur, ascendiendo de las capas inferiores de la formacion de cubierta.

## LAS GALERÍAS DE AGUA DE MATILLA

Las galerías de agua potable de Matilla, de Loayza, de Sauque, de Santa Cruz i de San Sebastian, están ligadas al ala oriental del anticlinal de Matilla. Todos los socavones de estas galerías están elaborados en las capas de las areniscas modernas gris oscuras con cemento de arcilla. Estas capas tienen una inclinacion mui suave hácia el oeste. Las bocas de los socavones se encuentran en la parte superior del ala oriental del anticlinal de Matilla. Los socavones tienen un rumbo de suroeste a noreste, de suerte que uno al otro corre mas o ménos paralelo. Los frentes de los socavones de agua potable de Matilla, las dos ramas de la galería de Loayza i de la galería de Sauque, forman una línea que corre de norte a sur, es decir paralela al anticlinal de Matilla. Los socavones pasan por encima del bloque de liparita solevantado por la falla inversa. El socavon de la galería de agua potable de Matilla, entra con el fondo en un trecho corto en el blòque de liparita. En la zona de la galería de Loayza i Sauque, está la parte superior del bloque de liparita destruido por la erosion post-terciaria.

Los socavones terminan mas o ménos 200 metros al este de la falla inversa.

El socavon de Santa Cruz entra 500 metros mas en la planicie de Pica. Los socavones salen mas o ménos al encuentro de la corriente subterránea, que baja de noreste i que está represada i desviada por el anticlinal Longacha-Matilla en el sinclinal de Pica. A consecuencia de la presion baja en que está la corriente subterránea por la accion de represa del anticlinal de Matilla, asciende el agua de las capas inferiores de la formacion de cubierta hasta una profundidad de 15 a 30 metros debajo de la superficie.

La composicion química del agua de las galerías de Matilla, difiere del agua de las galerías de Pica.



Segun informaciones recojidas entre los dueños de los socavones, el caudal de ellos oscila sensiblemente segun la época del año.

En los meses de Abril hasta Agosto, se aumenta el caudal. En la galería de Loayza sube el caudal en 20 hasta 25%.

#### LA VERTIENTE DE MATILLA

Debajo del pueblo de Matilla, en la quebrada de Quisma, nace una vertiente en la capa liparítica. La capa de liparita aflora en la quebrada formando el fondo de ésta con una inclinacion de 6 grados hácia el oeste.

La efusion de liparita está cubierta por areniscas modernas. En estas areniscas está situado el pueblo de Matilla con algunas chacras. (Véase la fotografía N.º 10). En la capa de liparita nace en un trecho de 120 metros, en la falda este de la quebrada, un manantial de agua.

En la fotografía N.º 21 se ve el manantial mas fuerte. Estas vertientes están orijinadas por el agua consumida por el riego de las chacras mas arriba situadas. Una parte del agua de riego se filtra i se junta en la efusion de liparita compacta, el agua corre segun la inclinacion de la capa de liparita hácia oeste i aparece en forma de vertiente donde la capa de liparita está cortada por la quebrada de Quisma.

#### LAS GALERÍAS DE LA PLANICIE DE PICA

En dos fajas, entre Pica i Matilla, se encuentran las galerías:

1. Faja.—Galería de Jesús María i Puquio Cármen, 1 kilómetro al oeste de Pica.

2. Faja.—Buena Esperanza, San Isidro, Santa Elena.—2,200 metros al oeste de Pica.

Tambien estas cinco galerías tienen un rumbo de sureste a noreste i están elaboradas en las areniscas gris oscuras modernas.

Las galerías de Puquio Cármen principian 1,000 metros al oeste de Pica i pasan con el brazo norte hasta la chacra de Miraflores; con el brazo sur pasan por debajo de las chacras en las inmediaciones de la iglesia de Pica. La galería de Jesús María está situada 1,000 metros mas al sur. El brazo norte pasa hasta cerca de la cocha de Las Animas; el brazo sur pasa directamente al este. Miéntras que el brazo norte produce agua de 24 centígrados, el brazo sur produce agua de 29º centígrados.

