

Geología y recursos minerales del departamento de Arica

Provincia de Tarapacá

*Raúl Salas O., René F. Kast,
Francisco Montecinos P. e Iván Salas Y.*

Instituto de Investigaciones Geológicas
Chile

en colaboración con la Junta de Adelanto de Arica

Boletín N.º 21

1966

3-2);2

3

GEOLOGIA Y YACIMIENTOS METALIFEROS DE CHILE

Carlos Ruiz Fuller con la colaboración principal de L. Aguirre, J. Corvalán, C. Klohn, E. Klohn y B. Levi, 1965. 385 pp., 36 ilustraciones, 1 mapa metalogénico en colores a escala 1:1.500.000, 1 cuadro, 1 tabla. E° 50,00.

MAPA GEOLOGICO DE CHILE

1960. Escala 1:1.000.000. Siete hojas en colores. E° 20,00.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
(Hojas cuadrangulares)

- Vol. I, N° 1. Cuadrángulo Los Loros, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, 1959, 36 (Carta N° 1) pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. I, N° 2. Cuadrángulo Cerrillos, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom y R. L. (Carta N° 2) Parker, 1959. 36 pp., 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 1. Cuadrángulo Quebrada Paipote, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, (Carta N° 3) 1960. 35 pp., 1 gráfico, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 2. Cuadrángulo Llampos, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, 1960, 41 (Carta N° 4) pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 3. Cuadrángulo Chamonate, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, Beatriz (Carta N° 5) L. de Valenzuela y Sonia Mehech, 1960. 42 pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. III, N° 1. Cuadrángulo Copiapó, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom y Carlos (Carta N° 6) Ruiz Fuller, 1962. 115 pp., 11 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 4,00.
- Vol. III, N.os 2, 3, 4 y 5. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, Prov. de Tara- (Cartas N.os 7-10) pacá. Carlos Galli Olivier y Robert J. Dingman, 1962. 125 pp., 11 tablas, 12 figuras, 11 láminas y 4 mapas a escala 1:50.000. E° 6,00.
- Carta N° 11. (Desde esta publicación los cuadrángulos tienen numeración simple). Cuadrángulo Tulor, Prov. de Antofagasta. Robert J. Dingman. 1963. 37 pp., 6 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000, 1 tabla E° 3,00.
- Carta N° 12. Cuadrángulo Pintadas, Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom, Herbert Thomas y R. I. Tilling. 1963. 52 pp., 1 mapa a escala 1:50.000. E° 3,00.
- Carta N° 13. Cuadrángulo Chañarillo, Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom y Aldo Moraga Brito, 1964. 50 pp., 1 gráfico, 2 tablas y 1 mapa a escala 1:50.000. E° 3,00.
- Carta N° 14. Cuadrángulo San Pedro de Atacama, Prov. de Antofagasta. Robert J. Dingman, 1965. 28 pp., 5 ilust., 3 tablas, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 3,00.
- Carta N° 15. Cuadrángulo Quebrada Marquesa, Prov. de Coquimbo. Luis Aguirre Le- Bert y Ernesto Egert Ruiz, 1966. 92 pp., 11 ilustraciones, 5 tablas, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 9,00.

BOLETINES

- N° 1. El agua subterránea de Santiago, Informe Preliminar. Robert J. Dingman y Lorenzo Barraza, 1958. 13 pp., 2 tablas, 1 plano. E° 0,50.
- *N° 2. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. Herbert Thomas, 1958. 86 pp., 1 cuadro, 2 mapas. E° 2,00.
- *N° 3. El Titoniano del Río Leñas, Prov. de O'Higgins. Con una revisión del Titoniano y Neocomiano de la parte chilena del Geosinclinal Andino. José Corvalán Díaz, 1959. 65 pp., 8 grabados y 7 láminas. E° 1,65.

*Publicación agotada.

(Pasa a las páginas finales).

Geología y recursos minerales del departamento de Arica

Provincia de Tarapacá

*Raúl Salas O., René F. Kast,
Francisco Montecinos P. e Iván Salas Y.*

Instituto de Investigaciones Geológicas
Chile

en colaboración con la Junta de Adelanto de Arica

BIBLIOTECA NACIONAL



0477958

Boletín N.º 21

1966

Instituto de Investigaciones Geológicas

creado por

CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN

y

DEPARTAMENTO DEL COBRE

AGUSTINAS 785 - CASILLA 10465 - SANTIAGO DE CHILE

CARLOS RUIZ FULLER
DIRECTOR

© Instituto de Investigaciones Geológicas, 1966
Inscripción N° 24.521

Prensas de
Editorial Universitaria, S. A.
Santiago de Chile
San Francisco 454

Impreso en Chile

Printed in Chile

INDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCION	10
Propósito del estudio	10
Método de trabajo	10
Ubicación y acceso	11
Fisiografía	13
Hidrografía	16
Clima y vegetación	17
Agradecimientos	18
GEOLOGIA GENERAL	19
Introducción	19
Estratigrafía	20
Formación Esquistos de Belén (Precámbrico?)	20
Grupo Arica (Bajociano superior-Oxfordiano)	21
Formación Camaraca	21
Formación Los Tarros	22
Grupo Vilacollo (Neocomiano)	23
Formación Atajaña	23
Formación Sausine	24
Grupo Chapiquiña (Cretácico Superior-Oligoceno?)	25
Formación Lupica	25
Formación Putani	26
Formación Azapa (Oligoceno-Mioceno?)	27
Formación Oxaya (Mioceno-Plioceno)	28
Formación Huaylas (Pleistoceno?)	29
Formación Concordia (Cuaternario)	30
Rocas volcánicas cuaternarias	31
Rocas intrusivas	31
Gabro Mal Paso	32
Granodiorita de Camarones	32
Diorita de Lluta	33
Microgranito	35
Pegmatitas	35
Diorita de Chapiquiña	35
Pórfidos cuaríferos	36
Estructura	36
Fallas y flexuras	37
Pliegues y diaclasas	38
Discordancias	40
Historia geológica	40
GEOLOGIA ECONOMICA	44
Introducción	44
Clasificación de los yacimientos de minerales del departamento de Arica	45
Descripción especial de los principales yacimientos de minerales	48
Yacimientos metalíferos	48
Yacimientos endógenos	48
Yacimientos vetiformes y estratiformes de la región de la Costa	48

1. Santa Isabel y cateos vecinos	49
2. Casa Grande	50
3. Argolla	51
4. Santo Domingo	51
5. El Salar	53
6. Taltape	54
Yacimientos de cobre, oro y molibdeno de la Precordillera	55
7. Campanani	55
8. Dos Hermanos	56
9 y 10. Jamiralla y Rosario	57
Yacimientos de plata, plomo, zinc, antimonio, cobre y estaño de la	
Precordillera y Cordillera	59
11. Choquelimpie	60
12. Churiguaya	61
13. Capitana	61
14. Santa Rosa	62
15. San Lorenzo	63
16. Ociel y Apacheta	64
Yacimiento de hierro de San Sebastián	65
17. San Sebastián	65
Yacimientos exhalativos y sedimentarios	66
Yacimientos de manganeso	66
18. Navidad	67
19. Huachipato	67
Yacimientos de minerales no-metálicos	68
Yacimientos exhalativos	68
Yacimientos de azufre	68
20. Azufreras del volcán Tacora	70
Otros yacimientos de azufre	72
Yacimientos de boratos	73
21. Chilcaya	73
Yacimientos endógenos, originados por metamorfismo	74
22. Saicoto	74
23. Livilcar	75
24. Iqueta	75
Yacimientos exógenos	76
Yacimientos sedimentarios	76
Yacimientos de calizas	76
Yacimientos de dolomita	76
25. Las Riveras	77
Yacimientos de kieselguhr	78
26. Neverman	78
Yacimientos producidos por acción de aguas superficiales	79
Yacimientos de sulfato de aluminio, magnesio y hierro	79
27. Larancagua	79
Yacimientos de ocre	80
28. Chislluma	80
Yacimientos de sal común	81
29. Chacalluta	81
Conclusiones y recomendaciones	82
RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA	85
Sistema hidrográfico oriental	85
Sistema hidrográfico occidental	85
Quebradas de Escritos y Concordia	88
Región de La Concordia	88
Antecedentes geológicos	90

Agua subterránea	90
Recarga	90
Movimiento	90
Descarga	92
Capacidad de los sedimentos para transmitir y contener agua subterránea	92
Avance del cono de depresión	92
Calidad química del agua subterránea	93
Recomendaciones	93
Cuenca de Lluta	94
Valle de Lluta	94
Recomendaciones	95
Cuenca de Azapa	96
Valle de Azapa	96
Antecedentes geológicos	96
Propiedades hidrogeológicas de los sedimentos	96
Agua subterránea	98
Recarga	98
Descarga	98
Fluctuaciones del nivel estático	99
Calidad química del agua subterránea	99
Desarrollo del agua subterránea	99
Conclusiones y recomendaciones	101
Cuenca de Vitor	101
Cuenca de Camarones	103

ABSTRACT	112
--------------------	-----

REFERENCIAS	114
-----------------------	-----

ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de ubicación del departamento de Arica	12
2. Rasgos fisiográficos del departamento de Arica	14
3. Mapa de ubicación de los principales yacimientos de minerales del departamento de Arica	45
4. Mapa geológico de la mina Casa Grande (fuera de texto)	
5. Mapa geológico del área de la mina Santo Domingo (fuera de texto)	
6. Mapa geológico del nivel Julio 2, mina Santo Domingo (fuera de texto)	
7. Mapa geológico del nivel Julio 4, minas Santo Domingo (fuera de texto)	
8. Mapa geológico del nivel El Verde, mina Santo Domingo (fuera de texto)	
9. Mapa geológico del distrito El Salar (fuera de texto)	
10. Mapa geológico del distrito Campanani (fuera de texto)	
11. Proyección horizontal de las principales labores de la mina Dos Hermanos	58
12. Plano topográfico y de muestreo geoquímico de Churiguaya (fuera de texto)	
13. Cuencas hidrográficas del departamento de Arica	86
14. Estaciones pluviométricas y fluviométricas	87
15. Mapa hidrológico de la región de La Concordia	89
16. Perfil E-W en La Concordia, señalando la posible posición de la interfase	91

17. Aporte de agua superficial del río Lauca	97
18. Ubicación de pozos — Valle de Azapa (entre págs. 98 y 99)	
19. Hidrogramas. Valle de Azapa	100
s/n. Mapa geológico del departamento de Arica (fuera de texto)	

FOTOGRAFIAS

Lámina 1.	
Foto 1.	Afloramientos característicos del grupo Arica (Jga).
Foto 2.	Pillow lavas de la formación Camaraca intercaladas en sedimentos marinos de la misma unidad.
Lámina 2.	
Foto 1.	Rocas volcánicas y clásticas de la formación Sausine (Fs) cubiertas discordantemente por las formaciones Azapa (Faz) y Oxaya (Fox).
Foto 2.	Area del Alto Copaquilla, vista hacia el sureste.
Lámina 3.	
Foto 1.	Zona del Altiplano y volcán Tacora (6.000 m s.n.m.).
Foto 2.	Zona del Altiplano y volcán Taapaca (5.815 m s.n.m.).
Lámina 4.	
Foto 1.	Mina Dolomita.
Foto 2.	Mina Fortuna y pequeña planta de lixiviación.
Lámina 5.	
Foto 1.	Mina Casa Grande.

TABLAS

Tabla 1.	Registro de pozos — Región de La Concordia	104
Tabla 2.	Análisis químicos de agua subterránea — Región de La Concordia	105
Tabla 3.	Registro de pozos — Valle de Azapa	106
Tabla 4.	Registro de norias y vertientes — Valle de Azapa	108
Tabla 5.	Análisis químicos de agua subterránea — Valle de Azapa	109
Tabla 6.	Registro de norias — Chaca, quebrada Vítor	110
Tabla 7.	Análisis químicos de agua subterránea — Chaca, quebrada Vítor	111

GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES DEL DEPARTAMENTO DE ARICA

p o r

R. SALAS O., R. F. KAST, F. MONTECINOS P. E I. SALAS Y.

RESUMEN

En el presente informe se exponen los resultados de los estudios de Geología General, Geología Económica y Recursos de Aguas Subterráneas, obtenidos por las comisiones que el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) mantiene en el departamento de Arica y por comisiones eventuales que asesoran los trabajos de Aguas Subterráneas de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

El departamento de Arica está ubicado en el extremo septentrional de Chile y limita al norte con Perú, al sur con el departamento de Pisagua, al este con Bolivia y al oeste con el océano Pacífico. En esta región afloran rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas. Las rocas estratificadas que en total alcanzan un espesor de 8.000 m, constituyen 9 unidades que se han representado separadamente en el mapa geológico. En orden decreciente de edad, éstas son las siguientes:

Formación Esquistos de Belén (Precámbrico?), principalmente gneises y esquistos micáceos.

Grupo Arica (Bajociano Superior-Oxfordiano), integrado por las formaciones marinas Camaraca y Los Tarros.

Grupo Vilacollo (Neocomiano), comprende las formaciones volcánico-sedimentarias continentales Atajaña y Sausine.

Grupo Chapiquiña (Cretácico Superior-Oligoceno?), incluye las formaciones volcánico-sedimentarias continentales Lupica y Putani.

Formación Azapa (Oligoceno-Mioceno?), clástica continental.

Formación Oxaya (Mioceno-Plioceno), principalmente volcánico-ignimbrítica.

Formación Huaylas (Pleistoceno?), volcánica y sedimentario-lacustre.

Formación Concordia (Cuaternario), sedimentaria, principalmente continental.

Rocas volcánicas cuaternarias.

Las rocas intrusivas que existen en el departamento varían de granito a gabro. En base a sus relaciones de contacto y a sus edades radiométricas, ellas parecen representar cuerpos emplazados durante cuatro ciclos intrusivos. La edad de éstos sería: jurásica media (Gabro Mal Paso), jurásica superior (Granodiorita de Camarones), cretácica media (Diorita de Lluta) y terciaria inferior (Diorita de Chapiquiña). Estos dos últimos ciclos intrusivos están relacionados con la mineralización metálica más importante del departamento.

Las principales estructuras que afectan a las rocas del área, tales como pliegues, fallas y flexuras tienen una orientación general nornoroeste. En la Cordillera de la Costa, las formaciones jurásicas se encuentran afectadas por un sistema de fallas de dirección este. En la región existen además grandes fallas escalonadas de rumbo nornoroeste que tienen como característica general un movimiento ascendente de los bloques orientales formando una sucesión de cuencas tectónicas rellenadas por los materiales de la formación Azapa de posible edad miocena; posteriormente movimientos en los planos de falla produjeron extensas flexuras en la formación ignimbrítica. Oxaya.

En Geología Económica se ha valorizado la importancia que tiene para la pequeña minería la existencia de numerosas vetas de minerales de cobre de dimensiones reducidas, localizadas preferentemente en la zona de la Costa y Precordillera. Los minerales de estas vetas, en la zona de la Costa, son principalmente minerales oxidados de cobre y corresponden a atacamita y malaquita con menores cantidades de crisocola, almagrado, covelina y calcosina e indicios de pirita, calcopirita y molibdenita; generalmente se encuentran acompañados de abundante hematita y limonitas en ganga de cuarzo, calcita y baritina (?). Este tipo de vetas de cobre se presenta también en la Precordillera, en los yacimientos del grupo Campanani. Numerosas pequeñas vetas de minerales sulfurados mixtos, se encuentran también en la zona precordillerana; consisten en sulfuros de plata, plomo, zinc, antimonio, cobre y bismuto en ganga de cuarzo, calcita y baritina. Yacimientos de manganeso constituyen una importante reserva potencial en la minería metálica del departamento; se presentan en mantos y zonas de mineralización en vetillas; el principal mineral parece ser wad (mezcla de óxidos de manganeso hidratados) que contiene un alto porcentaje de sílice. Existen varios yacimientos de sustancias no-metálicas en el área, entre ellas se cuentan: el azufre de alta ley presente en las azufreras de las cimas de los volcanes cuaternarios; dolomita en forma de mantos sedimentarios lacustres de la formación Oxaya en la zona de la Pampa; kieselguhr en forma de mantos en la parte alta de la formación Oxaya y en sedimentos de la formación Huaylas, en la zona de la Costa, Pampa, Precordillera y Altiplano; bórax en

las capas superiores de los salares del Altiplano, algunos de los cuales como el de Chilcaya parecen contener grandes reservas minerales; y mármol en potentes mantos intercalados en pizarras y calizas mesozoicas en la quebrada de Azapa.

El IIG y CORFO han desarrollado un plan de investigaciones en relación con los recursos de agua subterránea del departamento, demostrándose que estos recursos, en el área de Arica, se pueden obtener de dos depósitos: el acuífero no confinado del valle de Azapa, actualmente en explotación, y el acuífero semiartesiano de la zona de La Concordia. El estricto control de los sondeos ha demostrado que el acuífero de Azapa está declinando por exceso de bombeo y seguirá declinando peligrosamente a menos que se pongan en práctica medidas de seguridad en la explotación del acuífero. Deberán determinarse los incrementos de recarga en los diferentes cursos del río, como asimismo la posibilidad de recarga artificial de la napa. El acuífero semiartesiano de La Concordia chilena, que podría abastecer gran parte del consumo del agua de la ciudad de Arica, está relacionado al acuífero de La Concordia peruana que está siendo recargado desde el valle del río Caplina.

Desde 1960 el IIG tiene una comisión de geólogos en el departamento de Arica, con el objeto de efectuar estudios en detalle de los principales distritos mineros, asesorar en los problemas de índole geológica a las distintas reparticiones que realizan obras públicas, y hacer levantamientos geológicos de cuadrángulos, para ir estableciendo las bases que servirán para la compilación de la geología de todo el departamento, lo que es indispensable para alcanzar un mejor conocimiento de sus recursos minerales.

A mediados de 1961, en virtud de un convenio entre la Junta de Adelanto de Arica (JAA) y el IIG, se estableció otra comisión geológica; para tal efecto se contrató un geólogo norteamericano especialista en Geología Económica. El presente informe expone el estado actual de las investigaciones geológicas efectuadas por estas comisiones.

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El propósito de este informe es dar a conocer el estado actual de los estudios geológicos que se han estado desarrollando en el departamento de Arica, y sus perspectivas futuras tanto en el campo de la minería como en lo referente a los recursos de agua subterránea en los valles principales del departamento. Esta etapa del estudio servirá para determinar las bases de una prospección dirigida en forma racional y científica, para lo cual es necesario contar con los estudios previos de Geología Regional.

Las observaciones de Geología Económica dan a conocer, en general, el potencial de las reservas minerales y la evaluación de algunos de los yacimientos conocidos del departamento.

MÉTODO DE TRABAJO

Durante dos años y medio las comisiones del IIG destacadas en Arica recorrieron la casi totalidad del área del departamento, que es de aproximadamente 17.000 km², con el propósito de efectuar reconocimientos geológicos, estudios mineros, levantamientos de cuadrángulos, estudios de geología aplicada a obras de ingeniería y otros estudios. De gran ayuda en el reconocimiento geológico de esta área fueron los vuelos aéreos que permitieron identificar desde el aire estructuras y unidades estratigráficas, especialmente en las zonas inaccesibles de la Precordillera; el mismo método se aplicó al reconocimiento geológico del acantilado de la costa, combinado con excursiones por vía marítima.

La base topográfica utilizada para el levantamiento geológico de cuadrángulos de 15' de grado geográfico, escala 1:50.000, ha sido preparada

por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Este levantamiento geológico cuadrangular forma parte del plan del IIG, para completar la Carta Geológica de Chile. Algunas de las observaciones de Geología Regional se obtuvieron por la interpretación de fotografías aéreas.

El mapa geológico a escala 1:300.000 que acompaña a este informe, tiene como base topográfica la Carta Preliminar de Chile a escala 1:250.000 del departamento de Arica, editada por el IGM y que comprende las hojas General Lagos N° 1770, Cosapilla N° 1769, Arica N° 1870, Caquena-Río Lauca N° 1869, Pisagua-Huara N° 1970 y Camiña-Pachica N° 1969.

Los antecedentes de Geología Económica corresponden principalmente a estudios geológico-mineros realizados por las comisiones y a datos proporcionados por organismos fiscales y particulares tales como Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Instituto de Fomento Minero e Industrial de Tarapacá, CORFO, Cía. Azufrera Nacional, e industriales mineros.

UBICACIÓN Y ACCESO

El departamento de Arica está ubicado en el extremo septentrional de la República de Chile (fig. 1). Al norte limita con la Línea de la Concordia, que separa a Chile y Perú, alcanzando hasta los 17°30'S; al sur, a lo largo del río Camarones, con el departamento de Pisagua hasta los 19°10'S; al este con Bolivia a los 69°20'W; y al oeste, con el océano Pacífico, 70°30'W. La superficie del departamento es de 16.614 km²*

Rutas aéreas, marítimas y terrestres unen al departamento de Arica con el resto del país. La Línea Aérea Nacional proporciona principalmente vuelos de pasajeros y otras empresas aéreas efectúan vuelos de carga entre Arica y Santiago. Diferentes compañías navieras realizan cabotaje entre Arica y el resto de los puertos chilenos. Con el aporte económico de la Junta de Adelanto de Arica se está construyendo un moderno puerto mecanizado. El ferrocarril internacional de Arica a La Paz es de gran importancia en el departamento, como medio de transporte y comunicación entre la ciudad y los pueblos ubicados en la parte norte del Altiplano chileno; se emplea además para transportar minerales desde las minas ubicadas en la Precordillera y Altiplano. Actualmente, sólo la producción de azufre del volcán Tacora, es transportada por medio de este ferrocarril.

El departamento de Arica, en su parte occidental, está atravesado de norte a sur, desde la Línea de la Concordia hasta la quebrada Camarones, por

*Esta cifra fue determinada por Eduardo Falcón, midiéndola directamente de la Carta Preliminar 1 : 250.000. Según la Dirección de Estadística y Censos, la superficie sería de 16.950,4 km².

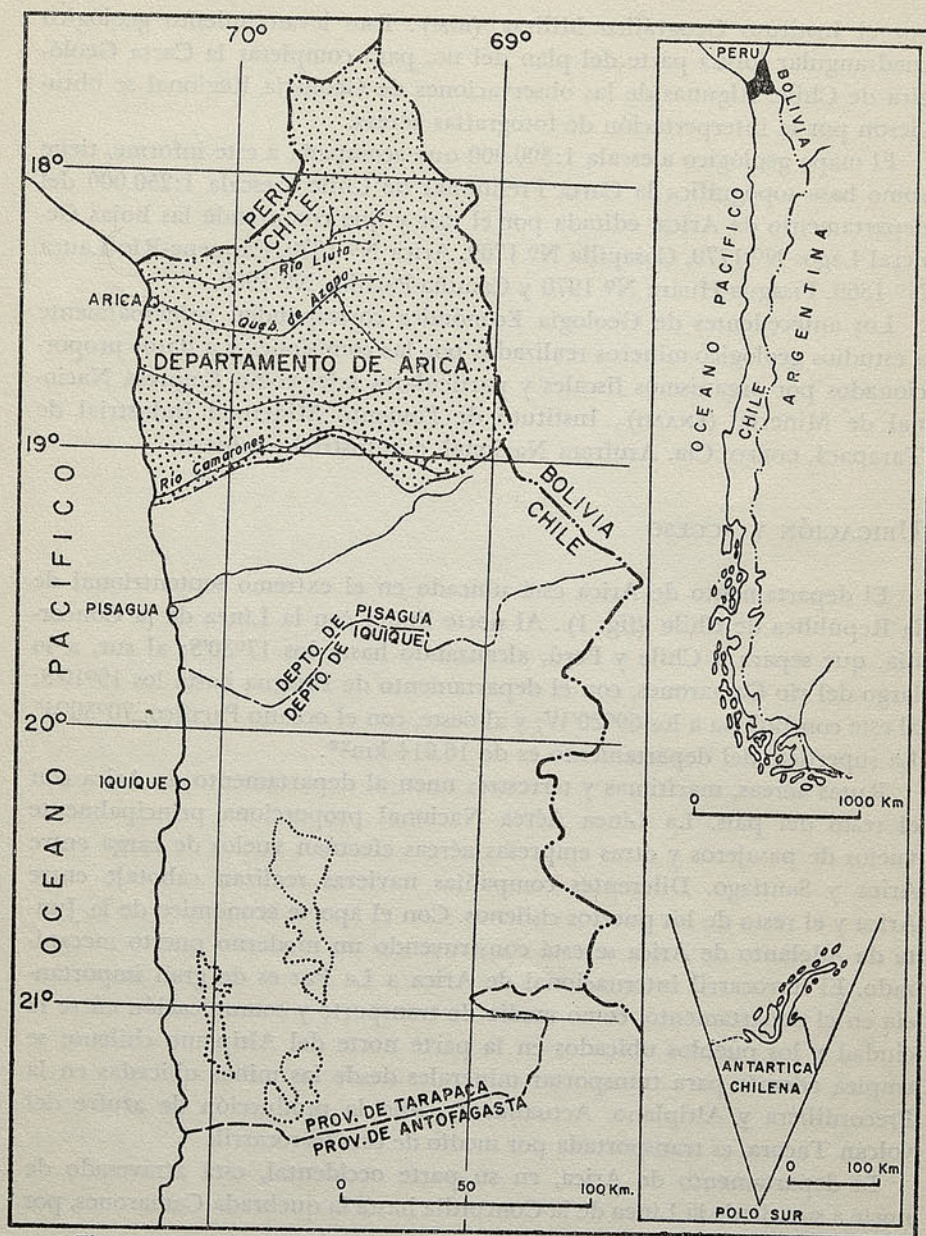


Figura 1. Mapa de ubicación del departamento de Arica

la Carretera Panamericana o camino longitudinal, que tiene una extensión total de aproximadamente 120 km, gran parte de los cuales están pavimentados. La red caminera que cruza el departamento en sentido este-oeste se compone en general de caminos de segunda y tercera clases, comúnmente en mal estado; en sus trayectos desde la Precordillera, Altiplano y Cordillera experimentan daños durante la época de las lluvias; estos caminos son: el que une Arica con el Portezuelo de Chapiquiña y que se encuentra asfaltado en su trayecto por el valle de Azapa, el camino que une Arica con Tignamar y Chilcaya, y el que une Arica con Codpa. Existen además algunos caminos cortos que penetran en los valles profundos del departamento, ellos son: el camino del valle de Lluta hasta Chaquiri, el del valle de Azapa hasta El Paradero, el de quebrada Vítor que une el poblado de Chaca con Caleta Vítor, y el de Camarones que une a Cuya con la Hacienda de Camarones. Un camino transitable para vehículos con doble tracción une Arica con Bolivia y su trazado es aproximadamente paralelo al oleoducto de Sica-Sica y al ferrocarril de Arica a La Paz.

FISIOGRAFÍA

En el departamento de Arica se reconocen tres unidades fisiográficas que caracterizan la morfología en esta parte del país. Tales rasgos tienen orientación aproximadamente norte y son, de oeste a este, los siguientes: Cordillera de la Costa, Pampa y Cordillera de los Andes (fig. 2).

Cordillera de la Costa: La Cordillera de la Costa del departamento de Arica está constituida por una angosta cadena de cerros de poca elevación; alcanza su altura máxima en el cerro Punta Madrid (1.200 m), a más o menos 50 km al sur de Arica. En su lado occidental está limitada por un gran barranco de 600 a 800 m s.n.m.; hacia el norte termina abruptamente en el Morro de Arica. Dos quebradas profundas, que pertenecen a los sistemas fluviales Vítor y Camarones, atraviesan a esta unidad morfológica.

Pampa: La zona de la Pampa, de una altura que varía aproximadamente entre 700 y 2.000 m s.n.m., se encuentra conformando gran parte de la superficie del departamento y se extiende desde la Cordillera de la Costa hasta los faldeos de la Sierra de Huaylillas con una inclinación de pocos grados hacia el oeste.

La Pampa está surcada por los profundos valles de Lluta, Azapa, Vítor, Camarones y otras quebradas menores. La región de la Pampa del departamento podría considerarse como la continuación norte de la Pampa del Tamarugal, que algunos autores estiman como la continuación del Valle Longitudinal de Chile central.

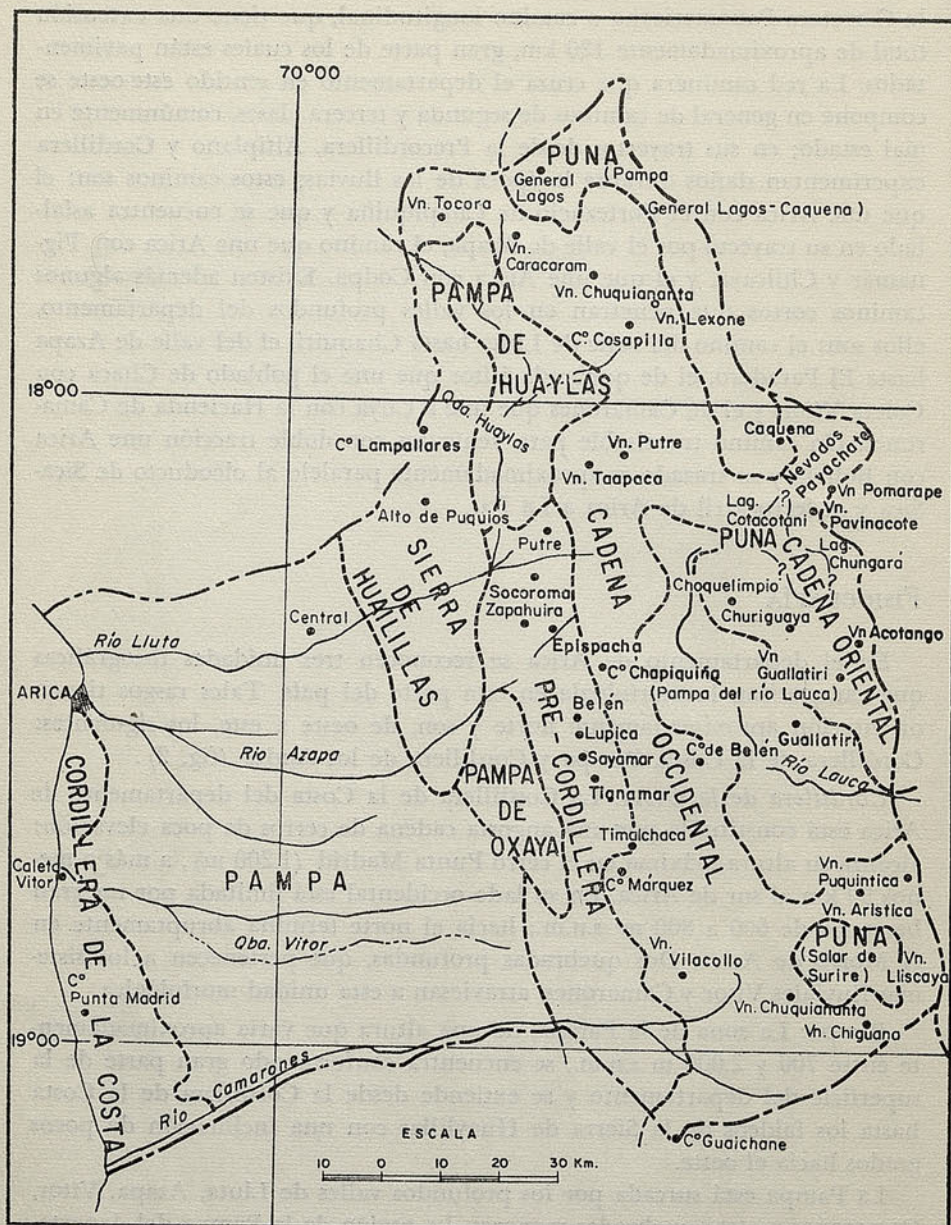


Figura 2. Rasgos fisiográficos del departamento de Arica.

Cordillera de los Andes: La Cordillera de los Andes en el departamento de Arica corresponde a la Cordillera Occidental de Perú y Bolivia. En esta Cordillera se pueden distinguir siete unidades fisiográficas que enumeradas de oeste a este son las siguientes: Sierra de Huaylillas, Pampa de Oxaya, Pampa de Huaylas, Precordillera, Cadena Occidental, Altiplano y Cadena Oriental.

Sierra de Huaylillas: La Sierra de Huaylillas nace en las inmediaciones de los cerros Lampallares (4.260 m s.n.m.) en el límite chileno-peruano; hacia el sur disminuye en elevación hasta confundirse con los suaves lomajes de la Pampa de Oxaya. Cerca del pueblo de Socoroma un cordón transversal une la Sierra de Huaylillas con la Precordillera, separando las hoyas hidrográficas del río Lluta y quebrada Azapa.

Pampa de Oxaya: Corresponde a una meseta alargada de dirección noroeste, comprendida entre la Sierra de Huaylillas y la Precordillera, que se extiende entre la quebrada Azapa y el cerro Márquez; su altura media es de 3.200 m s.n.m., presentando en general una suave inclinación hacia el este.

Pampa de Huaylas: Es una planicie que se extiende entre la Sierra de Huaylillas y la Cadena Occidental en el área del curso superior del río Lluta.

Precordillera: Al sur del río Lluta y limitadas, hacia el oeste, por la Sierra de Huaylillas y la Pampa de Oxaya y, hacia el este, por la Cadena Occidental, se encuentran algunas serranías que se conocen con el nombre de Precordillera. Estas serranías alcanzan alturas entre 3.000 y 4.000 m s.n.m.

En la zona de la Precordillera existe una apreciable densidad de población en los pueblos de Putre, Socoroma, Zapahuira, Epispacha, Chapiquiña, Belén, Lupica, Saxamar, Tignamar y Timalchaca.

Cadena Occidental: Constituye la parte occidental de la región más elevada de los Andes chilenos. Incluye los volcanes Chupiquiña (5.787 m), Tacora (5.988 m), Taapaca (5.815 m) y cerros Chapiquiña (5.040 m), Belén (5.260 m), Márquez (4.960 m), Vilacollo (4.600 m) y Guaichane (4.640 m), nombrados de norte a sur.

Cadena Oriental: La Cadena Oriental se desprende hacia el sureste del volcán Tacora en los nevados de Caracarani (5.120 m), Chuquiananta (5.488 m) y Cosapilla (5.370 m) en territorio chileno, continuando al sur en elevadas sierras, que marcan el límite internacional con Bolivia; éstas son los nevados de Payachatas (6.330 m), y de Quimsachatas (6.050 m), y los volcanes Puquintica (5.760 m), Liscaya (5.580 m), Guallatiri (6.060 m) y Arintica (5.590 m).

Los picos más elevados en la Cordillera Andina chilena del departamento son los nevados de Quimsachata y Payachatas, cuyos volcanes Guallatiri y Parinacota alcanzan alturas sobre los 6.000 m y mantienen nieves eternas en sus conos.

Altiplano chileno o Puna: El Altiplano chileno es una meseta de alrededor de 4.200 m s.n.m., comúnmente llamada Puna, que se ubica entre las Cadenas Occidental y Oriental de la Cordillera de los Andes en el departamento de Arica. Dos cordones transversales lo dividen en tres cuencas, que están rellenas por sedimentos y material volcánico moderno: la del lado norte constituye la pampa de General Lagos-Caquena; la del centro la pampa del río Lauca, y la del sur, el salar de Surire. La primera forma las nacientes de los sistemas fluviales del río Mauri, resultante de la unión de los ríos Uchusuma (que nace en Perú), Colpas, Cosapilla y Caquena; la segunda forma los sistemas fluviales del río Lauca, que nace en las ciénagas de Parinacota con afluentes provenientes del cordón de Choquelimpie y los ríos Guallatiri y Quiburcanca, y la tercera forma la cuenca cerrada del salar de Surire.

HIDROGRAFÍA

En el área del departamento de Arica existen dos sistemas fluviales que corren hacia Bolivia y cuatro sistemas que van hacia el Pacífico. Los dos primeros están constituidos por el río Cosapilla, que recibe en su curso superior las aguas del río Caquena y desemboca en el río Mauri, y por el río Lauca, que nace en las ciénagas de Parinacota y recoge las aguas de los tributarios menores Choquelimpie, Guallatiri, Quiburcanca y laguna de Challaviento. Los cuatro sistemas fluviales que desembocan en el océano Pacífico son: Lluta, San José de Azapa, Vitor y Camarones. En general, el caudal de estos ríos aumenta en los meses de diciembre a marzo, debido a las lluvias que se producen en las regiones cordilleranas y del Atiplano (invierno boliviano).

El río Lluta es el más grande de los ríos del departamento, nace en el faldeo poniente de la Cadena Occidental de la Cordillera de los Andes y capta las aguas de los ríos tributarios Socoroma, Azufre, Aroma, Colpitas y Putre. Durante todo el año llega al mar con cierta cantidad de agua, pero debido a su alta salinidad, que se cree sea proveniente del tributario Azufre, no es totalmente aprovechable en agricultura.

El río San José de Azapa, que en su curso superior se denomina quebrada Azapa, recibe agua de los ríos tributarios Tignamar, Chapiquiña y otros ríos menores de la zona. En la actualidad el caudal de las aguas de este río está siendo incrementado con parte de las aguas del río Lauca.

La quebrada Vitor recibe sus aguas de los tributarios Umirpa en su curso superior, Subitaya en su curso medio, y Garzas, Apanzas y otros menores en su curso inferior.

El cauce de esta quebrada lleva agua todo el año solamente en sus cursos medio y superior, perdiéndose su caudal en las cercanías del poblado de Pintatani.

El río Camarones recibe sus aguas de numerosos tributarios; sus afluentes principales son los ríos Ajatama, Caritaya y Saguara. El caudal de este río está regulado por un tranque construido a unos 10 km aguas arriba de la confluencia del río Caritaya con el río Ajatama, a unos 4.000 m s.n.m., con capacidad para almacenar 42.000.000 de m³ de agua (Keller, 1946).

CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima del departamento es en general subtropical desértico, según la clasificación de climas propuesta por Köppen y adoptada por Fuenzalida (1950, p. 214), pero dentro del área departamental se pueden observar notables variaciones que corresponden a las distintas zonas morfológicas.

Zona de la costa y valles profundos: En estas zonas el clima es desértico con abundantes nublados, una alta humedad relativa del aire ($\pm 80\%$) y carencia total de precipitaciones. En la ciudad de Arica, en año normal, la precipitación es de 0,6 mm.

Las temperaturas registradas en esta zona no corresponden a la latitud y deberían ser muy superiores; esto se debe a la influencia moderadora que ejerce la corriente fría de Humboldt sobre el litoral y a los vientos provenientes de la costa, que soplan en dirección noreste, especialmente durante los meses de verano. Casi no existe diferencia de temperatura entre el día y la noche o entre las distintas estaciones del año.

Zona de la Pampa: El clima en esta zona es desértico normal. La humedad relativa del aire es baja en comparación con la zona de la costa. Las temperaturas varían considerablemente entre el día y la noche. Cuando la camanchaca (nubosidad baja) es intensa en la costa, alcanza a cubrir gran parte de la Pampa. Prácticamente no existe vegetación en esta zona.