La galería de Puquio Cármen i el brazo norte de la galería de Jesús María, captan el agua filtrada del regadío de las chacras de Pica, por la vertiente Miraflores, Concova, El Resbaladero i Las Animas. El brazo sur de Jesús María se acerca a la línea de las termas de Miraflores, El Resba-

ladero i vértiente grande de Chintaguai, i capta agua filtrada de la línea termal en las areniscas modernas. Las galerías de Buena Esperanza, San Isidro i Santa Elena, se encuentran en el centro del sinclinal de la planicie de Pica. Los socavones están elaborados en las areniscas modernas con rumbo sureste a noreste.

Estas galerías captan agua mezclada: una parte es agua filtrada del regadío de las chacras de Pica que baja en las areniscas modernas segun la inclinacion de ellas al oeste i sureste, otra parte del agua de la corriente subterránea que corre de noreste a sureste.

#### LAS GALERÍAS DE PUQUIO NÚÑEZ

Puquio Núñez está situado a 15 kilómetros al sur de la quebrada de Quisma, en la parte sureste de la planicie de Pica, El Valle, Puquio Núñez. El Anticlinal Longacho-Matilla-Puquio Núñez, que limita esta planicie hácia la pampa del Tamarugal, pasa hasta 5 kilómetros al sur de la chacra de Puquio Núñez.

De Puquio Núñez hasta 6 kilómetros al norte forma el anticlinal límite al oeste, dos cordones bajos paralelos con rumbo nor noreste. El cordon oeste un poco mas alto, formado de rodados de las capas basales, corresponde a la cresta del anticlinal, miéntras que el cordon este, formado por eluvio de liparita i separado del primero por una faja angosta, corresponde probablemente al bloque de liparita solevado por la falla inversa. (Véase la fotografía N.º 12).

En un trecho de 5 kilómetros de sur a norte, se encuentran en el cordon este, cinco galerías con rumbo de sureste a noreste.

300 metros al sur de la chacra de Puquio Núñez está el socavon de Hidalgo. (Véase la fotografía N.º 12). La zanja N.º 5 en la parte delantera.

El socavon de la chacra de Puquio Núñez, está marcado en la fotografía N.º 12 con 4,800 metros, al norte está el socavon de Barreda, en la fotografía N.º 3; 500 metros mas al norte sigue la galería de San Lucas en la fotografía marcado con N.º 2 i 1,300 metros mas al norte del último, sigue el socavon de Azorza en la fotografía marcado con N.º 1.

Los socavones de Azorza, San Lucas i Barreda, principian en el bajo i siguen al noreste hácia el cordon de eluvio de liparita. Los socavones están derrumbados pero tienen todavía agua. Los socavones de Puquio Núñez e Hidalgo, principian al este de la prolongacion al sur del cordon de liparita i pasan hácia el este a la planicie. Todos estos socavones captan el agua de una corriente subterránea represada en el ala oriental del anticlinal.

## LAS TRES PERFORACIONES EJECUTADAS EN LA PLANICIE DE PICA

1,000 metros al norte de la chacra de Puquio Núñez, al lado del camino a Pica, i 600 metros al este de la loma de liparita, se ha ejecutado una perforacion a mano. Este pozo abrió en una profundidad de 36 metros una capa acuífera que subió hasta 11 metros debajo de la superficie. 2,600 metros al sur sureste de la vertiente grande de Chintaguai, se ha efectuado otra perforacion a mano, hasta una profundidad de 56 metros. El pozo está situado en el curso superior de la quebrada seca, que desemboca 6 kilómetros al sur de la quebrada de Quisma a la pampa del Tamarugal. En una profundidad de 56 metros se ha encontrado la efusion de liparita; en una distancia de 1,500 metros al este está la cresta del anticlinal del Salto. Tambien en esta perforacion se ha encontrado una capa acuífera; el agua subió hasta 18 metros debajo de la superficie.