Zona de la Precordillera: En esta zona el clima es desértico marginal de altura (Fuenzalida, 1950, p. 219). Durante los meses de verano se producen precipitaciones esporádicas que generalmente tienen una duración de pocas horas en el día. La humedad relativa del aire es muy baja y existen grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche; en las noches invernales la temperatura fluctúa entre 5 y 20° bajo cero.

Las lluvias que afectan a esta zona permiten el desarrollo de algunas plantas y arbustos. Las más conocidas son dos o tres especies de cactáceas denominadas localmente cardones. La queñua es un árbol pequeño y retorcido de madera dura que se usa como combustible y en las construcciones de la región. La tola-tola y la paja brava pueden usarse como forraje para animales.

Zona Cordillerana y del Altiplano: Estas zonas tienen un clima de estepa de altura (Fuenzalida, 1950, p. 220), donde se producen precipitaciones atmosféricas, lluvias y nevazones, abundantes durante los meses de verano, con un promedio de 276 mm anuales. Debido a la altura, sobre 4.000 m, existen grandes variaciones térmicas entre el día y la noche; la temperatura alcanza comúnmente 20 o más grados centígrados bajo cero, en las noches invernales.

La vegetación en estas zonas consiste principalmente en yareta que es una planta de gran poder calorífico que se desarrolla preferentemente a un nivel superior a 4.000 m, y pastos que crecen en los pantanos, arroyos y vertientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en forma especial a la Junta de Adelanto de Arica, que en su propósito de planificar la prospección y evaluación de los recursos naturales del departamento, ha permitido efectuar estos estudios financiando parte de sus gastos.

Agradecemos a instituciones y personas tales como la Corporación de Fomento de la Producción, Empresa Nacional de Minería, Asociación de Mineros de Arica, Carabineros de Chile, Caja de Colonización Agrícola, Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, Administración del Ferrocarril Arica-La Paz, Profesorado Rural, Compañía Minera San Carlos y Compañía Azufrera Nacional; como asimismo a los señores Enrique Giovo, Marcos Beovic, Antonio Weiborn y otros, por la valiosa cooperación prestada en la realización de estas investigaciones. Se agradece al señor Severino Hidalgo quien efectuó la mayoría de los trabajos topográficos y al señor Federico Ibáñez, quien acompañó a los autores en numerosas excursiones.

En la redacción final de este informe participaron los señores Carlos Ruiz, Director Ejecutivo del IIG y José Corvalán, quienes aportaron valiosas sugerencias.

GEOLOGIA GENERAL

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Arica existen afloramientos de rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas, que se pueden agrupar en distintas unidades estratigráficas y que cronológicamente se extienden desde el Precámbrico (?) hasta el Reciente.

La unidad más antigua expuesta en la región es la formación Esquitos de Belén, constituida por gneises y esquistos micáceos de probable edad precámbrica. Esta unidad se encuentra solamente en afloramientos aislados entre los pueblos precordilleranos de Chapiquiña y Tignamar, siendo su distribución muy restringida.

El resto de las rocas estratificadas ocupan aproximadamente el 95% de la superficie del departamento y representan un espesor total de 8.000 m; estas consisten en rocas sedimentarias y volcánicas de edad mesozoica y cenozoica. En esta secuencia se han distinguido y representado separadamente en el mapa, 8 grupos y formaciones que en orden decreciente de edad son los siguientes:

- 1) Grupo Arica, de edad jurásica media a superior, constituido por las formaciones Camaraca y Los Tarros.
- 2) Grupo Vilacollo, de edad cretácica inferior; incluye las formaciones continentales Atajaña y Sausine, constituidas por conglomerados rojovioleta y rocas volcánicas andesíticas.
- 3) Grupo Chapiquiña, de edad cretácica superior a terciaria inferior, comprende las formaciones Lupica de origen volcánico-sedimentario y la formación Putani de origen sedimentario-continental.
- 4) Formación Azapa, asignada al Mioceno; está compuesta por sedimentos continentales gruesos y finos de carácter torrencial.
- 5) Formación Oxaya, de edad terciaria superior (Mioceno-Plioceno), consiste en conglomerados, areniscas, andesitas y tobas ignimbríticas de composición riolítica a dacítica; es la unidad de mayor distribución en el departamento.
- 6) Formación Huaylas, asignada tentativamente al Pleistoceno, está constituida por sedimentos lacustres y tobas ignimbríticas riolíticas.
- 7) Formación Concordia, de edad pleistocena a reciente, está compuesta por gravas y arenas de origen continental-marino.
- 8) Rocas volcánicas cuaternarias, representadas por lavas andesíticas y basálticas, distribuidas preferentemente en las cadenas montañosas de la Cordillera de los Andes.

Las rocas intrusivas expuestas en la región constituyen cuerpos de regular magnitud que alcanzan hasta decenas de kilómetros de extensión y se encuentran distribuidos preferentemente en la Cordillera de la Costa y en la Precordillera. En algunas áreas la intrusión de estos cuerpos ha producido zonas de metamorfismo de contacto, y otras intrusiones han producido zonas de alteración que se presentan mineralizadas. En base a relaciones estratigráficas y a determinaciones radiométricas, se asigna a estos intrusivos edades variables entre Jurásico Medio y Terciario Inferior, que representarían diferentes ciclos plutónicos.

ESTRATIGRAFÍA

FORMACIÓN ESQUISTOS DE BELÉN (PRECÁMBRICO?)

Se denomina Esquistos de Belén (Montecinos, 1963, p. 23) a un conjunto de gneises y esquistos micáceos, cuyo mejor desarrollo se observa en las vecindades de los pueblos de Belén y Tignamar, en los faldeos occidentales de la Precordillera. En esa área, esta unidad subyace discordantemente a la formación Lupica, como puede observarse en el camino de herradura a la mina San Lorenzo (3 km al este de Belén). En el área de Belén esta formación está constituida principalmente por esquistos, mientras que en la de Tignamar predominan los gneises.

Los esquistos micáceos, que semejan areniscas micáceas, corresponden a rocas foliadas que presentan numerosos pliegues de 10 a 15 cm de amplitud; contienen abundantes lajitas de muscovita de color blanco amarillento las que se encuentran parcialmente alteradas a sercita. Al microscopio se observa una roca de textura granoblástica a lepidoblástica, constituida por feldespatos, cuarzo, muscovita y biotita; en menor proporción existe zircón, apatita y minerales opacos.

Los gneises corresponden a rocas foliadas, en las que se observan bandas oscuras constituidas por piroxena y anfíbola alteradas y bandas blancas constituidas por cuarzo y feldespatos.

Hasta ahora sólo se conocen afloramientos de esta formación en el área de la Precordillera entre los pueblos de Chapiquiña y Tignamar.

La edad precámbrica asignada a la formación Esquistos de Belén es solamente tentativa. Ella está basada únicamente en el hecho de que la unidad se reconoce como un conjunto metamórfico, producto de metamorfismo regional, que presenta mucha similitud litológica con rocas del Basamento Cristalino del centro y sur del país y con rocas metamórficas de Perú y Bolivia para las cuales se infiere una edad precámbrica.

GRUPO ARICA (Bajociano superior-Oxfordiano)

Se designa con el nombre de grupo Arica al conjunto de las dos unidades mesozoicas más antiguas expuestas en la región. Estas son las formaciones Camaraca de edad bajociana superior-caloviana, constituida por rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos marinos, y la formación Los Tarros de edad oxfordiana, integrada por rocas sedimentarias marinas con algunas intercalaciones de rocas volcánicas. Ambas unidades son concordantes entre sí.

El grupo Arica aparece representado principalmente en la Cordillera de la Costa al sur de Arica; de allí su nombre. Su base, que es la base de la formación Camaraca, no aparece expuesta; su techo, determinado por el techo de la formación Los Tarros, queda definido por un contacto discordante con la base de la formación Atajaña, de edad cretácica inferior.

FORMACIÓN CAMARACA (Bajociano superior-Caloviano). Se designa con el nombre de formación Camaraca, a un conjunto de rocas volcánicas predominantemente andesíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias marinas que constituyen la mayor parte de la Cordillera de la Costa entre Arica y Caleta Camarones. Esta unidad tiene su desarrollo más completo en el área del cerro Camaraca, a unos 20 km al sur de Arica. La base de la formación no aparece expuesta; su techo corresponde a un contacto por falla con las capas de areniscas de la base de la formación Los Tarros.

En toda su extensión areal la formación Camaraca presenta cambios litológicos verticales, que permiten su subdivisión en tres miembros estratigráficos. De arriba hacia abajo estos son:

Miembro Superior: Rocas volcánicas, andesitas y latitas de color gris a gris rojizo, con intercalaciones de arenisca. Espesor: 1.000 m.

Miembro Medio: Principalmente andesitas oscuras con intercalaciones de capas delgadas de caliza, lutita y arenisca marina. Espesor: 600 m.

Miembro Inferior: Arenisca calcárea gris verdosa, de grano medio, fosilífera, con intercalaciones de caliza y andesita negra con estructura de almohadillas (pillow lavas). Espesor: 300 m.

Además de los afloramientos de la formación Camaraca en la Cordillera de la Costa del departamento de Arica, la unidad aparece también expuesta en el curso inferior del río Camarones.

En varios lugares como en el valle del río Camarones, la formación está penetrada por cuerpos intrusivos. Los fósiles encontrados en los sedimentos

marinos de los diferentes miembros, permiten asignar una edad bajociana superior-caloviana a la formación Camaraca. Esta edad está basada principalmente en la presencia de un ammonite identificado tentativamente como *Garantiana* (?) y de *Macrocephalites* y *Kamptocephalites*.

FORMACIÓN LOS TARROS (Oxfordiano). El nombre de formación Los Tarros fue propuesto por Cecioni y García (1960) para designar a un conjunto de lutitas oscuras laminadas con concreciones calcáreas, expuesto en la quebrada Los Tarros a 6 km al sureste de Arica.

En esta localidad la unidad se presenta en contacto por falla con la formación Camaraca, pero hacia el sur, en quebrada Chiza (departamento de Pisagua), se ha observado que la formación Los Tarros sobreyace concordantemente a la formación Camaraca. El techo de la formación está indicado por una discordancia erosional y, en algunos lugares angular, que la separa de la formación suprayacente Atajaña, de edad cretácica. En quebrada Los Tarros, esta discordancia es principalmente erosional.

La formación Los Tarros está constituida por una alternación de lutitas fisibles de color gris marrón, calizas, cuarcitas grises y menor proporción de andesitas marrón que alcanza un espesor de 600 m. En la parte superior de la formación predominan lutitas con concreciones calcáreas fosilíferas.

En la Cordillera de la Costa los afloramientos de esta unidad se encuentran restringidos a la quebrada Los Tarros y quebradas adyacentes. En el interior del departamento de Arica la formación Los Tarros aparece expuesta en los cursos medios del río Lluta y quebrada Azapa. En las localidades de Millune y Larancagua en el río Lluta, las rocas de esta unidad corresponden a cuarcitas y lutitas silicificadas respectivamente; en la localidad de Livilcar, quebrada de Azapa, las rocas de esta formación son lutitas y pizarras fosilíferas con intercalaciones de calizas marmorizadas.

En su localidad típica, la formación Los Tarros contiene varios horizontes fosilíferos que han proporcionado una abundante fauna en que predominan los ammonites como: *Perisphincter*, *Bichotomoceras*, *Perisphinctes* (*Orthosphinctes?*) *gottschei* Steinmann, *Ochetoceras* y *Trimarginites* (aff. *Ammonites complanatus gigas* Quenstedt), que permiten asignar una edad oxfordiana superior (s. 1) (Argoviano-Rauraciano) a esta unidad.

Además la presencia de un ammonite identificado tentativamente como *Progeronia* (?) sugiere la posibilidad de que parte de la formación Los Tarros sea de edad kimmeridgiana inferior. La edad oxfordiana de la formación en los afloramientos de Livilcar, también está comprobada por la presencia de perisphinctidos.

GRUPO VILACOLLO (Neocomiano).

Con el nombre de grupo Vilacollo se designa una unidad constituida por dos formaciones, probablemente sincrónicas, asignadas al Neocomiano. Estas son las formaciones Atajaña, expuesta en la Cordillera de la Costa, y Sausine, expuesta en los profundos valles de los drenajes principales (Lluta, Azapa y Camarones) en la zona que fisiográficamente corresponde a la Sierra de Huaylillas. Ambas unidades están constituidas por rocas volcánicas andesíticas y rocas sedimentarias clásticas continentales y se disponen discordantemente sobre la unidad superior del grupo Arica.

FORMACIÓN ATAJAÑA (Neocomiano). La formación Atajaña de edad cretácica inferior, está constituida por conglomerados, areniscas y limolitas rojas continentales; esta unidad fue definida por Cecioni y García (1960, p. 17) en base a afloramientos expuestos en las cercanías del cerro Atajaña (departamento de Pisagua). En la Cordillera de la Costa del departamento de Arica, principalmente en las quebradas Mal Paso, Acha y Vitor, existe una secuencia de rocas litológicamente muy similar a la descrita por Cecioni y García (*op. cit.*), que se asigna a la formación Atajaña. En esta región la unidad se dispone discordantemente sobre la formación Los Tarros del grupo Arica y subyace discordantemente a las formaciones terciarias de Azapa y Oxaya.

La constitución litológica de esta formación, hace posible su subdivisión en los siguientes miembros estratigráficos, nombrados de arriba hacia abajo:

Miembro Superior: Constituido por conglomerado medio a grueso, de color gris marrón, de mala selección; los rodados corresponden principalmente a andesitas, son subredondeados, de hasta 1,5 m de diámetro y están incluidos en una matriz arenosa. El conglomerado contiene intercalaciones de arenisca y limolita rojas. Espesor 700 m.

Miembro Medio: Compuesto principalmente por lavas andesíticas porfíricas de color negro y tobas andesíticas de color marrón; en la parte superior de este miembro predominan areniscas de color marrón, bien estratificadas. Espesor aproximado 150 m.

Miembro Inferior: Consiste en conglomerado violeta rojizo con rodados bien redondeados de andesita, de cuarcita y en menor proporción de diorita; el tamaño de los rodados varía entre 5 y 20 cm de diámetro y ocasionalmente poseen hasta 50 cm. Espesor 400 m.

Estos tres miembros están representados sólo en las quebradas Los Tarros y Mal Paso; en otras localidades tales como las quebradas de Acha, Vitor y río Camarones afloran en forma separada el miembro superior, el miembro medio y los miembros medio e inferior, respectivamente.

En su localidad típica, la formación Atajaña es considerada de probable edad neocomiana, por el hecho de que se encuentra sobre el Oxfordiano superior que infrayace en contacto de transición a la formación Blanco, cuya edad neocomiana está comprobada por fósiles (Cecioni y García, 1960, p. 20). A pesar de que en base a estas relaciones estratigráficas de la formación Atajaña en su localidad típica se le podría asignar una edad neocomiana inferior, ella podría ser también considerada de edad titoniana o aun kimmeridiana.

En el departamento de Arica no existen antecedentes que permitan precisar más la edad de la formación Atajaña. Sólo se puede afirmar que es postoxfordiana por disponerse sobre la formación Los Tarros y premiocena ya que está cubierta por la formación Azapa.

FORMACIÓN SAUSINE (Neocomiano?). El nombre de formación Sausine, fue propuesto por Montecinos (1963, p. 37) para designar a un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias continentales expuesto en el área del caserío de Sausine, en el valle del río Lluta. En esa localidad la formación se dispone discordantemente sobre la unidad superior del grupo Arica, de edad oxfordiana y subyace, también discordantemente, a la formación Oxaya de edad miocena-pliocena.

La formación Sausine está constituida principalmente por lavas y brechas de composición andesítica. Cerca de la base de esta unidad, las rocas volcánicas contienen intercalaciones de conglomerado de color verde.

En su sección tipo, la secuencia estratigráfica de esta unidad es la siguiente (de arriba hacia abajo):

Formación Oxaya

Techo — Discordancia.

— Lavas, brechas y tobas andesíticas de color verde; se presentan fuertemente cloritizadas y epidotizadas. Espesor	530 m.
— Conglomerado de color verde, bien cementado y silicificado. Los rodados, hasta de 25 cm de diámetro, corresponden principalmente a andesitas. Hacia la parte superior, existen capas de toba brechosa y arenisca gruesa de color amarillento. Espesor	110 m.
— Andesita de color gris a marrón con abundante epidota. Espesor	50 m.
Total	690 m.

Base: Discordancia grupo Arica.

La edad neocomiana que se asigna a la formación Sausine es solamente tentativa y está basada exclusivamente en correlaciones litológicas con otras unidades expuestas en los departamentos de Arica e Iquique. La litología de esta unidad es muy semejante a la de la formación Cerro Empexa (Galli, 1957, p. 21; 1962, p. 39) de edad cretácica y a la de la formación Atajaña, a la que se asigna una edad neocomiana.

GRUPO CHAPIQUIÑA (*Cretácico Superior-Oligoceno?*)

Se denomina grupo Chapiquiña a la unidad constituida por la formación Lupica de edad cretácica superior-terciaria inferior que se encuentra expuesta preferentemente en la Precordillera y por la formación Putani de edad oligocena, expuesta en la zona del Altiplano chileno. Ambas formaciones son de origen continental y están constituidas, la primera, por rocas sedimentarias y volcánicas, y la segunda, por rocas sedimentarias. Esta unidad se dispone discordantemente sobre los Esquistos de Belén y el grupo Vilacollo e infrayace discordantemente a la formación Oxaya de edad miocena-pliocena.

FORMACIÓN LUPICA (Cretácico Superior-Terciario Inferior). La formación Lupica corresponde al conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas que aflora en las regiones de la Precordillera y de la Puna, a lo largo del departamento, desde el límite con Perú por el norte, hasta el límite con el departamento de Pisagua por el sur. Esta unidad sobreyace discordantemente a la formación Esquistos de Belén, de probable edad precámbrica; subyace concordantemente a la formación Putani de posible edad oligocena y, en discordancia, a la formación Oxaya de edad miocena-pliocena.

La formación Lupica, de aproximadamente 1.000 m de espesor, está constituida por brechas, tobas y lavas andesíticas, alternadas con conglomerados y areniscas arcósicas. La distribución vertical de estos tipos litológicos, permite distinguir cuatro miembros, dos sedimentarios y dos volcánicos; estos son (de arriba hacia abajo):

Miembro 4. Areniscas de grano fino a grueso, de color gris con intercalaciones de arcillolita lacustre de color blanquecino. Las arcillolitas están formadas por delgadas bandas de calcita y cuarzo criptocristalino, paralelas a la estratificación, y poseen concreciones calcáreas. Espesor 110 m.

Miembro 3. Tobas riolíticas de color amarillento, brechas tobíferas de color gris violáceo e intercalaciones de lavas andesíticas de color marrón. Espesor 280 m.

Miembro 2. Conglomerados, arcosas y grauvacas de color verde; los conglomerados de color gris claro están formados principalmente por clastos de rocas volcánicas incluidos en una matriz arenosa; las areniscas de color gris claro son de grano grueso. Espesor 210 m.

Miembro 1. Brechas y tobas de estratificación gruesa y color gris violáceo, con intercalaciones de lavas andesíticas de color gris oscuro. Espesor 450 m.

Total 1.050 m.

La formación Lupica tiene amplia distribución en la Precordillera del departamento, donde constituye una franja de dirección nornoroeste. En varios lugares solamente los miembros 1 y 2 aparecen representados, lo que probablemente se debe a la total desaparición de los miembros superiores, por erosión.