En la flexura del anticlinal del Salto, en el fondo de la quebrada de Quisma, 950 metros al oeste del Salto, se ha efectuado una perforacion a máquina hasta una profundidad de 240 metros. Esta perforacion está detalladamente descrita en mi informe sobre el reconocimiento jeológico de los indicios de petróleo en la provincia de Tarapacá. Sociedad Nacional de Minería, 1917. La perforacion ha atravesado cuatro capas acuíferas:

- 1.<sup>a</sup> en 43 m. agua de 19° en areniscas con rodados de liparita.
- 2.<sup>a</sup> en 64 m. agua de 30 a 33° en areniscas arcillosas con pedazos de las capas basales.
- 3.<sup>a</sup> en 160 metros agua de 37° entre liparita i arenisca de grano fino, i
- 4.<sup>a</sup> en 183 metros agua de 37° en arenisca de grano fino (véase el perfil N.º 1 en el informe mencionado).

Desde 183 metros estaba el agua surjiente. La produccion ha sido de 3 a 4 litros por MINUTO. El agua ha sido algo salada i estaba acompañada por gases de hidrosulfúrico.

En Setiembre del año 1917 se tenía que abandonar la perforacion por deficiencia de la máquina. Se tenía que elejir este punto para la perforacion, para evitar la primera efusion de liparita, a causa de que en el año 1917 no se tenía otra máquina mas adecuada disponible. Hasta mediados de Enero de 1918, siguió el agua escurriendo del pozo en poca cantidad.

De Enero, hasta el 15 de Julio de 1918, habia bajado el agua en el pozo hasta 8 metros i mas debajo de la superficie. El 16 de Julio volvió otra vez a escurrir el agua. El caudal tomado en distintas ocasiones ha dado dos litros por MINUTO. El agua sale con 28 centígrados i tiene un efecto purgativo.

En los meses de Febrero hasta Agosto se aumentan los caudales de agua en Matilla. Por consiguiente en este tiempo conservan tambien las

corrientes subterráneas con mayor fuerza i rapidez i especialmente rápida corre el agua subterránea en las alas occidentales de los anticlinales i con tanta mayor rapidez cuanto mayor inclinacion tienen las capas. La perforacion está situada en un punto con inclinacion pronunciada de las capas. A consecuencia de estas condiciones, la corriente subterránea ha ejercido en los meses de Enero, hasta el 16 de Julio, es decir en los meses de aumento de los caudales subterráneos, una accion chupante al agua en el pozo de la perforacion. En los meses de Agosto hasta Enero, es decir en los meses de merma de los caudales, la corriente subterránea pierde la accion chupante i por consiguiente vuelve a escurrir el agua.

Este hecho comprueba con evidencia, que será una necesidad indispensable evitar por completo en perforaciones de cata para agua subterránea, los anticlinales i especialmente las alas occidentales de los anticlinales de la rejion de Pica. Los mejores puntos para las perforaciones serán los centros de los sinclinales i los puntos al pie del ala oriental de los anticlinales, donde las corrientes subterráneas se encuentran represadas i bajo presion aumentada

#### VESTIJIOS DEL AGUA EN TIEMPOS ANTERIORES

Al lado oriental del anticlinal del Longacho pasa el lecho de la quebrada seca 300 metros ántes de que esta quebrada se doble al sur para pasar a lo largo de la falda este, he encontrado en el lado norte de la quebrada algunas pilas chicas de escorias negras. En varios pedazos de la escoria se distinguen impresiones de plantas, por ejemplo de cañas. Se encuentran ademas estos montones de escorias a lo largo de la falda este de anticlinal de Matilla i entre El Valle i Puquio Núñez a lo largo del anticlinal Matilla-Puquio Núñez, especialmente en la desembocadura de la quebrada seca a la pampa, 6 kilómetros al sur de El Valle. En la ribera este de la quebrada seca de Longacho, en el bajo al lado este del cerro Longacho, se hallan en un trecho de 3 kilómetros de largo, muchas incrustaciones de carbonato de cal i calcedona de tallos de plantas.

En el lado este del anticlinal de Puquio Núñez he encontrado estas incrustaciones con frecuencia especial. La fotografía N.º 22 muestra estas incrustaciones de plantas en la planicie al lado oriental del anticlinal de Puquio Núñez.

Seis kilómetros al oeste del cerro Longacho se encuentra un anticlinal bajo, formado por la efusion de liparita. Este anticlinal se sumerje hácia el sur debajo de las arenas modernas de la pampa.

A lo largo de la falda oriental del anticlinal se encuentran en una línea paralela al rumbo del anticlinal, restos de árboles. Nada de esto se encuentra al pié de la falda occidental del cerro Longacho. Todo esto comprueba

que tiempos anteriores i no mui remotos, existia en esta zona vejetacion i por consiguiente agua a mui poca profundidad.

Los indicios de existencia de agua en el subsuelo, a poca profundidad, están ligados a las alas orientales de los anticlinales. Esta es una comprobacion mas para la accion de represa de los anticlinales en la falda este sobre el agua subterránea.

#### RESTOS DE AGUA ESTANCADA DE AVENIDAS RECIENTES DE AGUA

Entre el Salto i Tambillo, en la quebrada de Quisma, en el sinclinal contiguo al este del anticlinal, 3 kilómetros al este del Salto, he encontrado en el fondo de la quebrada, muchas partes con humedad. En un trecho de 2,000 metros he hecho 10 pozos de 0,70 metros hasta 1,20 metros de profundidad. En todos estos pozos he encontrado agua dulce de una temperatura de 10 hasta 21 centígrados. El agua se encuentra especialmente en arena suelta que rellena el fondo de la quebrada. En partes se sumerje el agua encima de las grietas en el horizonte de areniscas superiores, para brotar en un punto quebrada abajo de una grieta con una temperatura un poco elevada.

Habia pensado indicar un punto para una perforacion a profundidad, para captar una corriente subterránea artesiana en el sinclinal contiguo al anticlinal, con inclinacion pronunciada al este. El anticlinal está 3,000 metros al este del Salto.

Por este motivo, mandé hacer un pozo de dos metros cuadrados, hasta tocar el horizonte de areniscas superiores.

En este pozo se junta agua en una profundidad de 0,65 metro. En 0,90 metro se habia atravesado la capa de arena suelta i se tocó el horizonte de areniscas superiores. El agua tenia una temperatura de 19 centígrados. Despues de haber entrado 0,25 metro en las areniscas superiores, se podia constatar que el agua sale de una grieta con una temperatura de 20,5 centígrados. La fotografía N.º 23 muestra este pozo. Se ve la capa de arena suelta i debajo aparece el horizonte de areniscas superiores, el soldado ha puesto el pié encima de la capa de areniscas superiores. En los primeros cinco dias producía el pozo 1,3 litro por MINUTO. Mas tarde se ha profundizado el pozo hasta dos metros, i se podia comprobar que las areniscas superiores estaban abajo completamente secas i que el agua se filtra sólo de arriba. Poco a poco se ha secado el pozo. Por consiguiente, presentaba el agua sólo un pequeño resto estancado en las arenas sueltas de la última avenida que pasó en Enero de 1918. El pozo se ha hecho a fines de Setiembre de 1918.

## EL CAUDAL DE LAS CORRIENTES SUBTERRÁNEAS EN LA FALDA OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA

En la parte central de la falda occidental se ha encontrado varias vertientes de corrientes subterráneas. La vertiente de Sagasca es una vertiente de una corriente subterránea, la cual tiene una hoya hidrográfica estensa, con precipitaciones atmosféricas considerables. Sin embargo, el caudal de la vertiente es solo 2,03 litros por segundo. La vertiente de Chacarilla produce 1,61 litro por segundo. Las demas vertientes de la quebrada de Chacarilla no se pueden tomar en consideracion, pues ellas están en relacion con una hoya hidrográfica en la alta cordillera.