Extensas zonas de alteración hidrotermal se han desarrollado en rocas de esta formación, en las que están ubicados los distritos mineros de Tignamar y Belén.

En base a su posición estratigráfica y similitud litológica con unidades que afloran fuera de los límites departamentales, la formación Lupica se asigna tentativamente al Cretácico Superior y Terciario Inferior. El miembro 4 de esta formación tiene similitud litológica y estructural con los estratos de Quiburcanca ubicados en la zona de la Puna en la parte sur del departamento y con la formación Putani (Henríquez, 1963, p. 18). Esta unidad tiene también similitud litológica con las formaciones Cerrillos y Hornitos, descritas en el departamento de Copiapó (Segerstrom y Parker, 1959, p. 9-14). La edad asignada a las unidades con las cuales la formación Lupica se relaciona es cretácica superior-terciaria inferior.

FORMACIÓN PUTANI (Oligoceno?). La formación Putani está constituida por una secuencia de areniscas y lutitas de color gris verdoso a gris amarillento, de carácter continental, con restos de plantas fósiles, e intercalaciones de tufitas, travertinos y tobas. La sección tipo de esta unidad se encuentra en la ribera oriental del río Putani, cerca de la estación Visviri del ferrocarril de Arica a La Paz, en la zona de la Puna, de aquí el nombre de la formación.

La base de la unidad se desconoce por lo que su espesor se ha medido solo parcialmente; su techo está en discordancia angular con la formación Oxaya de edad miocena-pleistocena. Henríquez (1963, p. 19) midió una sección de la formación en su localidad típica, obteniendo un espesor de 535 m.

Rocas sedimentarias similares a las de la formación Putani se encuentran en la región del río Quiburcanca, afluente sur del río Lauca, y en las regiones de Paquiza y Pacocagua en el Altiplano chileno.

La formación Putani ha sido correlacionada con la formación Arcillas de Chacarilla del grupo Coro-Coro, en Bolivia, al que se atribuye una edad oligocena-miocena (Ahlfeld y Branisa, 1960, p. 130). Los autores piensan que, tomando en consideración que esta unidad se encuentra penetrada

por grandes filones de pórfido cuarífero, los que a su vez habrían originado las ignimbritas de la formación Oxaya de edad miocena-pliocena, la formación Putani podría ser asignada al Oligoceno.

FORMACIÓN AZAPA (Oligoceno-Mioceno?). Se designa con el nombre de formación Azapa a una secuencia de conglomerados continentales de color marrón a gris verdoso, medianamente consolidados, que se dispone discordantemente sobre las formaciones mesozoicas y que subyace, también con discordancia, a la formación Oxaya. La sección tipo de esta unidad, fue estudiada en el curso medio de la quebrada Azapa; secciones similares se encuentran expuestas en los cursos medios de los ríos Lluta, Camarones y quebrada Vítor.

La formación Azapa está compuesta, de arriba hacia abajo por:

- Conglomerado fino de color gris verdoso, poco consolidado, cuyos rodados bien redondeados varían de pocos centímetros hasta unos 8 cm; la matriz es arenosa con gran cantidad de granos de cuarzo. Espesor 60 m.
- Conglomerado grueso de color marrón claro, medianamente consolidado, con intercalaciones lenticulares de areniscas y limolitas del mismo color. Los rodados son bien redondeados y varían de 5 a 30 cm de diámetro; están incluidos en una matriz arenosa y limosa con gran cantidad de granos de cuarzo y corresponden a clastos de andesitas (49% en volumen), rocas intrusivas (19%), rocas metamórficas (8,5%), cuarcita (6,5%), tobas (5,5%), sedimentos finos (3,5%) y areniscas (3%). Espesor 450 m.

Total 510 m.

Las rocas de esta formación inclinan entre 3 y 8 grados al oeste; también se observa un acuñamiento de los sedimentos hacia el oeste, causado por la forma de la cuenca de depositación y una disminución de la granulometría; en la Cordillera de la Costa las rocas de esta unidad están compuestas en su mayor parte por areniscas, limolitas y arcillolitas. Se ha observado que esta formación presenta cambios de facies hacia el oeste y en sentido norte-sur. Los afloramientos de esta formación están expuestos preferentemente en la zona de la Pampa en los flancos de los valles principales del departamento.

Esta unidad está dispuesta discordantemente sobre las rocas mesozoicas de los grupos Arica y Vilacollo y subyace discordantemente a la formación Oxaya de edad miocena-pliocena. Las rocas de esta formación presentan gran similitud litológica con rocas de la formación Moquegua (Adams, 1906, en Hoffstetter y Rivera, 1956, p. 65) de edad oligocena-miocena, por lo que en consideración a esta correlación litológica y a sus relaciones estratigráficas, los autores asignan, en forma tentativa, una edad oligocena-miocena, a la formación Azapa.

FORMACIÓN OXAYA (Mioceno-Plioceno). Se designa con el nombre de formación Oxaya a una secuencia de tobas ignimbríticas, con intercalaciones de sedimentos continentales, que constituye una extensa cubierta en el departamento de Arica. Su localidad típica es la Pampa de Oxaya. Esta unidad se dispone discordantemente sobre la formación Azapa y rocas más antiguas; su techo está marcado por una colada de ignimbrita, cuya disposición coincide, generalmente, con la topografía actual de la región.

La formación Oxaya de amplia distribución en el departamento, presenta grandes variaciones litológicas laterales y verticales, por lo que se hace necesario considerar separadamente su desarrollo en la parte oriental y occidental de la región.

En la región oriental, que comprende la zona cordillerana y precordillerana, la formación Oxaya está compuesta por tobas ignimbríticas y, en menor proporción, por andesitas. Allí, especialmente en la zona de la Precordillera, se distinguen tres miembros.

Miembro Superior: Tobas ignimbríticas de colores blanco amarillento a marrón claro, de composición riolítica a dacítica, que presentan diferentes grados de compactación y soldamiento. Las tobas soldadas son generalmente muy compactas, con textura fluidal y ordenación subparalela de los clastos de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola; contienen abundante vidrio, microlitas de feldespatos y en menor proporción cristales de zircón y magnetita. Espesor aproximado* 700 m.

Miembro Medio: Gruesas capas de brecha de color gris blanquecino a rosáceo, constituida por fragmentos subangulares de ignimbritas y andesitas de hasta 25 cm de diámetro, con intercalaciones de arenisca tobácea de color gris blanquecino, compuesta por granos de cuarzo, plagioclasa y mica en una matriz de ceniza volcánica y tufita de color rosáceo con fragmentos de piedra pómez. El espesor del miembro se estima en 250 m.

Miembro Inferior: Mantos de andesita de 5 a 10 m cada uno, de color gris a gris rojizo, con intercalaciones de tobas ignimbríticas y cenizas volcánicas. Al microscopio, la andesita corresponde a una roca porfírica de masa fundamental traquítica y fenocristales de oligoclasa y hornblenda. La ignimbrita, de textura fluidal corresponde a dos tipos: uno de color blanco grisáceo con abundante vidrio y muscovita y el otro de color rosáceo con fragmentos de cristales de cuarzo, feldespato y muscovita. La ceniza volcánica está compuesta por fragmentos de cristales de cuarzo, plagioclasa, muscovita y minerales oxidados de hierro. Espesor estimado 140 m.

Total 1.090 m.

* En la región occidental del departamento, que comprende las zonas de la Pampa y de la Costa, este miembro está compuesto principalmente por los flujos ignimbríticos del miembro superior con intercalaciones de areniscas y limolitas tobáceas, que cubren la mayor parte de estas zonas. En el valle de Azapa, a 20 km al este de la costa, su espesor se estima en 200 m.

La formación Oxaya se dispone discordantemente sobre la formación Azapa de edad oligocena-miocena y sobre gran parte de las rocas más antiguas de la región; en las zonas de la Precordillera y de la Puna subyace discordantemente a la formación Huaylas de edad cuaternaria, y en la zona de la Costa también subyace discordantemente a la formación Concordia del Pleistoceno. La edad de esta unidad ha sido tentativamente asignada por diferentes autores como variable entre miocena y pleistocena. Ultimamente se han efectuado determinaciones por métodos radiométricos (potasio-argón), en muestras provenientes de ignimbritas de los niveles superiores de la formación Oxaya y de estratos ignimbríticos en los departamentos de Iquique y Antofagasta. Las edades resultantes varían entre 18,7 millones de años y 2,9 millones de años; por lo tanto los autores señalan para la formación Oxaya una edad pliocena que puede alcanzar al Mioceno.

FORMACIÓN HUAYLAS (Pleistoceno?). Se designa con el nombre de formación Huaylas a una secuencia sedimentario-volcánica continental, que ha rellenado depresiones especialmente en las zonas de la Precordillera y de la Puna; su localidad típica es quebrada Huaylas ubicada en las inmediaciones del pueblo de Alcérreca, estación del ferrocarril de Arica a la Paz.

En esta unidad se distinguen tres miembros:

Miembro Superior: Tobas riolíticas y tufitas de color blanco amarillento a marrón muy claro, con fragmentos de piedra pómez. Hacia la parte superior de este miembro existen, en algunos lugares, capas delgadas de conglomerados finos a medios, de rodados redondeados a subredondeados de ignimbritas de hasta 20 cm de diámetro, cementados con minerales de manganeso. Espesor estimado 60 m.

Miembro Medio: Areniscas, limolitas y arcillas de colores gris blanquecino a rojo amarillento con intercalaciones de delgados lentes de diatomitas. La arenisca es de grano medio, con granos subangulares de feldespatos, fragmentos líticos y cantidades subordinadas de cuarzo y mica cementados con óxidos hidratados de hierro. Espesor aproximado 80 m.

Miembro Inferior: Conglomerados poco consolidados, de color marrón rojizo, con rodados de riolitas y andesitas, redondeados a subredondeados de tamaños que varían entre 3 y 15 cm, incluidos en una matriz arenosa. Espesor estimado 80 m.

Total 220 m.

Las rocas de esta unidad cubren alrededor del 40% de la zona de la Puna, con una disposición prácticamente horizontal. En su localidad típica, esta unidad tiene gran similitud litológica y estructural con los estratos de la

formación Allane (Henríquez, 1963, p. 35) para los que se ha asignado tentativamente una edad pleistocena. Esta formación está dispuesta discordantemente sobre la formación Oxaya de edad miocena-pliocena y también discordantemente sobre las rocas del grupo Chapiquiña; su techo constituye la superficie de erosión actual. En base a sus relaciones estratigráficas se ha asignado tentativamente una edad pleistocena a las rocas de esta unidad, aunque es probable que ella alcance hasta el Plioceno Superior.

FORMACIÓN CONCORDIA (Cuaternario). Se propone este nombre para designar a la unidad constituida por los sedimentos que forman una terraza marina que se extiende desde Arica al norte, pasando por la zona de La Concordia o límite chileno-peruano. La terraza se ensancha hasta 9 km en el límite internacional y continúa en territorio peruano. Esta formación está limitada al oeste por el mar y al este por un escarpe de dirección aproximada norte-sur constituido por rocas de las formaciones Azapa y Oxaya. Esta unidad presenta una suave inclinación hacia el oeste.

La formación Concordia está compuesta por materiales de relleno, de origen continental y marino; ellos consisten principalmente en aluvio y arenas con intercalaciones de arcilla, ceniza volcánica y horizontes de conchas, estos últimos están localizados en la parte superior de la formación y en las cercanías de la costa. Los rodados del aluvio, de formas bien redondeadas, varían en tamaño desde pocos centímetros a bolones y están compuestos en gran parte por materiales de los volcanes cuaternarios y de las rocas más antiguas de la región. Los rodados contiguos a los horizontes de conchas tienen formas aplanadas características de sedimentos de playa.

La sección Aguas Subterráneas de la Corporación de Fomento de la Producción, ha desarrollado un plan de perforaciones en los sedimentos de esta unidad; algunos de los sondajes que alcanzaron más de 300 m de profundidad, llegaron hasta rocas mesozoicas del grupo Arica, otros atravesaron rocas de las formaciones Azapa y Oxaya. En base a los perfiles de estos sondajes es posible distinguir tres miembros estratigráficos en esta formación: un miembro superior de 30 a 40 m de espesor, compuesto por arena con intercalaciones de capas delgadas de arcillolitas, conglomerado medio poco consolidado y horizontes de conchas; un miembro medio de unos 40 m de espesor, constituido por ceniza volcánica con intercalaciones de capas de arena, arcillolitas y ripio de bolones; y un miembro inferior de aproximadamente 120 m de espesor, constituido por arenas con intercalaciones de capas delgadas de arcillolitas y conglomerado medio a grueso poco consolidado. El espesor mínimo aproximado de la unidad es de 200 m.

Por los antecedentes obtenidos de los sondajes, que señalan un aumento de espesor de la unidad hacia el norte, suponemos que esta formación se

dispone discordantemente sobre las unidades Azapa, Oxaya y grupo Arica; el techo de la formación corresponde a la superficie de erosión de la terraza. En consideración a sus relaciones estratigráficas y características litológicas se ha asignado a esta formación una edad cuaternaria.

ROCAS VOLCÁNICAS CUATERNARIAS. Bajo esta denominación se incluyen todas las rocas volcánicas provenientes de erupciones modernas y aquéllas que forman conos volcánicos bien desarrollados; estas rocas afloran en la región cordillerana, preferentemente en la Cadena Oriental de la Cordillera de los Andes.

La composición petrográfica de las rocas volcánicas cuaternarias es principalmente de carácter andesítico y traquiandesítico, de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasas de hasta 3 cm o más de largo.

Los conos volcánicos principales constituyen la línea fronteriza con Bolivia en el lado oriental del departamento; entre los más prominentes se pueden citar, de norte a sur: Pomerape (6.240 m), Parinacota (6.320 m), Acotango (6.050 m), Arintica (5.590 m) y Puquintica (5.760 m); otros conos volcánicos, tales como el Chupiquiña (5.787 m), Tacora (5.988 m), Taapaca (5.815 m) y Cerro Márquez (4.960 m), están presentes en la Cadena Occidental del departamento. Algunos volcanes poseen fumarolas y azufreras entre los que se pueden citar de norte a sur: el Chupiquiña, Tacora, Chuquiananta, Caracarani, Taapaca, Guallatiri, Puquintica, Arintica y otros. Los afloramientos de esta unidad corresponden a diferentes períodos de actividad volcánica, por lo que se ha asignado a ella una edad cuaternaria.

ROCAS INTRUSIVAS

En el departamento de Arica existen afloramientos relativamente extensos de rocas intrusivas que varían de granito a gabro. Ellas se distribuyen principalmente en las zonas de la Costa, valles profundos de la Pampa y en la Precordillera.

Sin embargo la discontinuidad areal de muchos de estos afloramientos, variaciones petrográficas que ellos presentan y, en muchos casos, los pocos antecedentes que se tienen de sus relaciones exactas con las rocas estratificadas, impiden reconocer y separar en forma precisa los diferentes ciclos plutónicos que ellos pudieran representar. Por este motivo, se ha preferido individualizar con nombres locales los cuerpos intrusivos de mayor extensión. En base a la información disponible hasta el momento, se pueden distinguir rocas intrusivas de edad precretácica e intrusiones de edad cretácica superior a terciaria inferior.

En orden decreciente de edad, se describen los siguientes cuerpos intru-

sivos: Gabro Mal Paso (Prejurásico Medio), Granodiorita de Camarones (Jurásico Superior), Diorita de Lluta y rocas intrusivas asociadas (Cretácico Superior a Terciario Inferior?), Diorita de Chapiquiña (Terciario Inferior) y Pórfidos Cuaríferos de probable edad terciaria inferior o media.

GABRO MAL PASO. Cuerpo intrusivo que aflora en quebrada Mal Paso, ubicada a unos 16 km al sureste de Arica, varía en cuanto a su composición mineralógica entre granodiorita y gabro, predominando este último tipo de roca.

El gabro es de color gris a marrón oscuro, de grano grueso, textura hipidiomorfa granular con cristales subhedrales de hasta 3 mm de diámetro, y contiene un 35% en volumen de plagioclasa (labradorita) y un 10% de constituyentes accesorios menores de magnetita y cuarzo intersticial.

La granodiorita es de color gris claro a gris oscuro y su textura es hipidiomorfa granular con cristales subhedrales y anhedral de hasta 3 mm de diámetro, consistentes en andesina (40% en volumen), ortoclasa (20%), augita y hornblenda (20%), cuarzo (15%), y minerales accesorios, principalmente magnetita (5%).

Los afloramientos del intrusivo Mal Paso están expuestos en la zona de la costa, en algunos lugares de quebrada Mal Paso, Punta Madrid y en un pequeño afloramiento ubicado a unos 5 km al este de Caleta Vitor. Sus relaciones de contacto con las rocas estratificadas no son concluyentes; por lo general se le encuentra intruido por microgranito. El afloramiento de quebrada Mal Paso, en las inmediaciones de la mina Santa Isabel de Pampa Chaca, parece estar subyacente en relación a rocas del grupo Arica. En tres muestras de esta unidad intrusiva, se han efectuado determinaciones de edad por el método plomo-alfa, edades que varían entre 145 a 160 millones de años. A pesar de que estos datos cronológicos han sido tomados con cierta reserva, debido a que la contaminación de microgranito pudo haber alterado el resultado de estas determinaciones radiométricas, se ha asignado tentativamente una edad prejurásica media a este intrusivo.

GRANODIORITA DE CAMARONES. Bajo este nombre se incluye un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica, que aflora en la quebrada de Camarones y que se extiende desde unos 2 km al oeste de Cuya, hasta unos 15 km al noroeste de esa localidad. Los afloramientos de este cuerpo intrusivo no son continuos, el más extenso de ellos tiene 4 km de longitud.

La granodiorita es de color gris oscuro, de textura granular de grano medio, compuesta por cristales de feldespato, cuarzo y minerales ferromagnesianos de hasta 3 mm. Al microscopio se observa que corresponde a una roca constituida principalmente por cristales subhedrales de oligoclasa (63%

en volumen), cuarzo intersticial (12%), anfíbola (9%), ortoclasa en forma de micropertita (5%), piroxena (5%) y biotita (5%); los constituyentes accesorios son magnetita, apatita y zircón.

En quebrada Camarones esta granodiorita se encuentra intruyendo la formación Camaraca de edad bajociana a caloviana; sobre este intrusivo se disponen discordantemente, conglomerados, brechas y areniscas rojizas continentales, que se han asignado a la formación Atajaña de edad cretácica inferior. Los conglomerados de esta unidad contienen clastos de la granodiorita de Camarones. La edad relativa de este intrusivo es por lo tanto postcaloviana precretácica inferior.

A una muestra de este intrusivo se le hicieron determinaciones de edad por diferentes métodos radiométricos, que dieron los siguientes resultados (Levi *et al.*, 1963, p. 23):

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Método plomo-alfa | — 130 ± 20 millones de años |
| 2. Método rubidio-estroncio en biotita | — 140 ± 5 millones de años |
| 3. Método potasio-argón en biotita | — 150 ± 7 millones de años |
| 4. Método potasio-argón en hornblenda | — 143 ± 5 millones de años |

Estas edades radiométricas confirman que se trata de un intrusivo de edad jurásica superior.

En Pampa Camarones, a unos 10 km al noreste de Punta Madrid, existen dos afloramientos de granodiorita que podrían corresponder a este mismo ciclo intrusivo; allí la granodiorita intruye la formación Camaraca y tiene una extensión de aproximadamente 5 km de longitud.

DIORITA DE LLUTA. El plutón que aquí se denomina Diorita de Lluta se extiende por aproximadamente 20 km desde la confluencia del río Lluta con la quebrada Palmani hacia el este; varía en composición entre granito, granodiorita y diorita, predominando esta última.