En la parte baja de la falda, especialmente de la planicie de Pica al sur de la quebrada de Quisma hasta Puquio Núñez, las corrientes subterráneas no corren tan desparramadas como en la parte alta, pues en la parte baja se han juntado varias corrientes las cuales están divididas en la parte alta. Las galerías de Matilla están alimentadas por una corriente subterránea represada, bien abierta por grietas.

El caudal mas grande de la galería mas larga es de 9 litros por segundo. En una galería se puede captar esta cantidad solo desparramada por varias grietas, miéntras que por una perforacion a profundidad se puede captar el agua subterránea en la capa acuífera orijinal, por consiguiente se obtendrá el agua en un punto en cantidad acumulada bajo mayor presion.

Tomando en consideracion estos hechos jeológicos e hidrográficos, resalta a la vista que no se puede contar con mayor caudal que 10 litros por segundo para cada perforacion a profundidad.

### CONCLUSIONES

1. Rejiones de precipitaciones considerables, que pueden abastecer corrientes subterráneas de importancia, se encuentran en la alta cordillera i en la parte alta de la falda occidental de la misma:

a) La rejion andina de Piga, Collacagua, Salar del Huasco, que no tendrá escurrimiento subterráneo hácia la rejion de Pica.

b) La rejion andina de la pampa de Chacarilla.

c) El complejo de Yarbicolla, San Félix, Peñascos, Cunupa i Caticuma, con la parte norte de los Altos de Pica, forma una hoya hidrográfica desaguada por las quebradas de Tambillo, Sagasca, Juan de Morales. La hoya hidrográfica subterránea estará desaguada entre Rambillo i el cerro Longacho.

d) El complejo de Empexa i la parte sur de los Altos de Pica, forma una hoya hidrográfica junto con la rejion andina de la pampa de Chacarilla. Ambas están desaguadas por la quebrada de Chacarilla.

e) La parte central de los Altos de Pica forma una hoya hidrográfica

i está desaguada por las quebradas Seca i de Quisma. Una parte de las corrientes subterráneas se juntan al sur de Puquio Núñez en el borde de la pampa con las corrientes subterráneas de Chacarilla.

2. Las corrientes subterráneas se encuentran en toda la rejion en el horizonte de conglomerados inferiores, entre la formacion liparítica i el zócalo de las capas basales.

3. El agua subterránea está acumulada i bajo presion elevada en el ala oriental de los anticlinales.

4. Vertientes de agua subterránea están ligadas a las alas orientales de los anticlinales.

5. Vertientes de corrientes subterráneas (aguas vadasas) en la falda de la cordillera, que son las siguientes:

Columtuca,

Picunticsa,

Sagasca,

Vertiente del Salto,

Santa Cruz,

Comiña,

Vertiente de Matilla,

Chara — Agua algo salada,

Alona —

Vertiente de la chacra de Chacarilla

Manantiales chicos en la quebrada de Chacarilla entre la chacra de Chacarilla i El Algarrobal.

El Algarrobal—agua salada.

6. Las galerías de Matilla, de Puquio Núñez, producen agua de corrientes subterráneas que bajan de los altos.

7. Las galerías al oeste de Pica producen aguas subterráneas que provienen de las vertientes principales.

8. Las vertientes principales de Pica son termas que producen casi esclusivamente agua juvenil.

9. La vertiente grande de Chintaguai produce agua juvenil con una mezcla pequeña de agua vadosa.

10. Las vertientes de Mamiña, Macaya i Utuma, son termas de agua juvenil.

11. En la parte occidental de la planicie de Pica, desde el cerro Longacho hasta Puquio Núñez, existen corrientes subterráneas con cantidades acumuladas de agua i bajo presion elevada.

12. La captacion del agua subterránea por galerías es anti-económica.

13. Perforaciones a profundidad captarán las corrientes subterráneas en la capa acuífera orijinal.

14. No se puede contar con mayor caudal que 10 litros por segundo para cada perforacion.

15. Para el abastecimiento de agua potable para Iquique, se tendrá que efectuar cuatro hasta cinco perforaciones a profundidad.

16. El abastecimiento de agua potable para Iquique, se puede tambien obtener por conduccion de vertientes naturales, situadas en la falda occidental, que están hoi dia casi sin uso.

#### PROYECTO SOBRE EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA IQUIQUE, COLUMTUCSA I PICUNTICSA

El proyecto sobre la conduccion de las vertientes de Columtuksa i Picunticsa i la posibilidad de aumentar el caudal en la misma zona, ya lo he esplicado detalladamente en el capítulo sobre Columtuksa. Tengo que mencionar que la calidad del agua de Columtuksa es mucho mejor que el agua de las vertientes de Pica i que la calidad del agua de las corrientes subterráneas. Columtuksa i Sagasca dan un caudal mínimo de 37 litros por segundo en la época mas seca del año. Siempre será una necesidad indispensable ántes de decidir este proyecto, de medir durante un año mensualmente una o dos veces los caudales de Columtuksa. Existe una dificultad grave que se opone a la ejecucion del proyecto de Columtuksa, que consiste en el hecho siguiente: la cañería matriz del agua potable ya está construida desde Pozo Almonte hasta El Valle.

El trecho desde La Tirana hasta El Valle, se tendria que cambiar para el proyecto de Columtuksa, directamente de La Tirana a Sagasca. Las dos distancias son iguales, es decir se tendria que cambiar la construccion de un trecho de 40 kilómetros. De Columtuksa a Sagasca, hai una distancia de 35 kilómetros por la misma quebrada; se puede conducir el agua de Columtuksa a Sagasca por medio de cañería de loza con un escurrimiento libre o por medio de cañería de madera.

#### PROYECTO SOBRE LA CONDUCCION DE LAS VERTIENTES DE CHARA I ALONA A CHINTAGUAI

En el capítulo sobre las vertientes de Chara i Alona, se ha demostrado que las aguas de esta zona no son aplicables para agua potable, pero se sabe por esperiencia que el regadío con la vertiente de Alona produce alfalfa tan buena como con el regadío de agua dulce. Se trataria ahora de experimentar si el regadío con agua de Alona i Chara no tuviera una accion mala en las plantaciones de las chacras de El Valle, Botijería i Matilla. Es probable que las vertientes de Chara i Alona darán el mismo resultado que la vertiente grande de Chintaguai.

El caudal de la zona de Chara i Alona ha sido de 70 litros por segundo, es decir 18 litros por segundo mas que la vertiente de Chintaguai. Supo-



niendo que el caudal de Chara i Alona mermara un poco, siempre el caudal equivaldria a la produccion de la vertiente grande de Chintaguai. Las vertientes de Alona i Chara forman la quebrada de Alona. Esta quebrada ha escavado en la formacion de las rocas basales un corte mui profundo i angosto, de suerte que se podria fácilmente estancar el agua por medio de una represa en la época de lluvias, para compensar la merma del caudal en la época de sequía. Queda, pues, comprobado que se podria conducir de Alona i Chara a Chintaguai, un caudal a lo ménos equivalente i probablemente de 10 a 15 litros por segundo, mayor que el de la vertiente grande de Chintaguai.

Por consiguiente, se podria aplicar la vertiente grande de Chintaguai para el abastecimiento de agua potable para Iquique i reemplazarla por el agua de Alona i Chara para regadío de los pueblos de El Valle, Botijería i Matilla. En tal caso se puede efectuar la conduccion del agua de Chara i Alona por medio de una zanja cementada. Para la construccion de la zanja, se puede arar la terraza grande de carbonato de cal que han formado las vertientes. La zanja empezaria en una altura de 3,200 metros i seguiria en la quebrada de Alona hasta 4 kilómetros mas abajo de la chacra de Chacarilla; allá se faldearia hasta la falda de la cordillera que tiene una altura de 2,360 metros. De este punto se llevaria la zanja en línea recta con rumbo noreste a Chintaguai. Hai que pasar primero la quebrada de Infiernillo, una quebrada angosta i profunda i despues la quebrada de Puquio Núñez, la última de las cuales no presentará dificultades. El corte de la quebrada de Infiernillo es de una profundidad de 190 metros. El largo de la zanja será entre 45 i 50 kilómetros. En todo caso saldrá la conduccion del agua de Alona i Chara a Chintaguai, mucho mas barata que la espropiacion de la vertiente grande de Chintaguai.