El granito es de color gris claro, de textura granular de grano medio y está compuesto por cristales de cuarzo, feldespato y minerales ferromagnesianos de hasta 3 mm de diámetro. Bajo el microscopio se observa que su textura es hipidiomorfa granular y que está compuesta principalmente por cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, muscovita y anfíbola; apatita, minerales opacos y zircón son los minerales accesorios menores. La ortoclasa se presenta en cristales subhedrales levemente alterados a sericita, clorita y epidota. El cuarzo es anhedral. La plagioclasa que corresponde a oligoclasa-andesina se presenta en cristales subhedrales algo alterados a sericita y clorita. La anfíbola, por lo general, está alterada a clorita.

La granodiorita es de color gris claro a medio, de textura granular de grano medio y está compuesta por plagioclasa, ortoclasa, cuarzo y minerales ferromagnesianos de hasta 5 mm de diámetro. Al microscopio se observa que su textura es hipidiomorfa granular y que está constituida principalmente por plagioclasa, ortoclasa, biotita, anfíbola, esfeno y cuarzo; zircón, apatita y minerales opacos son los minerales accesorios menores. La plagioclasa corresponde a oligoclasa-andesina en cristales subhedrales de hasta 5 mm, alterados a sericitita; la ortoclasa se presenta en cristales anhedral y en parte como micropertita; el cuarzo en cristales anhedral y en mirmeckitas de 0,04 a 2 mm; la biotita, subhedral, en cristales de 0,04 a 1,5 mm algo alterados a clorita; la anfíbola corresponde a hornblenda en cristales subhedrales de tamaño variable entre 0,06 a 1,6 mm; el zircón y los minerales opacos se presentan en cristales euhedrales y subhedrales respectivamente.

La diorita es de color gris medio a gris oscuro, de textura porfírica, masa fundamental granular fina y está compuesta por cristales de feldespato y minerales ferromagnesianos; los fenocristales de plagioclasa alcanzan hasta 5 mm de diámetro. Al microscopio se observa que la masa fundamental es intergranular, constituida principalmente por cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita de hasta 0,5 mm; los minerales accesorios son apatita, cuarzo secundario y minerales opacos. Los fenocristales corresponden a andesina cálcica y se presentan en cristales subhedrales alterados a sericitita; fenocristales de hornblenda y biotita de formas subhedrales alcanzan hasta 3 mm.

El intrusivo de Lluta en su lugar típico, se presenta intruyendo rocas de los grupos Arica y Vilacollo, produciendo una extensa zona de metamorfismo de contacto en esas rocas; subyace discordantemente a la formación Oxaya.

En los alrededores del aeropuerto El Buitre, a unos 3 km al sursureste de Arica, un apófisis de diorita porfírica que podría pertenecer al mismo ciclo intrusivo, está intruyendo a la formación Los Tarros, de edad oxfordiana y a la formación Atajaña, de edad neocomiana. Otros pequeños afloramientos de esta diorita existen a 17 y 22 km al este de Arica, en el flanco sur de la quebrada Azapa, en quebrada Cardones, en donde la diorita está aflorando en una distancia de 10 km a ambos lados de la quebrada y en Taltape, río Camarones, a unos 38 km al estenoreste de la localidad de Cuya.

El plutón diorítico de Lluta intruye rocas del Jurásico Superior y rocas del Cretácico Inferior, por esta razón la edad relativa que se le puede asignar a este plutón es postcretácica inferior y podría corresponder a una fase intrusiva del Cretácico Superior o aun del Terciario Inferior.

A este plutón diorítico de Lluta estaría relacionado el primer y principal período de mineralización en el área del departamento.

MICROGRANITO. Filones de microgranito están intruyendo a la diorita de Lluta y parecen haber sido originados por soluciones magmáticas residuales del mismo intrusivo. Un tipo similar de microgranito intruye al gabro en la zona de la costa.

El microgranito es de color rosado claro a blanco, de textura afanítica con pequeños cristales de ortoclasa y cuarzo. En parte es porfírico con fenocristales de albita u oligoclasa de menos de 2 mm. Al microscopio se observa que corresponde a una roca de textura alotriomorfa granular con cristales entrecrecidos de cuarzo y ortoclasa y algunos cristales subhedrales de hornblenda y biotita. Se puede observar bajo el microscopio, que el cuarzo y la ortoclasa presentan textura gráfica.

En quebrada Mal Paso, el microgranito intruye al gabro que allí se presenta y a las lavas de la formación Camarca, de edad caloviana. En Azapa, esta roca intrusiva está penetrando a una diorita, correlacionable con la diorita de Lluta. En Punta Madrid, el microgranito está intruyendo un cuerpo de gabro y se ha mezclado en tal proporción con él, que éste ha perdido sus características originales y presenta una apariencia de pórfido con una masa fundamental muy fina de cuarzo y ortoclasa, cuyos fenocristales son de labradorita y piroxena.

Tomando en consideración que este intrusivo penetra al gabro de edad jurásica media y a la diorita de Lluta de edad cretácica superior, se ha asignado al microgranito también, una edad cretácica superior.

PEGMATITAS. La diorita de Lluta está intruida por varios filones pegmatíticos en las inmediaciones de la mina Jamiralla, en el curso medio del valle de Lluta. La forma y espesor de estos filones es bastante variable; el mayor espesor observado es de unos 8 m. La pegmatita típica es de color blanco crema y está constituida principalmente por cristales de cuarzo y plagioclasa; como constituyentes accesorios menores posee cristales de biotita, esfeno, calcita y minerales opacos. El cuarzo se presenta en cristales anhedral de 1 a 2,5 mm de diámetro de extinción ondulosa; la plagioclasa sódica aparece en cristales subhedrales de hasta 8 mm. El esfeno y la calcita forman cristales de 0,02 a 0,4 mm y los minerales opacos presentes son molibdenita y rutilo. Se ha asignado tentativamente a las pegmatitas una edad cretácica.

DIORITA DE CHAPIQUIÑA. La diorita de Chapiquiña es un macizo intrusivo que aflora en el camino de subida al portezuelo de Chapiquiña y que se extiende en una franja de dirección aproximada nornoroeste entre los pueblos de Putre y Tignamar, en la zona de la Precordillera. Sus afloramientos son discontinuos; el más extenso de ellos está ubicado entre los pueblos de Putre y Socoroma, donde tiene una longitud de aproximadamente 10 km.

Otros afloramientos de esta diorita, en forma de pequeños stocks, se presentan al este de los villorios de Chapiquiña, Belén, Saxamar y Tignamar.

La diorita es de color gris azulado, de grano fino, en parte porfírica, constituida por plagioclasa y minerales ferromagnesianos. Bajo el microscopio se observa que corresponde a una roca con textura porfírica y masa fundamental intergranular, constituida por plagioclasa, piroxena y minerales opacos; los fenocristales son de plagioclasa y piroxena. La plagioclasa corresponde a oligoclasa; algunos cristales presentan estructura zonal, sus tamaños alcanzan hasta 1,2 mm. Los fenocristales de piroxena, de hasta 1,3 mm, corresponden a hiperstena. En todos sus afloramientos en la Precordillera, la diorita de Chapiquiña aparece intruyendo los miembros inferiores de la formación Lupica, de edad cretácica superior-terciaria inferior. En base a esta relación estratigráfica, este cuerpo intrusivo se ha asignado al Terciario Inferior.

PÓRFIDOS CUARCÍFEROS. En la zona de la Precordillera y Cordillera del departamento, existen rocas intrusivas representadas por filones de pórfidos cuarcíferos. Estos filones de dirección predominante norte se habrían originado por el ascenso de un magma silíceo, a través de grietas preexistentes. El magma, probablemente, en parte se derramó en la superficie, originando algunos de los materiales riolíticos de la formación Oxaya, y en parte solidificó a poca profundidad, formando cuerpos hipabisales.

La roca es de color blanco amarillento rosáceo, de estructura porfírica, su composición petrográfica corresponde a una riolita; posee una gran proporción de sílice y está compuesta por fenocristales de cuarzo, feldespato y biotita, en menor proporción se observan cristales de minerales opacos.

Estos filones abundan en la zona precordillerana y generalmente sus afloramientos están relacionados a extensas zonas alteradas; tienen decenas de metros de ancho y algunos de ellos varios kilómetros de longitud. Intruyen a la formación Lupica, de edad cretácica superior a terciaria inferior y a la diorita de Chapiquiña, a la que se asigna una edad terciaria inferior. La estrecha relación estructural que une a estos filones con la formación Oxaya, de edad miocena-pleiocena, han sido los antecedentes básicos para asignarles tentativamente una edad miocena-pleiocena.

ESTRUCTURA

Los movimientos tectónicos que afectaron a la región del departamento de Arica, produjeron diversos tipos de fallas, pliegues, flexuras, diaclasas y discordancias. Gran parte de estas estructuras tienen carácter regional con marcada dirección nornoroeste; como excepción a la regla, en la zona de la

Costa se observa que unidades litológicas del Jurásico y Cretácico se encuentran afectadas por fallas de dirección aproximada este-oeste.

En el mapa geológico del departamento, que acompaña a este informe, se han indicado: fallas, pliegues, flexuras, diaclasas y discordancias, estas últimas están representadas en el perfil A-A' del mismo mapa. Como rasgo estructural notable hemos observado la ausencia casi total de pliegues en las rocas mesozoicas de las zonas de la Costa y de la Pampa, aumentando este tipo de estructura gradualmente hacia la Precordillera, en donde tiene su máximo desarrollo.

FALLAS Y FLEXURAS.

Las rocas jurásicas y cretácicas en la zona de la Costa tienen una posición monoclinial muy constante, de rumbo aproximadamente norte e inclinación al este de alrededor de 30°. Estas rocas fueron afectadas por fallas antiguas, desarrollando un conspicuo sistema de bloques; se ha estimado que el desplazamiento vertical de algunas de estas fallas, excede los 1.000 m; superficialmente se las puede ubicar por varios kilómetros. Fallas escalonadas posteriores a las anteriormente citadas, de dirección general nornoroeste, desarrollaron cuencas tectónicas, de preferencia en la zona de la Pampa, las que fueron rellenadas y niveladas por las formaciones Azapa y Oxaya. Es probable que estas cuencas claramente evidenciadas en el departamento de Arica, existan también bajo la cubierta terciaria en gran parte de la Pampa del norte chileno. El acantilado que limita hacia el oeste la Cordillera de la Costa, es probablemente consecuencia de movimientos tectónicos que produjeron una gran falla, que ha dado por resultado la configuración del litoral, no sólo en la zona del departamento de Arica, sino en la mayor parte del norte del país. Según Muñoz C. (1950, p. 125), estos movimientos se habrían iniciado en el Plioceno, continuando durante el Cuaternario. Textualmente dice: "esta falla no se puede considerar una estructura unitaria, pues a juzgar por la existencia de pequeñas terrazas litorales, que aparecen en sectores aislados, su pendiente se ha dividido en varios bloques que muestran desplazamientos diferenciales, en los cuales fueron excavadas terrazas de abrasión, pero sólo en la parte donde la profundidad del mar hacía posible la acción de las olas". En el área departamental esta falla tendría un desplazamiento vertical de alrededor de 1.000 m, tomando en consideración la altura máxima que alcanza el acantilado de la costa. La reactivación de algunas fallas transversales produjo el desaparecimiento de la Cordillera de la Costa a la latitud de Arica y formó también una cuenca tectónica al norte de esta ciudad donde se depositó la formación Concordia. La reactivación de fallas nornoroeste desarrolló en el relieve de la Pampa pequeñas flexuras,

entre las más conspicuas citaremos la de la falla Taltape de rumbo $N40^{\circ}W$, que tiene un desnivel máximo de unos 50 m y se puede seguir por unos 30 km a ambos lados del lugar señalado. Otras flexuras menores de origen similar, en la zona de la Pampa, se encuentran ubicadas en las cercanías de Pocón Chile, 8 km al oeste de Pintatane, a unos 12 km al este de Cuya y en las cercanías de la mina Santo Domingo.

Una de las principales fallas de dirección nornoroeste, pasa por el lugar de Sora en el río Lluta y a unos 5 km al este de Ausipar, en quebrada Azapa. Es una falla inversa que tiene la particularidad de hacer aparecer a las rocas mesozoicas de las unidades de la costa, varios cientos de metros sobre el aluvio de las quebradas señaladas. Esta estructura, cuyos movimientos de reactivación han desarrollado una conspicua flexura en las rocas terciarias de la formación Oxaya, se puede seguir a lo largo de toda el área del departamento, continuando hacia el norte en el Perú en los lugares de San Francisco, en quebrada Palca y Calientes en el río Caplina, con efectos y características similares a los que presenta en el departamento de Arica.

El desplazamiento vertical de esta falla se ha estimado en unos 800 m como mínimo. Al este de esta estructura las fallas profundas de dirección nornoroeste se presentan en mayor número, sobre todo en la zona de la Precordillera, donde, por esta causa, se ha producido en forma brusca el alzamiento de la Cadena Occidental de los Andes. A unos 9 km al oeste de Puquios, estación del ferrocarril de Arica a La Paz, se ha desarrollado otra de las estructuras importantes del departamento, la cual consiste en una notoria flexura de rumbo nornoroeste, que se ha denominado regionalmente Sierra de Huaylillas; esta flexura tiene en la parte norte, cerca del límite con Perú, una altura de alrededor de 4.000 m. s.n.m., hacia el sur disminuye en elevación y cambia de dirección hacia el sureste. Entre la Sierra de Huaylillas y la Cadena Occidental de los Andes, se presenta la mayor densidad de fallas de dirección nornoroeste; la mayoría de ellas no han sido ubicadas en detalle, aunque sus trazas generales coinciden con conocidas estructuras del sur del Perú; es así como una falla que cruza por el portezuelo de Huaylillas en dirección al pueblo precordillerano de Putre, coincide con la falla Challaviento en el departamento de Tacna, la que a su vez es la prolongación sur de la falla Incapuquio.

Fallas menores y más modernas se encuentran ubicadas en la zona de la Puna, algunas de ellas de dirección aproximada este-oeste se hallan afectando a drenajes recientes y a los flujos de lavas de los volcanes cuaternarios.

PLIEGUES Y DIACLASAS.

El intenso fallamiento sumado al fuerte plegamiento producido en la zona precordillerana, han hecho aflorar rocas antiguas del Basamento Cristalino,

consistentes en esquistos micáceos que presentan estructuras de micropliegues imbricados, de dirección general este-oeste; estos afloramientos se localizan al este del pueblo de Belén.

Se ha citado anteriormente que una de las características estructurales notables de las unidades mesozoicas, en las zonas de la Costa y de la Pampa, es la gran uniformidad y posición monoclinial de las rocas estratificadas, las que experimentan intensificación progresiva del plegamiento hacia las zonas de la Precordillera y de la Puna. Es así como a la longitud de Humagata, en quebrada de Azapa, las rocas de la formación Sausine son afectadas por un amplio y extenso anticlinal, cuyo eje de dirección nornoroeste tiene alas que inclinan 10 y 15° al este y oeste, respectivamente. Ya en las cercanías de Livilcar los sedimentos jurásicos marinos del grupo Arica han experimentado mayor intensidad de plegamiento, encontrándose algunas de estas capas en posición casi vertical.

Las rocas estratificadas del grupo Chapiquiña han sido, en general, plegadas moderadamente en las zonas de la Precordillera y de la Puna; estas rocas en la región de Lupica poseen amplios pliegues, cuyos ejes de dirección general nornoroeste tienen alas que inclinan hasta 45° , las rocas de este grupo en la región de Quiburcanca, se encuentran suavemente plegadas por un anticlinal de eje curvo con dirección norte a nornoroeste, en la región de Putani las rocas de este grupo se encuentran también suavemente plegadas por estructuras de dirección nornoroeste.

Los materiales de la formación Oxaya, de edad miocena a pliocena en las zonas de la Costa y de la Pampa se encuentran inclinando levemente al oeste con manteo de unos 5° , inclinación que puede interpretarse como formacional. Estos materiales ignimbríticos, en la zona precordillerana, han experimentado conspicuas flexuras, que han producido un brusco cambio topográfico; estas flexuras que, como en el caso de Sierra de Huaylillas, pueden interpretarse como un amplio anticlinal, tienen su origen en el fallamiento que produjo el alzamiento de la Cordillera y a reactivaciones de fallas antiguas existentes en esa zona.

Las ignimbritas que cubren la región comprendida entre Puquios y quebrada de Huaylas, presentan dos sistemas de fracturas ortogonales (diacclasas) de dirección noreste y noroeste, respectivamente, que forman un perfecto reticulado de bloques que varían entre 1 y 4 m de arista; la inclinación de las fracturas es casi vertical y tienen 0,5 a 2 cm de abertura. Esta estructura se presenta generalmente en la superficie de todas las ignimbritas de la Precordillera, aunque con efectos menos notorios que en el lugar señalado.

DISCORDANCIAS.

Las rocas que afloran en el área están separadas por siete discordancias. La más anitgua de ellas y la menos evidente, estaría separando al plutón denominado Gabro Mal Paso, de las rocas estratificadas del grupo Arica. Las características estructurales de la región de este intrusivo permiten establecer con cierta reserva la existencia de esta discordancia, la que podrá definirse en un futuro próximo, cuando se ejecuten trabajos geológicos de detalle al sur de Caleta Vítor o en áreas litorales vecinas al departamento. Una segunda discordancia de erosión se encuentra separando rocas jurásicas del grupo Arica, de rocas neocomianas del grupo Vilacollo; esta discordancia se observa en quebrada Los Tarros y áreas vecinas, en las localidades de Millune y Larancagua, en el río Lluta y en el río Camarones, a unos 15 km al estenoreste de Cuya. Una tercera discordancia, de erosión, estaría separando rocas del grupo Vilacollo de las rocas cretácicas-terciarias del grupo Chapiquiña, en la zona precordillerana. Una cuarta discordancia, de erosión, separa rocas del grupo Vilacollo de las rocas terciarias de las formaciones Azapa y Oxaya, en el área occidental del departamento, y en el área oriental separa a rocas del grupo Chapiquiña de las rocas de la formación Oxaya y de la formación Huaylas, de edad pleistocena; esta discordancia se observa en el área occidental, en los cursos medios del río Lluta, quebrada Azapa y río Camarones y en los cursos inferiores de las quebradas de Acha y Vítor; en el área oriental esta discordancia se observa en varios lugares de la Precordillera y Cordillera, y en Quiburcanca, Choquelimpie, Pacocagua y Putani, en la zona de Puna. Una quinta discordancia, angular, separa a la formación Azapa de la formación Oxaya, en el área occidental del departamento; esta discordancia se observa principalmente en las localidades de Ausipar, en quebrada Azapa y Guancarane, en el río Camarones. Una sexta discordancia separa a las rocas de la formación Oxaya de las de la formación Huaylas, en la región oriental del departamento; esta discordancia se observa en las inmediaciones de la confluencia de la quebrada Huaylas con el río Lluta. Una séptima discordancia separa a las rocas de la formación Oxaya de los sedimentos pleistocenos de la formación Concordia, al norte de Arica.

HISTORIA GEOLÓGICA

La historia geológica del departamento de Arica se puede reconstituir sólo parcialmente desde el Jurásico Medio al Reciente. Las rocas anteriores al Mesozoico que se conocen hasta el presente, son los Esquistos de Belén, de posible edad precámbrica; probablemente estas rocas metamórficas forman parte del complejo basal que aflora en diversos lugares de la base de la Cor-

dillera de los Andes desde Arequipa al sur (Jenks, 1948; Wilson y García, 1962, p. 16). Otras rocas de características litológicas similares se observan en los contrafuertes cordilleranos de Bolivia y norte de Argentina (Ahlfeld y Branisa, 1960, p. 18).