#### PUNTOS APROPIADOS PARA PERFORACIONES A PROFUNDIDAD

##### EN LA PLANICIE DE PICA

La eleccion de los puntos para las perforaciones a profundidad, está dificultada por las exigencias que hacen las obras técnicas de la construccion de la cañería para la altura del punto de perforacion. La altura que debe tener el punto de la perforacion es de 1,280 metros. Esta exigencia hace una dificultad bastante seria para la eleccion del punto de la perforacion. He comprobado que la zona apropiada para perforaciones a profundidad forma una faja que está ligada al ala oriental de los anticlinales, es decir en la planicie de Pica la faja que acompaña en el este el anticlinal Longacho-Matilla-Puquio Núñez. La exigencia de la ubicacion del punto de perforacion en una altura mínima de 1,280 metros, no se puede cumplir en nin-

guna parte de la zona predestinada para perforaciones a profundidad con la única excepcion de la parte al pié oriental del cerro Longacho.

Pero esta parte pone dificultades invencibles para la ubicacion del punto con respecto a la estructura jeológica. No se puede determinar con exactitud en qué forma baja el zócalo de las rocas basales debajo de la formacion de cubierta. Puede ser que el zócalo mantenga hasta cierto distancia hácia el este un nivel alto, lo que ejerceria que la corriente subterránea está desviada en mayor distancia al este hácia sureste, de suerte que en tal caso la perforacion tocara a poca profundidad el zócalo de las capas basales i quedaria seca. La parte mas apropiada seria la faja contigua al este del anticlinal de Puquio Núñez. Un punto 2,000 metros al este de la galería de Azorza ofrece muchas probabilidades para un éxito i comodidades para la ejecucion de la perforacion, pero la altura del punto es solo de 1,200 metros.

La necesidad indispensable de una altura de 1,280 metros obliga a fijar el punto en la parte oriental del sinclinal.

Las bases jeológicas para fijar un punto en la parte oriental del sinclinal de Pica, son las siguientes: Se ha comprobado que las vertientes principales de Chintaguai, El Resbaladero, Miraflores, están ligadas a una línea con rumbo norte 11 grados oeste, o a una falla de este rumbo en el zócalo de las rocas basales. Encima de la grieta de las fallas, nacen vertientes subterráneas. La ubicacion exacta de la falla no se puede determinar porque ella está en toda la estension cubierta por la formacion cobertiza de conglomerados i de liparita. La vertiente subterránea que nace en la falla entre las capas de la formacion cobertiza, el agua corre en estas capas segun la inclinacion hácia el oeste. Una perforacion que está ubicada algunos cientos de metros al oeste de la línea, encontrará la corriente subterránea que se desprende de la falla. Un punto segun estas bases jeológicas está fijado en la quebrada seca 1,500 metros al sur 80 grados oeste del pozo de la perforacion a mano. De este punto se puede todavía alejarse 800 metros al sur 10 grados este. El punto está situado en una altura de 1,300 metros. El punto está marcado en el terreno por una pirámide de caña. El punto está a 3,400 metros al sur de la quebrada de Quisma. Otro punto fijado segun las mismas consideraciones jeológicas en la zona norte de la planicie de Pica, está situado 1,000 metros al norte 16 grados este de la chacra de Loreto. El punto está en una altura de 1,390 metros. Este último punto ofrece la comodidad para el trabajo, que el agua para la máquina queda en una distancia de 1,000 metros.