En el Jurásico Medio (Dogger), el mar bajociano invadió el área oeste y central del departamento, depositando areniscas, lutitas y calizas intercaladas con volcanitas. El ambiente marino continuó sin interrupción hasta el Oxfordiano. Junto con la sedimentación marina se desarrolló una intensa actividad volcánica, que originó la depositación de grandes espesores de lavas, principalmente andesíticas, entre las cuales se intercalan los sedimentos marinos. Las secuencias jurásicas en la parte occidental del departamento son, por sus características litológicas, de ambiente eugeosinclinal.

La actividad volcánica, que fue especialmente intensa desde el Bajociano al Caloviano, decreció al final de esta edad; la formación Los Tarros, que se depositó a continuación, en el Oxfordiano, contiene sólo una pequeña proporción de materiales volcánicos, predominando, en cambio, areniscas y lutitas marinas. Es muy probable que la mayor parte del departamento, por lo menos desde la longitud de Livilcar hacia el oeste, haya constituido una cuenca de sedimentación marina durante el Jurásico y que representaría la parte norte del Geosinclinal Andino, que ocupa extensas regiones del territorio chileno. Esta idea está fundada en la presencia de afloramientos de sedimentos marinos de edad oxfordiana, en Livilcar en la quebrada de Azapa, y Larancagua y Millune, en el río Lluta, los que se habrían depositado en un ambiente miogeosinclinal en la parte oriental de la cuenca.

Hacia fines del Jurásico la sedimentación marina se interrumpió por el desarrollo de movimientos orogénicos, acompañados por actividad intrusiva, representada por la granodiorita de Camarones. A consecuencia de estos fenómenos, las formaciones jurásicas y más antiguas fueron deformadas y sollevadas, pasando a constituir un ambiente continental. El relieve formado fue intensamente erosionado. Sobre la superficie de denudación se acumularon simultáneamente, en el Cretácico Inferior, materiales clásticos en la parte occidental del departamento y efusivos en su parte oriental, que engranan hacia el centro de la Pampa; estos materiales representados por el grupo Vilacollo, se disponen discordantemente sobre las rocas jurásicas. Los pocos afloramientos de rocas cretácicas existentes en el área del departamento, no permiten establecer con claridad su historia geológica con posterioridad al Neocomiano. Sin embargo, aparentemente las rocas acumuladas durante esta época, fueron afectadas por movimientos orogénicos con desarrollo de plegamiento en la zona precordillerana e intrusiones graníticas, a fines del Cretácico Inferior o comienzos del Cretácico Superior. El plutón diorí-

tico de Lluta se habría emplazado en esa época. La mineralización de cobre, wolframio y molibdeno de las zonas de la Costa y Precordillera, estaría probablemente relacionada con este ciclo magmático e intrusivos menores, tales como: filones pegmatíticos, chimeneas de brecha de turmalina y cuarzo y filones micrograníticos.

La distribución y el gran espesor de los materiales volcánicos y sedimentarios continentales, que constituyen el grupo Chapiquiña de edad cretácica superior a oligocena, sugiere la existencia de una cuenca alargada de dirección aproximadamente norte, en las zonas de la Precordillera y Cordillera durante el Cretácico Superior a Terciario Medio. Los constituyentes litológicos de este grupo, que está formado por andesitas y rocas clásticas continentales, derivadas de efusiones de lavas, indica un proceso alternado de actividad volcánica y erosión. La parte alta del grupo señala una sedimentación en ambiente lacustre; la flora fósil de los sedimentos límnicos de la formación Putani pone de manifiesto que hubo un período de calma con abundante vegetación en las inmediaciones de la cuenca. Al término de la depositación del grupo Chapiquiña y probablemente en una etapa de la orogénesis infraterciaria se emplazó el intrusivo de Chapiquiña. A continuación de esta orogénesis, que incluye intenso plegamiento de las rocas existentes, tuvo lugar una acentuada peneplanización que fue interrumpida en el Terciario Medio por un período de fallamiento. Grandes fallas escalonadas que hicieron subir los bloques orientales formaron cuencas tectónicas de dirección nornoroeste, que fueron rellenadas por sedimentos continentales de la formación Azapa, de edad miocena, produciendo cierta nivelación de la superficie. Hacia el final del Mioceno y preferentemente en el Plioceno, se originaron en la Precordillera y Cordillera, enormes efusiones de materiales volcánicos riolíticos, a través de grietas de rumbo nornoroeste. Parte del líquido magmático se derramó sobre la superficie para constituir los potentes mantos de tobas soldadas y no soldadas de la formación Oxaya, y parte de él solidificó a poca profundidad, constituyendo filones de pórfido cuarcífero. Este intenso volcanismo cubrió una extensa área del departamento, produciendo finalmente una superficie topográfica casi plana. A fines del Plioceno y/o en el Pleistoceno Inferior, esta cubierta volcánica y en parte sedimentaria continental fue afectada por un fuerte tectonismo que consistió principalmente en el alzamiento diferencial de bloques a lo largo de grandes fallas de dirección nornoroeste, originando los rasgos morfológicos actuales del departamento. Durante este tectonismo las grandes fallas que afectaban a las rocas subyacentes de la formación Oxaya fueron reactivadas, manifestándose este fenómeno en la superficie en forma de flexuras y fallas que se presentan en la cubierta ignimbrítica. Una de ellas, que corresponde a la Sierra de Huaylillas, formó un embalse natural a los pies de la Precordillera,

otra formó, mediante alzamiento, la Cadena Occidental de la Cordillera de los Andes la que a su vez produjo la cuenca del Altiplano o zona de la Puna; ambas cuencas fueron rellenadas parcialmente por los sedimentos lacustres con diatomitas que constituyen la formación Huaylas de edad pleistocena. Contemporáneamente a este tectonismo de bloques, se produjo el fallamiento de la Costa, hundiéndose bajo el mar una extensa zona de la parte occidental del departamento.

Hacia el final del Pleistoceno se produjo un intenso período de actividad volcánica en la Cordillera, el cual se prolongó hasta el Reciente; este volcanismo caracterizado físicamente por conos volcánicos, ha dado configuración definitiva a las cadenas montañosas de los Andes, de preferencia a la Cadena Oriental de la cordillera en el departamento. A este ciclo volcánico se le ha denominado con el nombre de Rocas Volcánicas Cuaternarias. Contemporáneamente a la iniciación de este volcanismo se habría producido en la zona de la Costa la reactivación de las fallas transversales, lo que originó un descenso paulatino, hacia el norte, de la Cordillera de la Costa, desapareciendo las rocas mesozoicas a la latitud de la ciudad de Arica; ello produjo una cuenca tectónica en la zona de La Concordia, que fue rellenada por los sedimentos continentales y marinos de la formación Concordia, de edad pleistocena-holocena. Finalmente, sedimentos aluviales recientes rellenan las partes inferiores de los profundos cauces de los actuales drenajes del departamento.

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Arica existe una gran variedad de yacimientos de minerales metálicos y no-metálicos; sin embargo, la minería regional, representada por un escaso número de pequeñas faenas, tiene un desarrollo muy incipiente.

Las razones por las cuales no ha habido un mayor desarrollo minero son varias. En lo que se refiere a la explotación de metales básicos, cobre, plomo, zinc, etc., debe señalarse que los yacimientos conocidos son de poca extensión y, en general, ubicados en lugares de difícil acceso; éstas son, sin duda, las razones principales de que no se haya realizado una explotación más intensa. Los yacimientos de minerales no-metálicos: azufre, kieselghur, dolomita, etc., son, en general, de tamaño relativamente grande, siendo el factor limitante principal para su desarrollo las condiciones de mercado, tanto interno como internacional. Existe en el departamento una definida y extensa mineralización de manganeso de baja ley que es necesario evaluar en forma sistemática como primer paso para determinar la factibilidad de su explotación comercial.

La actividad minera en el departamento de Arica habría comenzado durante la Colonia, pero no existen informaciones sobre el desarrollo alcanzado en esa época.

En el año 1888 se iniciaron las faenas de extracción de azufre, produciéndose las primeras 22 toneladas en las azufreras del volcán Tacora; desde entonces la producción de azufre ha sido relativamente continua, notándose en promedio un marcado aumento.

Otra faena minera de importancia regional ha sido la explotación del distrito minero de Choquelimpie, cuyos yacimientos de plata y oro fueron intensamente trabajados desde antes de 1913 hasta 1927, año en que se paralizó definitivamente su explotación.

En 1946 se inició la explotación del yacimiento de dolomita de Las Riveras, actividad que continúa hasta el presente.

Otras producciones mineras han provenido de la explotación esporádica y en pequeña escala de yacimientos de plomo, zinc, kieselghur y manganeso.

En la actualidad la actividad minera más importante corresponde a la explotación del yacimiento cuprífero de Santo Domingo, ubicado cerca de Caleta Vitor, el que cuenta con una planta anexa de lixiviación para el beneficio de sus minerales.

CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE MINERALES DEL DEPARTAMENTO DE ARICA

Los yacimientos de minerales del departamento se encuentran emplazados en rocas de diversos tipos y edades.

Para facilitar la descripción de estos yacimientos se utilizará una clasificación genética, es decir, basada en la forma como se ha producido la con-

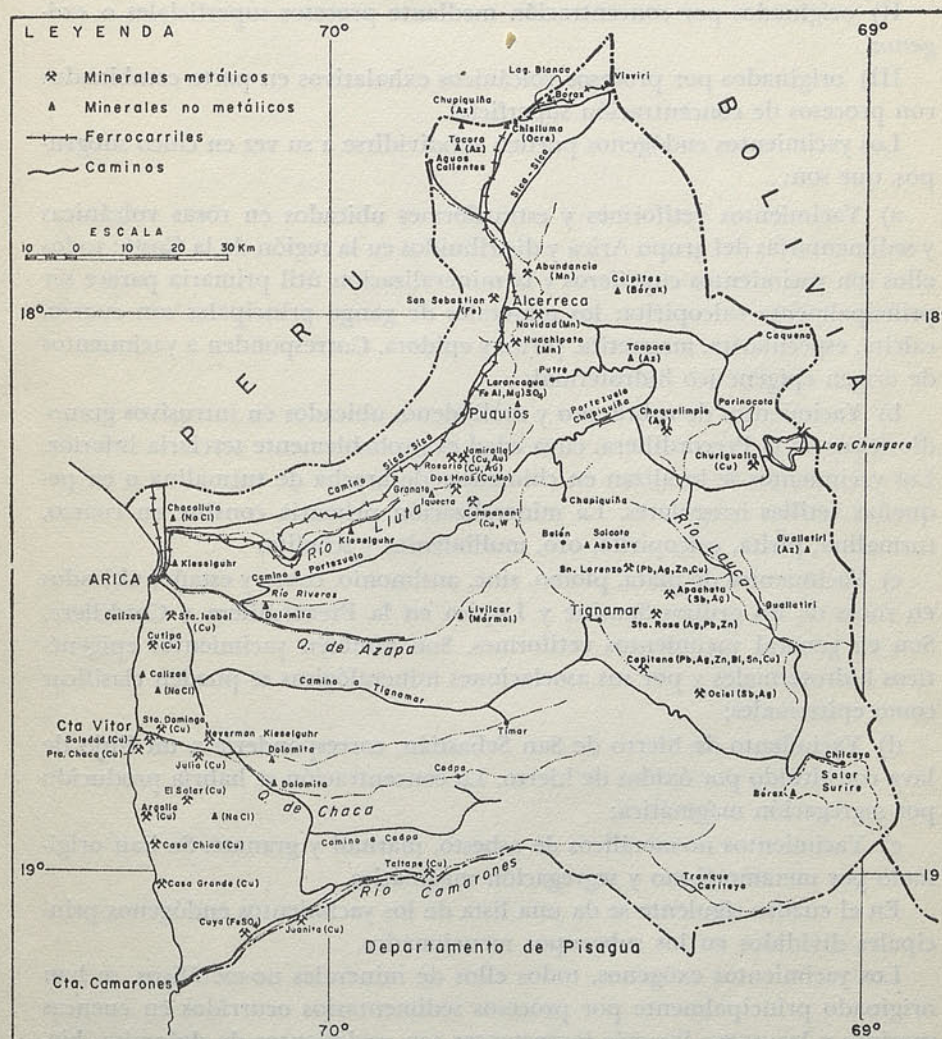


Figura 3. Mapa de ubicación de los principales yacimientos de minerales del departamento de Arica

centración de las especies útiles; además se subdividirán en yacimientos metalíferos y de minerales no-metálicos (fig. 3).

Atendiendo a su génesis los yacimientos se pueden dividir en tres grandes grupos, a saber:

I) originados por concentración mediante procesos magmáticos o *endógenos*.

II) originados por concentración mediante procesos superficiales o *exógenos*.

III) originados por procesos volcánicos exhalativos en parte combinados con procesos de concentración superficial.

Los yacimientos endógenos pueden subdividirse a su vez en cinco subgrupos, que son:

a) Yacimientos vetiformes y estratiformes ubicados en rocas volcánicas y sedimentarias del grupo Arica y distribuidos en la región de la Costa; todos ellos son yacimientos cupríferos y la mineralización útil primaria parece ser principalmente calcopirita; los minerales de ganga principales son cuarzo, calcita, especularita, magnetita, pirita y epidota. Corresponden a yacimientos de origen epigenético hidrotermal;

b) Yacimientos de cobre, oro y molibdeno, ubicados en intrusivos granodioríticos de la Precordillera, cuya edad es probablemente terciaria inferior. Los yacimientos se localizan en chimeneas de brecha de turmalina o en pequeñas vetillas irregulares. La mineralización primaria consiste en cuarzo, turmalina, pirita, calcopirita, oro, molibdenita y schelita;

c) Yacimientos de plata, plomo, zinc, antimonio, cobre y estaño, ubicados en rocas de los grupos Sausine y Lupica en la Precordillera y Cordillera. Son en general yacimientos vetiformes. Son también yacimientos epigenéticos hidrotermales y por sus asociaciones mineralógicas se pueden clasificar como epitermales;

d) Yacimiento de hierro de San Sebastián, correspondería a un flujo de lava constituido por óxidos de hierro. La concentración se habría producido por segregación magmática;

e) Yacimientos no-metálicos de asbesto, mármol y granate. Se han originado por metamorfismo y segregación magmática.

En el cuadro siguiente se da una lista de los yacimientos endógenos principales divididos en los subgrupos mencionados.

Los yacimientos exógenos, todos ellos de minerales no-metálicos, se han originado principalmente por procesos sedimentarios ocurridos en cuencas marinas y lacustres; los más importantes son yacimientos de dolomita, kieselghur y caliza. Otros provienen del escurrimiento de aguas superficiales con fuerte concentración de minerales las que han originado yacimientos por

Yacimientos endógenos del departamento de Arica

Metalíferos			No-metálicos	
Subgrupo	Mina	Mineral útil	Mina	Mineral útil
a	1. Santa Isabel	Cu		
a	2. Casa Grande	Cu		
a	3. Argolla	Cu		
a	4. Santo Domingo	Cu		
a	5. El Salar	Cu		
a	6. Taltape	Cu		
b	7. Campanani	Cu, W		
b	8. Dos Hermanos	Mo, Cu		
b	9. Jamiralla	Au, Cu		
b	10. Rosario	Au, Cu		
c	11. Choquelimpie	Ag		
c	12. Churiguaya	Cu		
c	13. Capitana	Pb, Zn, Ag, Cu, Sn, Bi		
c	14. Santa Rosa	Pb, Zn, Ag		
c	15. San Lorenzo	Pb, Zn, Ag, Cu		
c	16. Ociel y Apacheta	Ag, Sb		
d	17. San Sebastián	Fe		
e			23. Saicoto	Asbesto
e			24. Livilcar	Mármol
e			25. Iquecta	Granate

La tabla siguiente registra los principales yacimientos exógenos:

Yacimientos Exógenos del departamento de Arica (No-metálicos)

a) Sedimentarios:

Yacimiento

Calizas de la Costa.

25. Las Riveras

26. Neverman

Mineral

caliza

dolomita

kieselguhr

b) Por acción de aguas superficiales:

Yacimiento

27. Larancagua

28. Chislluma

29. Chacalluta

Mineral

sulfato de Al, Mg y Fe

sulfato de Al, Mg y Fe

sal común

deposición química o bioquímica; son yacimientos de sal común, sulfatos de Al, Mg y Fe, y de ocre.

Los yacimientos exhalativos se han derivado de exhalaciones volcánicas correspondientes al volcanismo andesítico del Terciario Superior y del Cuaternario. Algunos de ellos como los yacimientos de azufre, se han originado directamente de la actividad volcánica, mientras que en otros, como los de manganeso y de boratos, ha habido una combinación de procesos volcánicos y sedimentarios de carácter químico.

El cuadro siguiente registra los principales yacimientos de este grupo:

METALIFEROS	NO-METALICOS
Manganeso:	Azufre:
18. Navidad	20. Azufreras del Tacora
19. Húachipato	Boratos:
	21. Chilcaya.

DESCRIPCIÓN ESPECIAL DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS DE MINERALES

Se tratarán en primer término los yacimientos metalíferos y luego los no-metálicos.

YACIMIENTOS METALÍFEROS

YACIMIENTOS ENDÓGENOS.

a) YACIMIENTOS VETIFORMES Y ESTRATIFORMES DE LA REGIÓN DE LA COSTA.

Los yacimientos de este subgrupo son del tipo de relleno de fisura y de reemplazo y se presentan en vetas y mantos. Ellos son abundantes en la región de la Costa del departamento y siguen aproximadamente la dirección de las estructuras principales; están emplazados generalmente en lavas y sedimentos del grupo Arica. En general las vetas son de corta corrida, de sólo unos pocos cientos de metros; la potencia en la mayoría de los casos es de menos de un metro. Varias vetas expuestas en los acantilados de la Costa tienen más de 200 m de extensión vertical.

Ningún yacimiento tiene laboreos suficientemente profundos que alcancen la zona primaria. En algunos lugares se observan vestigios de pirita y calcopirita lo que podría indicar que ellos constituyen los minerales primarios principales. Estos minerales se encuentran reemplazados casi totalmente por calcosina o covelina, los que a su vez han sido oxidados, produciéndose atacamita, malaquita y crisocola. La mayor parte de los trabajos de explotación corresponden a la zona de minerales oxidados.

Estos yacimientos podrían corresponder al tipo mesotermal según la clasificación de Lindgren. A este grupo pertenecen las siguientes minas y cateos principales: Santa Isabel, Casa Grande, Argolla, Santo Domingo y El Salar en la zona de la Costa y Taltape en la zona de la Pampa.

1. *Santa Isabel y cateos vecinos.* La mina Santa Isabel, actualmente paralizada, está ubicada a unos 18 km en línea recta al sursureste de Arica. Las labores de exploración efectuadas en la mina se iniciaron en 1960 y corresponden a un rajo principal de unos 40 m de largo, de fondo escalonado que alcanza profundidades de 10 m y unos 2 a 2,5 m de ancho. Existen además tres cateos de dimensiones menores, distribuidos a lo largo del afloramiento de la veta.

Las rocas presentes en las inmediaciones de la mina son: el intrusivo Mal Paso y una serie volcánica andesítica. La mina Santa Isabel está localizada en una zona fracturada en la serie volcánica y adyacente al contacto noreste del intrusivo.

En la zona de fracturación se encuentran también abundantes filones de microgranito preminerales.

El yacimiento consiste en una veta lenticular de rumbo norte y aproximadamente vertical, expuesta en la superficie en una distancia de alrededor de 150 m. A pesar de que la continuidad de los afloramientos se halla interrumpida por depósitos aluviales, se puede suponer que el largo total de la zona fracturada es de unos 1.500 m. Hacia el extremo sur de esta zona se ubica la mina Soledad; ella está reconocida por un pique irregular, con características de rajo, de aproximadamente 20 m de profundidad, 15 m de largo y 5 m de ancho. La mineralización está preferentemente ubicada en delgadas vetillas de pocos centímetros de espesor, en las que se observa abundante calcosina; la proporción entre mineral y roca estéril es de aproximadamente 15 de estéril por 1 de mineral.

Los minerales principales son: atacamita, malaquita, crisocola, calcosina, cuarzo y óxidos de hierro; ellos se presentan en la roca volcánica fracturada débilmente arcillizada. La calcosina, de origen secundario, es reemplazada por atacamita que a su vez es reemplazada por crisocola y malaquita.

Para ubicar la estructura mineralizada bajo los depósitos aluviales, se sugiere hacer zanjas transversales entre las dos minas citadas.

Al noroeste de Santa Isabel y cerca de los acantilados de la costa, existe una zona de rumbo aproximadamente norte que tiene indicaciones superficiales de minerales oxidados de cobre. En esta zona, llamada Cutipa, existen cateos no mayores de 2 m de profundidad, localizados en las intersecciones de sistemas de fracturas. Los principales minerales en Cutipa son: crisocola, atacamita e indicios de calcosina.

2. *Casa Grande.* La mina Casa Grande, actualmente en explotación, está ubicada en el acantilado de la costa, a unos 50 km en línea recta al sur de Arica.

Las rocas expuestas en el área de la mina consisten en una serie de lavas con intercalaciones de sedimentos marinos, que corresponden a la formación Camaraca del grupo Arica. Las capas tienen rumbo N10° a 20°W e inclinan 20° a 25° al este. A unos 5 km al norte aflora un plutón de gabro en los acantilados de Casa Chica y Punta Madrid. Pequeños cuerpos de granodiorita y diorita afloran en los alrededores del yacimiento, aunque no se ha encontrado ningún cuerpo intrusivo en el lugar mismo de la mina. Filones lamprofíricos de hornblenda, postminerales, atraviesan las vetas. Los minerales de cobre están localizados preferentemente en dos vetas principales casi paralelas de tipo relleno de fisura, separadas por unos 100 m de distancia; tienen rumbo N15°W e inclinan 75 a 80° al este (fig. 4). Se conoce la existencia de un manto mineralizado de roca epidotizada, cuyos afloramientos a lo largo del acantilado tienen varios cientos de metros. La mineralización de las vetillas que cruzan el manto sufre difusión en él, produciéndose zonas de mineralización por reemplazo, en los lugares intersectados. Fallas postminerales desplazan mantos, vetas y filones, dificultando la interpretación estructural del yacimiento.

Los minerales principales son: atacamita, con menores cantidades de crisocola, malaquita y azurita; pequeños ojos de covelina, calcosina, calcopirita y pirita. Los minerales de la ganga consisten en epidota, cuarzo, óxidos de hierro, calcita, minerales arcillosos y clorita. La roca de caja presenta fuerte alteración hidrotermal que consiste principalmente en epidotización; los poros de gas de las lavas están parcial o completamente rellenos por epidota y calcita.

Se han laborado en la veta principal siete niveles distribuidos en una distancia vertical de 200 m. La mayoría de estos niveles están interconectados por chimeneas de formas irregulares. El nivel principal es el N° 6 que tiene alrededor de 300 m de longitud. Existen dos andariveles operados desde el lado norte de la veta, que suben el mineral a la cumbre, desde los niveles 3 y 6 respectivamente. Un tercer andarivel, operado desde el lado sur, se utiliza para subir los minerales de un manto en el que se han perforado varios socavones de unos 10 m de largo cada uno. Otros dos socavones de unos 30 m de largo se han laborado en otra veta ubicada al este de la veta principal. Trabajos de menor importancia efectuados por pirquineros se hallan distribuidos en toda el área de la mina; por estos laboreos se explotaron pequeños bolsones de minerales de alta ley.

Los trabajos de desarrollo efectuados en la mina han puesto de manifiesto la existencia de aproximadamente 15.000 toneladas de mineral de 10 a 12%

de cobre. Un mayor desarrollo de la mina depende de la realización de adecuados trabajos de exploración.

Se sugiere efectuar estas exploraciones de preferencia en las intersecciones de las vetas principales con el o los mantos. La mina está siendo continuamente estudiada y muestreada por la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) para impulsar su desarrollo.

3. *Argolla.* El yacimiento de Argolla, actualmente inactivo, se encuentra en los acantilados de la costa al sur de Caleta Vitor y a unos 40 km en línea recta al sur de Arica.

El acceso a la mina es difícil, se llega a ella bajando unos 1.000 m verticales a través de un sendero en zigzag. Hace algún tiempo se podía llegar fácilmente por mar, existía allí un pequeño y rústico embarcadero, pero debido a su destrucción sólo es posible desembarcar en los roqueríos cuando el mar es favorable.

Los primeros trabajos de que se tiene conocimiento, fueron efectuados por la Compañía Francesa Unificada durante la Primera Guerra Mundial; se laboraron en el manto principal un chiflón de unos 70 m de largo y otros trabajos menores. Se sabe también que en el año 1953, un grupo de técnicos canadienses de la Compañía Ventures Ltda. visitaron la mina, efectuándose en ese entonces algunos trabajos geológicos, cateos y muestreos.

El yacimiento está ubicado, como la mina Casa Grande, en la formación Camaraca, aunque probablemente en diferentes niveles estratigráficos. Consiste en mantos de areniscas volcánicas mineralizadas, de posición muy cercana a la horizontal con ligera inclinación al noreste.

El manto principal, localizado a unos 180 m s.n.m., se puede reconocer por aproximadamente 2 km de longitud y su espesor es de alrededor de 3 m. Los principales minerales son: calcopirita, pirita, magnetita, hematita, epidota, cuarzo y calcita; existen además calcosina y covelina en cantidades restringidas. Se aprecia una mayor concentración de minerales de cobre en la parte superior del manto principal. Un segundo manto existe a 70 m s.n.m. La mineralización de los mantos se atribuye a procesos hidrotermales epigenéticos.

Las dificultades de acceso al lugar y el bajo porcentaje de cobre de los minerales reconocidos hasta ahora en los mantos, hacen que este yacimiento se mantenga inactivo. Como consecuencia se tiene un relativo desconocimiento de sus posibilidades futuras.

4. *Santo Domingo.* La mina Santo Domingo, actualmente en desarrollo, está ubicada en el flanco norte de la quebrada Vitor, en las vecindades de la caleta del mismo nombre. El acceso al campamento de la mina desde Arica es por un camino de 35 km de largo que cruza la pampa de Chaca y que

utiliza en gran parte la Carretera Panamericana. La Empresa Nacional de Minería y el Instituto de Investigaciones Geológicas han ejecutado muestreos sistemáticos y estudios geológicos en esta mina.

Las rocas que afloran en el área de la mina Santo Domingo (fig. 5), son parte de una potente secuencia de lavas pertenecientes a la formación Camaraca, las que incluyen intercalaciones de areniscas tobíferas y calcáreas. Estas rocas tienen posición monoclinas, como puede apreciarse a lo largo de sus afloramientos en quebrada Vítor; el rumbo es aproximadamente norte e inclinan 25 a 35° al este. Apófisis de rocas intrusivas y filones postminerales atraviesan la formación; uno de los filones, petrográficamente muy similar a las lavas, se ha emplazado a lo largo de la estructura de la veta principal. Rocas de las formaciones Azapa y Oxaya, constituidas por conglomerados, arcillolitas y tobas retrabajadas, cubren el área de la pampa, sobre la mina.

El yacimiento consiste en varias vetas. La veta principal es la Santo Domingo y tiene rumbo aproximadamente norte e inclinación de 75° al este (figs. 6, 7 y 8). Ella está expuesta por unos 600 m de longitud en el flanco de la quebrada y tiene aproximadamente 1 m de potencia media; sus formas son irregulares y su estructura es la de una veta de relleno de fisura. La veta del Hito de rumbo N40°E e inclinación de 80° al oeste tiene características similares. La veta Gina de rumbo N50°W, ubicada al oeste de la veta Santo Domingo en la parte superior de la quebrada, tiene aproximadamente 1.500 m de corrida, menos de 1 m de potencia media y formas irregulares; no tiene trabajos de prospección. La veta Iván, ubicada también al oeste de la veta Santo Domingo, es una pequeña veta de rumbo N20°E y vertical que intersecta a otra veta de rumbo N40°W e inclinación de 80° al este; ambas son de escasa potencia (máximo 20 cm), pero presentan abundante calcosina.

Indicios de calcopirita, pirita y bornita, estarían indicando que son ellos los minerales primarios principales. Los minerales supérgenos son calcosina, cuprita, "almagrado"*, atacamita, malaquita y crisocola. Los minerales de ganga son cuarzo, calcita, óxidos de hierro, yeso, cloruro de sodio y arcilla. Dentro de la mina se ha encontrado una ancha zona de alteración hidrotermal que se extiende en dos niveles interiores. La roca se encuentra allí brechizada, fuertemente caolinizada y algo sericitizada, con pequeñas pecas de limonita diseminada en ella; está totalmente lixiviada y tiene semejanza con material tipo "gossan" que podría contener mineralización de sulfuros a mayor profundidad.

Las labores interiores siguen la veta principal y consisten en cinco soca-

*Nombre con que se designa en Chile a una mezcla de minerales, constituida por calcosina, cuprita, hematita y óxidos hidratados de hierro.

vones localizados a una distancia vertical de aproximadamente 32 m; ellos se encuentran conectados interiormente por chimeneas. En la parte alta de la veta se excavó un pique por veta de 36 m de profundidad, que hacia su final se abre en dos labores horizontales hacia el noreste y sureste respectivamente. Hacia el oeste de la veta principal, en la veta Iván, existen antiguos trabajos que consisten en chimenas y piques en forma de zigzag. Otro trabajo efectuado últimamente consiste en un socavón de 200 m de largo, hecho en la veta del Hito. Numerosas pequeñas labores de prospección se han efectuado en las vetas del área, las que serán próximamente desarrolladas. Se ha laborado, además, un pozo de unos 25 m de profundidad para ubicar agua subterránea en el aluvio de la quebrada Vítor.

En la veta principal se ha calculado que hay 80.000 toneladas de mineral a la vista, de 3,5% de cobre y 50.000 toneladas de mineral probable*.

La Compañía Minera San Carlos, propietaria del yacimiento, está construyendo en Caleta Vítor una planta de lixiviación de minerales oxidados de cobre con el aval de ENAMI y la ayuda financiera de la Junta de Adelanto de Arica. Una cláusula del convenio suscrito por estas instituciones estipula que la planta beneficiará los minerales oxidados de los yacimientos vecinos lo que traerá consigo el aceleramiento en el desarrollo de las faenas mineras del área.

Cerca del yacimiento Santo Domingo, en quebrada Vítor, existen otras minas tales como Punta de Chaca, Soledad, Julia y Neverman, que aunque de menor importancia, poseen características similares a la veta principal de Santo Domingo.

5. *El Salar.* El distrito minero El Salar está ubicado a unos 42 km en línea recta al sursureste de la ciudad de Arica y dista unos 14 km de los acantilados de la Costa. Está localizado inmediatamente al poniente del salar de Pampa Camarones. Es accesible desde Arica por la Carretera Panamericana y un camino secundario, con un recorrido total de aproximadamente 70 km. El yacimiento pertenece a la Compañía Minera Camarones, la que ejecuta actualmente pequeños laboreos en el área.

Las rocas del distrito corresponden a una potente serie de lavas andesíticas de color pardo a gris oscuro, con intercalaciones de areniscas volcánicas calcáreas de grano fino y muestran buena estratificación (fig. 9). Estas rocas que constituyen un monoclinas de rumbo norte con inclinación de 10° a 20° al este corresponderían a la formación Camaraca.

Existen en esta zona por lo menos dos tipos de filones: a) Filones preminerales de pórfido diorítico, que contienen grandes fenocristales de horn-

*Los cálculos de tonelaje para este yacimiento han sido proporcionados por la Oficina Departamental de ENAMI y datan de 1963.

blenda de hasta 1 cm de largo; son de gran corrida y potencia, y b) Filones postminerales que cortan a los primeros y a las vetas; son del tipo lamprofírico de grano fino.

Fallas de pequeños desplazamientos afectan a vetas y filones del distrito.

Las rocas y las vetas se encuentran parcialmente cubiertas por una capa de "chuca"* de varios centímetros de espesor.

Las vetas son de corta corrida y de poco espesor; tienen 400 m de largo como máximo y menos de 1 m de ancho; en algunos lugares en que las vetas empalman se observan espesores hasta de más de 2 m.

Los principales minerales de las numerosas vetas de cobre del distrito son atacamita, malaquita y crisocola; en menor cantidad se presentan "almagrado", calcosina e indicios de pirita y calcopirita. Los minerales de ganga son cuarzo, baritina y calcita. Algunas vetas tienen en sus afloramientos abundantes óxidos de hierro pulverulentos; el color rojo ladrillo de estos óxidos es una buena indicación para la localización de nuevos yacimientos. La poca extensión de los trabajos mineros efectuados en el distrito no aportan antecedentes suficientes que permitan conocer la paragénesis primaria de la mineralización. Sin embargo, puede establecerse que las vetas son de origen hidrotermal epigenético; la cercanía de ellas al grupo Casa Grande, Argolla y Santo Domingo, parece indicar que todos estos yacimientos están relacionados al mismo período de mineralización.

Los trabajos efectuados en las vetas del distrito son relativamente recientes. En el año 1959 se excavaron 3 piques, de 12 m de profundidad cada uno, en una de las vetas principales. Posteriormente se hicieron trabajos en la veta Chacota, consistentes en un pequeño rajo inclinado de unos 7 m de largo, 5 m de ancho y unos 9 m de profundidad. Con posterioridad se han realizado varios cateos y la limpieza superficial de parte de afloramientos de las vetas.

6. *Taltape.* La mina Taltape, actualmente paralizada, está ubicada en la ladera norte de la quebrada Camarones, a unos 80 km en línea recta al sureste de Arica. Se llega al lugar por el camino que conduce a la Hacienda Camarones.

La existencia de agua durante todo el año y la posibilidad de abastecimiento parcial de víveres desde la Hacienda Camarones, facilitarían la instalación y mantenimiento de faenas mineras en este lugar.

El yacimiento consiste en una veta principal de rumbo N30°W e inclinación de 70° al noreste. Su espesor es de aproximadamente 50 cm y tiene una zona de influencia que alcanza en partes a 2 m de ancho, en la cual la roca

*Polvo fino impalpable, característico de zonas desérticas.

de caja está fracturada y alterada. Los laboreos por veta llegan como máximo a unos 3 m de profundidad; algunos trabajos se encuentran aterrados. Hacia el extremo este de la veta y a sólo unos 3 m sobre el nivel de la quebrada, se hizo un socavón de cortada de unos 60 m de largo, de dirección N60°E. Este socavón cortó en los primeros 5 m, solamente una vetilla con indicaciones de minerales oxidados de cobre. Existen en el lugar otras dos vetas secundarias, una de ellas muy cercana a la principal. El yacimiento se encuentra emplazado en una serie de rocas volcánicas constituidas por lavas andesíticas, conglomerados y tobas líticas; un pequeño apófisis diorítico intruye las rocas de esta serie. Un filón andesítico con grandes fenocristales de plagioclasa, de 1,5 a 2 m de ancho y posiblemente premineral, acompaña a la veta principal en casi toda su extensión.

Los principales minerales de cobre que se han identificado son: atacamita, crisocola, malaquita, almagrado, calcosina e indicios de pirita y calcopirita, acompañados de ganga de cuarzo.

Dados los pocos trabajos exploratorios que se han efectuado en el yacimiento no es posible apreciar su potencialidad. Es necesario investigar la veta a profundidad, sobre todo localizarla desde el socavón existente, ya que debido a una curvatura de la veta, estimamos que aún faltan algunos metros para intersectarla.

b) YACIMIENTOS DE COBRE, ORO Y MOLIBDENO DE LA PRECORDILLERA.

Estos yacimientos se encuentran localizados en chimeneas de brecha de turmalina o en fracturas irregulares en el macizo granodiorítico de Lluta, en la Precordillera del departamento de Arica. A este grupo pertenecen las minas del distrito Campanani y las minas Dos Hermanos, Jamiralla y Rosario.

7. *Campanani.* El distrito minero Campanani, actualmente inactivo, está ubicado en la pampa precordillerana de Oxaya, en el borde sur del valle del río Lluta, a una altura de 3.200 m s.n.m.

El camino al portezuelo de Chapiquiña da acceso al lugar desde Arica; la distancia desde Arica hasta la mina es de 105 km.

El distrito está localizado en el intrusivo granodiorítico de Lluta; contiene vetas y cuerpos de brecha de turmalina (fig. 10).

La veta principal, ubicada a unos 400 m al norte del cerro Campanani, tiene rumbo general N15°E y una inclinación de 85° al estsureste; su extensión es de aproximadamente 100 m y su espesor varía entre 10 y 50 cm; su forma es muy irregular. Los trabajos en la veta consisten en un chiflón inclinado hacia el sur de unos 12 m y un nivel de unos 40 m de largo. La labor más profunda es un pique de 8 m labrado desde el nivel mencionado. Hacia el norte, esta veta corta a una veta secundaria de rumbo N25°W cuyas

labores interiores están aterradas. También existen trabajos mineros de poca profundidad en unas vetas ubicadas en forma tangencial al cuerpo de brecha de turmalina del cerro Campanani.

Existen dos cuerpos de brecha aproximadamente verticales, uno de forma elíptica de unos 100 m de diámetro, ubicado en el cerro Campanani, y otro de menor dimensión y de formas más o menos rectangulares, ubicado a unos 400 m al suroeste del cuerpo principal. La brecha está formada por clastos angulares de granodiorita de 5 a 10 cm de diámetro y por una matriz constituida por turmalina, cuarzo, hematita y, en menor proporción, minerales de cobre. Los minerales útiles identificados en las vetas y en algunos lugares de la brecha de turmalina son: crisocola, atacamita, malaquita, "almagrado", cuprita, calcosina y schelita; se presentan, además, hematita (especularita), magnetita, celdillas residuales de limonita, jaspe, cuarzo y productos de alteración hidrotermal tales como caolín y sericita. No se han encontrado minerales característicos de la zona primaria. En las inmediaciones de los cuerpos de turmalina se presenta un pequeño cuerpo de pórfido diorítico y abundantes filones leucocráticos silíceos de espesores y rumbos variables.

Los cuerpos de brecha de turmalina fueron reconocidos por tres perforaciones con una longitud total de 400 m; los resultados de estas exploraciones fueron negativos. Es muy probable que los cuerpos de brecha de turmalina correspondan a la parte inferior de un yacimiento que existió a un nivel superior, en el techo del intrusivo y/o en las rocas intruidas y que fue destruido por una erosión profunda del área.

8. *Dos Hermanos.* La mina Dos Hermanos, actualmente paralizada, está ubicada en el flanco sureste del valle del río Lluta, a unos 150 m sobre el nivel del río. Se encuentra a unos 65 km en línea recta al estenoreste de la ciudad de Arica.