Segun las condiciones jeológicas se debe encontrar agua en ámbas perforaciones. Los dos puntos están en mayor altura que la cresta del anticlinal de Matilla-Puquio Núñez. Por esto será posible que el agua no saldrá con mucha presion.

El tercer punto es fijado a 680 metros al este del anticlinal, con incli-

nacion pronunciada del ala oriental. Este anticlinal está 3 kilómetros al este del Salto en la quebrada de Quisma. El punto está situado en una altura de 1,490 metros. Se me ha comunicado que el pozo que estaba hecho en el fondo de la quebrada se ha secado. Por consiguiente queda el agua necesaria para la maquinaria, en una distancia de 3,800 metros con una subida de 50 metros.

#### CONCLUSIONES

1. La existencia de corrientes subterráneas en el horizonte de conglomerados inferiores en la zona de Pica-Puquio Núñez está comprobada.

2. Perforaciones a profundidad captarán el agua subterránea en cantidades apreciables.

3. 40 hasta 50 litros por segundo se obtendrán por medio de 3 o 4 perforaciones a profundidad.

4. El abastecimiento de agua potable para Iquique por corriente subterránea captadas por perforaciones a profundidad, da la ventaja segura de poder aumentar el caudal de agua por otras perforaciones en la misma zona.

5. El reconocimiento de las corrientes subterráneas por perforaciones será un factor importantísimo para el progreso de la agricultura e industrias en la provincia de Tarapacá.

6. El abastecimiento de agua dulce para las oficinas salitreras abaratará notablemente la estraccion del salitre.

7. En consideracion de la trascendental importancia de aprovisionamiento de agua dulce para la pampa salitrera i los centros industriales, estimo del mas alto interes que el Gobierno procure, por todos los medios a su alcance, hacer reconocer debidamente, no solamente las vertientes i caudales de la alta cordillera con respecto a la posible conduccion del agua hácia la pampa, sino tambien las corrientes subterráneas por medio de perforaciones que reportarian múltiples beneficios no solamente al Fisco, sino tambien al incremento de los fondos fiscales de la Nacion.

DR. J. FELSCH.



machos prouezidos del ala oriental. Este antitidal está 3 kilómetros al este del Salto en la quebrada de Quina. El punto está situado en una altura de 1400 metros. Se me ha comunicado que el pozo que estaba hecho en el fondo de la quebrada se ha secado. Por consiguiente queda el agua necesaria para la maquinaria, en una distancia de 3200 metros con una cunida de 50 metros.

CONCLUSIONES

- 1. La existencia de corrientes subterráneas en el horizonte de conglomera- dos inferiores en la zona de Pica-Puñó Núñez está comprobada.
- 2. Perforaciones a profundidad captarán el agua subterránea en can- tidades apreciables.
- 3. Cada 40 hasta 50 litros por segundo se obtendrán por medio de 2 o 4 perforaciones a profundidades de 100 a 200 metros.
- 4. El abastecimiento de agua potable para Iquique por corrientes subterráneas captadas por perforaciones a profundidad, de la ventaja segura de poder aumentar el caudal de agua por otras perforaciones en la misma zona.
- 5. El reconocimiento de las corrientes subterráneas por perforaciones será un factor importantísimo para el progreso de la agricultura e industrias en la provincia de Tarapacá.
- 6. El abastecimiento de agua dulce para las oficinas salitreras abaratará notablemente la extracción del salitre.
- 7. En consideración de la trascendental importancia de aprovisionar tanto de agua dulce para la panpa salitrera i los centros industriales, estimos del más alto interés que el Gobierno procure por todos los medios a su alcance, hacer reconocer debidamente, no solamente las vertientes i caudales de la alta cordillera con respecto a la posible conducción del agua hacia la panpa, sino también las corrientes subterráneas por medio de perforaciones que reportarían múltiples beneficios no solamente al Fisco, sino también al incremento de los fondos fiscales de la Nación.

Dr. J. Pérez

BIBLIOTECA NACIONAL  
SECCION CHILENA