Hay dos vías de acceso a la mina. La primera es el camino carretero por el valle del río Lluta hasta la localidad de Chapisca, desde donde se debe seguir en mula por una distancia de 30 km hasta la mina Dos Hermanos; este medio no se puede utilizar en los meses del invierno boliviano por la crecida que experimenta el río. La segunda vía de acceso es un camino tropero desde la mina Campanani, el que tiene unos 6 km de largo y unos 1.600 m de desnivel.

La mina Dos Hermanos fue explotada por molibdeno, en pequeña escala, durante la Primera Guerra Mundial. Los minerales eran seleccionados a mano y en el período 1917-1918 se explotaron 77 toneladas de minerales de leyes no establecidas. Diversos caserones, túneles y niveles ahora abandonados corresponden a esa explotación y a otras menores efectuadas con posterioridad.

El yacimiento está ubicado en el intrusivo granodiorítico de Lluta y se desarrolla en tres sistemas de fracturas débilmente definidas, de rumbos N20°W, N40°E y N85°E, y de posición casi vertical, que en sus intersecciones y en las cercanías de filones de pórfido diorítico están mineralizadas por sulfuros de cobre, hierro y molibdeno (fig. 11). Las fracturas o vetillas mineralizadas son sólo de unos pocos centímetros de espesor; los minerales de la roca de caja están alterados a clorita, sericita y arcilla en delgadas franjas adyacentes a las vetillas. Algunas de las fracturas se encuentran rellenas con delgados filones silíceos. Existen zonas de brechización entre la diorita y el pórfido en que se desarrollan bolsones de mineral de pequeñas dimensiones, no mayores de 3 m de diámetro. La mineralización consiste en pirita, calcopirita, molibdenita y trazas de bornita en ganga de cuarzo, adularia y biotita. Cerca de la superficie se han formado minerales oxidados de cobre, que por su escasa cantidad no tienen importancia económica. En la zona mineralizada con diseminación de sulfuros se ha ejecutado, junto con el estudio geológico del yacimiento, un muestreo sistemático destinado a cubicar un tonelaje mínimo, capaz de sustentar un trabajo minero sistemático y mecanizado; desafortunadamente, los resultados han sido negativos. La forma en que se presenta la mineralización no se presta para una exploración y desarrollo sistemáticos.

Las expectativas futuras de este distrito están basadas en el descubrimiento de cuerpos irregulares de minerales de alta ley en molibdeno, en las inmediaciones de la mina Dos Hermanos. En los inclinados flancos del río, inmediatos a la mina Dos Hermanos, existen algunas zonas de intenso color anaranjado, las que sería de interés prospectar.

9 y 10. *Jamiralla y Rosario.* Las minas Jamiralla y Rosario, actualmente inactivas, están ubicadas a unos 10 km en línea recta al sureste de Puquios, estación del ferrocarril de Arica a La Paz. Se encuentran en el faldeo norte del río Lluta, separadas entre sí por una distancia de aproximadamente 1 km y a una altura media de 3.200 m s.n.m. Un camino tropero da acceso a las minas desde Puquios; el viaje en mula demora cuatro horas.

Los yacimientos se localizan en el intrusivo granodiorítico de Lluta; consisten en dos sistemas de vetas de orientación norte y este, y en pequeñas estructuras brechosas que contienen minerales de cobre, en ganga de turmalina y cuarzo.

Los principales minerales que se han identificado en estos yacimientos son: crisocola, atacamita, "almagrado", calcosina, cuprita, malaquita, chalcantita, cobre y oro nativos; este último se encuentra de preferencia en una arcilla verde clara amarillenta. La ganga está compuesta en forma predo-

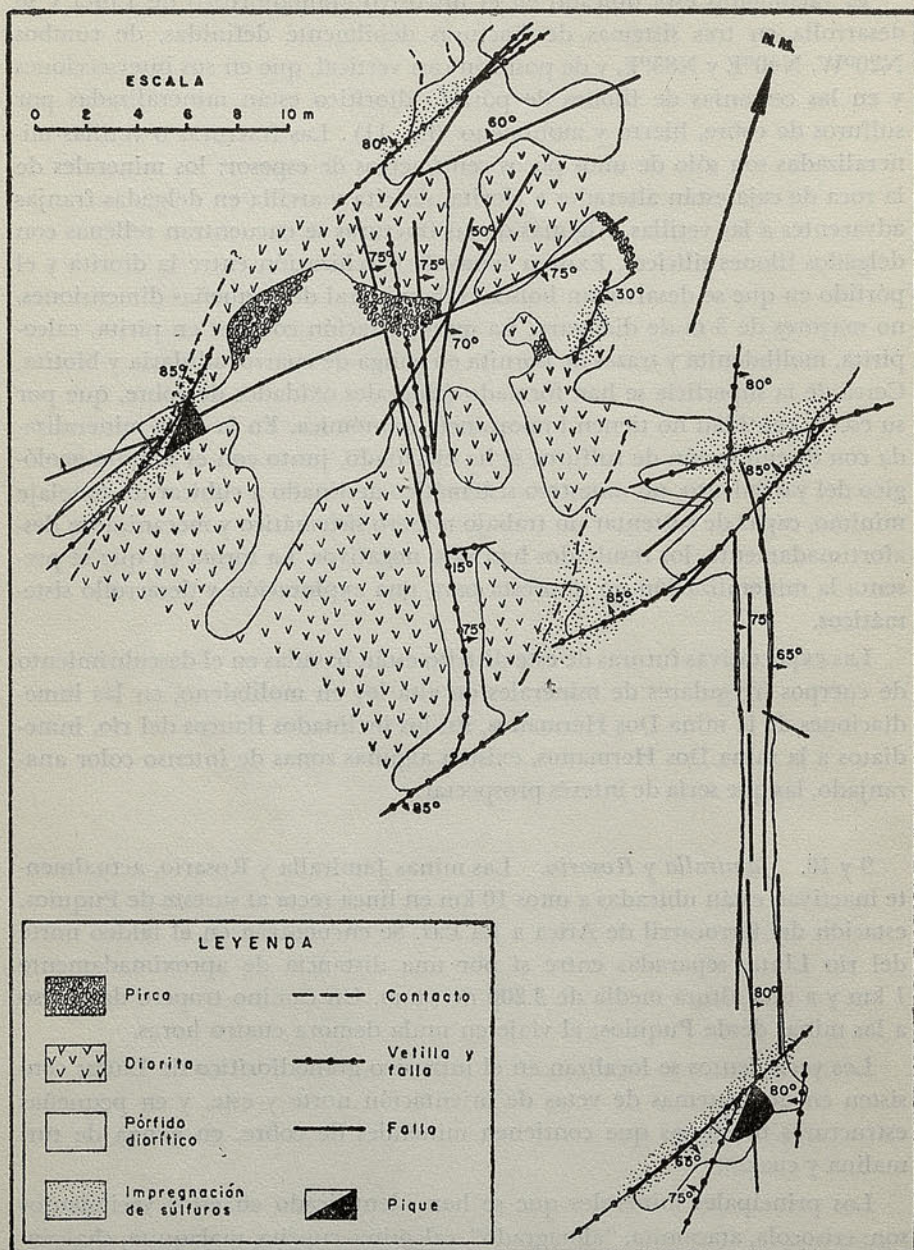


Figura II. Proyección horizontal de las principales labores de la mina Dos Hermanos

minante por turmalina negra y cuarzo; calcedonia, arcilla y limonita están presentes en menor proporción.

En la mina Jamiralla se trabajaron algunas vetas del sistema este, por medio de socavones y labores rudimentarias en forma de zigzag. Las vetas son del tipo relleno de fisura y los minerales de cobre se localizan preferentemente en la parte central de ellas. Su espesor varía desde un metro hasta pocos centímetros; son de formas irregulares a lenticulares y generalmente tienen poca corrida. En un pequeño promontorio, ubicado pocos metros al oeste del campamento, existe un cuerpo de 5 m de ancho y unos 50 m de largo, que presenta indicios de minerales oxidados de cobre en toda su extensión; no se han efectuado trabajos de prospección en él. Hacia el sureste del campamento, se han explotado en los últimos años varios lentes de 3 a 5 m de largo y de hasta 1 m de potencia, con minerales de cobre; en ellos se han encontrado pequeñas cantidades de oro nativo.

En la mina Rosario la mineralización se presenta en forma similar a Jamiralla; se han explotado allí algunas pequeñas vetas de dirección este. La veta principal, de unos 40 cm de espesor, tiene un pique de 15 m de profundidad y otras pequeñas labores de explotación. A unos 80 m al poniente del citado pique, existe un caserón de unos 10 m de ancho, 12 m de largo y unos 8 m de profundidad, que corresponde a la explotación de la parte superior de un pequeño cuerpo mineralizado de carácter brechoso. Este cuerpo presenta intensa alteración hidrotermal, tanto en los clastos de la brecha como en la roca de caja que lo circunda; la alteración consiste en abundante sericita, caolín, limonita, cristales de cuarzo, turmalina y en menor proporción minerales oxidados de cobre. La pequeña proporción en que se encuentran los minerales útiles de cobre (entre 5 y 30%) en las vetas y cuerpos de ambas minas, ha requerido que se realice una cuidadosa selección a mano. Se puede concluir que de ellas no es dable esperar producciones de gran volumen, sino que pequeños tonelajes de minerales de alta ley de cobre y probablemente de oro.

Se recomienda prospectar a profundidad los cuerpos brechosos que existen en ambos yacimientos, ya que el tipo de minerales obtenidos de las labores actuales señala que sólo se ha alcanzado la parte superior de la zona de enriquecimiento secundario. La estrecha asociación de la mineralización de cobre a turmalina negra, facilita la prospección de estos yacimientos.

C) YACIMIENTOS DE PLATA, PLOMO, ZINC, ANTIMONIO, COBRE Y ESTAÑO DE LA PRECORDILLERA Y CORDILLERA.

En la región de la Precordillera y de la Cordillera, constituidas principalmente por rocas de la formación Lupica (KTL), fuertemente falladas y ple-

gadas, existen numerosos yacimientos vetiformes de plata, plomo, zinc y antimonio. Los principales minerales presentes en estos yacimientos son: argentita, blenda, antimonita, galena argentífera, pirita, tetrahedrita y menores cantidades de calcopirita y de minerales de bismuto. La ganga está compuesta por cuarzo, baritina y minerales de arcilla. En algunos de los yacimientos se ha establecido por análisis químicos y espectrografía, la presencia de pequeñas cantidades de estaño, pero no se han identificado hasta ahora con minerales que contienen este elemento. Las vetas se encuentran generalmente en áreas que presentan intensa alteración hidrotermal. Zonas de vetas que alcanzan hasta más de 15 m de ancho, contienen delgadas vetas y vetillas de formas irregulares, que excepcionalmente alcanzan a 1 m de espesor; ellas contienen abundantes sulfuros y la zona de óxidos es de poco espesor.

Estos yacimientos, según la clasificación de Lindgren, pueden incluirse entre los epitermales y estarían genéticamente relacionados con filones de pórfidos del ciclo intrusivo terciario. Las minas y cateos que se describen a continuación son típicos de esta clase de yacimientos.

11. *Choquelimpie*. Choquelimpie es una antigua mina de plata, hoy abandonada, ubicada en las sierras del Altiplano, a una altura de 4.700 m s.n.m. y a una distancia de 110 km en línea recta al estenoreste de la ciudad de Arica.

El acceso al área de la mina se efectúa actualmente a lomo de mula; un camino para vehículos sería de fácil construcción, siguiendo parte del camino de herradura que va desde Putre a Choquelimpie.

El ferrocarril de Arica a La Paz transportó desde su inauguración, en 1913, hasta 1927, año en que paralizaron las faenas de la mina, unas 10.500 toneladas de mineral, que fueron explotadas por la compañía boliviana "Arica Mining Company", con asiento en Oruro. En el lugar donde estuvo el campamento de la mina sólo existen actualmente las ruinas de una fundición y de las numerosas viviendas.

En el área vecina a la mina afloran rocas de la formación Lupica, consistentes en lavas, brechas y conglomerados, levemente inclinadas al este y al oeste. En el cerro Choquelimpie estas rocas están intruidas por filones de pórfido diorítico de carácter brechoso, los que forman afloramientos que sobresalen de la superficie por su mayor dureza y constituyen murallones de 3 a 5 m de alto y de unos 15 m de ancho.

Gran parte del cerro Choquelimpie está fuertemente alterado y meteorizado. La intensa piritización del área al oxidarse comunica a los cerros de la mina un color amarillo anaranjado.

Los principales minerales que se han identificado son: argentita, pirita, calcopirita, blenda, galena y rejalgar; cuarzo, baritina y calcita. La asociación

mineralógica y el tipo de alteración, indican que es un yacimiento epitermal.

Existen estructuras favorables con indicaciones de mineralización de sulfuros en las vecindades de las labores antiguas, especialmente en el lado sureste del cerro Choquelimpie, en las que se recomienda efectuar trabajos de prospección.

Las labores antiguas consisten en cinco túneles iniciados aproximadamente al nivel de la quebrada Choquelimpie; ellos son: Aruquipa (el más bajo) con un largo de 250 m; San Justino, ubicado al noreste del túnel Aruquipa, con 555 m de longitud; Central, localizado a 710 m al este del túnel San Justino, con 245 m de longitud; Santa Antonia, ubicado a 610 m al este del túnel Central, con 390 m de longitud, y Sur, ubicado a 600 m al este del túnel Aruquipa, con 140 m de largo. Estas labores principales tenían numerosos trabajos interiores, muchos de los cuales se encuentran actualmente derrumbados.

De informes antiguos y de comunicaciones verbales se concluye que fueron explotadas por lo menos cinco vetas principales. Hacia el final del período de explotación, la mina fue entregada a pirquineros.

12. *Churiguaya*. A unos 10 km al estenoreste de Choquelimpie, se ubican unos cateos mineros denominados Churiguaya; consisten en un rajo superficial de unos 15 m de largo y unos 3 m de ancho; hay, además, otros cateos menores. Se puede alcanzar hasta el yacimiento en vehículo desde el camino a Guallatiri. La roca es una lava andesítica afectada por fuerte alteración hidrotermal y cubierta parcialmente por rocas de la formación Oxaya. Los minerales existentes corresponden a cobre nativo, cuprita y crisocola. Por falta de labores de exploración, no es posible establecer el origen y el valor del yacimiento.

El INC y la ENAMI han desarrollado en este lugar un plan de muestreo geológico sistemático, con la intención de determinar algunas zonas favorables factibles de ser prospectadas en un futuro próximo. Se ha señalado la ubicación de tres piques en las zonas más propicias, los que proporcionarán los primeros antecedentes del yacimiento (fig 12).

13. *Capitana*. La mina Capitana, actualmente inactiva, está ubicada a unos 6 km en línea recta al sureste del pueblo precordillerano de Tignamar, a una altura de aproximadamente 3.200 m s.n.m. El pueblo de Tignamar dista unos 130 km de Arica, por camino carretero en mal estado. La propiedad minera pertenece a la Compañía Minera Arica, de la cual la Empresa Nacional de Minería es socio mayoritario. La mina Capitana está localizada en rocas volcánicas de la formación Lupica, que en la región de la mina se encuentran intruidas por apófisis dioríticos y filones de pórfido. Estos in-

trusivos han ocasionado diferentes grados de alteración en las rocas volcánicas mencionadas.

El yacimiento está localizado en una zona de fractura de unos 15 m de ancho, de rumbo aproximadamente norte. Contiene vetillas lenticulares de mineral útil, pocas de las cuales exceden de 5 cm de espesor; excepcionalmente se han explotado vetas de más de 15 cm. La dirección predominante de las fracturas mineralizadas varía entre N10°W y N10°E, inclinando 60 a 80° al oeste. La zona de fracturas contiene estructuras brechosas y vetillas diagonales a la dirección norte. Los principales minerales identificados en las vetillas son: pirita, arsenopirita, galena y blenda; los análisis químicos señalan importantes cantidades de plata, bismuto e indicios de estaño. En la mayor parte de las vetillas, los minerales mencionados constituyen agregados macizos complejos. Se pueden observar estructuras bandeadas en algunas vetillas principales. La ganga está compuesta principalmente por arcilla y cuarzo.

La mayoría de las labores efectuadas en esta mina son antiguas y se encuentran actualmente aterradas. Varias de ellas son rajos que explotaron en pequeña escala, vetillas y lentes de minerales. Existe un socavón por veta de unos 20 m de largo, que fue iniciado a unos 5 m sobre el nivel de la quebrada Tignamar y se encuentra aterrado desde los 12 m. En quebrada Vichuta, afluente de quebrada Tignamar, existe otro antiguo socavón de cortada a la veta Capitana, que tiene dirección este, unos 80 m de largo y ha intersectado varias guías y vetillas mineralizadas; este socavón, actualmente habilitado sólo en unos pocos metros, está conectado con labores superficiales por medio de chimeneas en forma de zigzag.

Considerando la asociación mineralógica, tipo de alteración y la extensión de las labores antiguas, se puede concluir que es un yacimiento epitermal y que no hay posibilidades de encontrar en él tonelajes apreciables de minerales; en cambio, los minerales son de altas leyes.

Las zonas mineralizadas, debido a su ganga silíceea, forman afloramientos de color blanquizco anaranjado, que sobresalen en forma de crestones sobre la superficie circundante; este hecho constituye una ayuda en la búsqueda de otros yacimientos en el área. En las cercanías de la mina La Capitana, existen otras minas de características similares a ella, tales como: Vichuta, San Francisco, Suntura, San Sebastián y Churicala.

14. *Santa Rosa.* La mina Santa Rosa está ubicada a unos 5,5 km en línea recta al estenoreste del pueblo precordillerano de Tignamar, a unos 3.850 m s.n.m. Los laboreos más importantes los efectuó entre 1958 y 1959 la Compañía Minera Arica, actual propietaria del yacimiento. La mina está actualmente abandonada y varias de sus labores están aterradas.

El yacimiento consiste en una veta de rumbo N80°W y posición vertical, emplazada en rocas volcánicas de la formación Lupica. La roca de caja se encuentra alterada hidrotermalmente y fracturada en las inmediaciones de la veta. Dos filones de pórfido diorítico se presentan a ambos lados de ella. La veta tiene una potencia media de aproximadamente 1 m y una corrida de unos 140 m. Los principales minerales identificados en ella son: pirita, calcopirita, galena, blenda, cerusita y anglesita en ganga de cuarzo, limonita y arcilla. Este yacimiento presenta características similares a las de la mina San Lorenzo. Sus minerales son principalmente sulfuros y sus labores estarían ubicadas en la zona de enriquecimiento secundario y en la zona primaria.

En las cercanías de la mina Santa Rosa, aproximadamente 1 km al oeste de ella, se ubica la mina Torpedo, de características geológicas similares. Su mayor interés económico está en su contenido de cobre; entre sus minerales destaca la calcosina. Un pequeño socavón se encuentra aterrado y se puede estimar que este yacimiento es de tonelaje restringido.

A lo largo de la corrida de la veta se hicieron 6 piques, que tienen entre 15 y 25 m de profundidad, algunos de ellos se encuentran parcialmente rellenos con material estéril. Entre los piques 4 y 5, numerados correlativamente de este a oeste, se explotó un clavo mineralizado hasta una profundidad de más o menos 15 m. Además de otras pequeñas labores sin mayor importancia se han efectuado dos socavones en la mina, uno de 25 m de largo, corrido por veta, que comunica con el pique 1; el otro, de cortada, corrido por estéril, de unos 145 m de largo, que comunica con el pique 3, este socavón tiene un gran derrumbe hacia el final, que impide la inspección de la labor en esa parte. Según informaciones proporcionadas por el Ing. Sr. Oscar Flores, en el socavón de cortada se tomaron dos muestras para análisis químico, determinándose leyes de 8 a 13% de plomo, 170 a 320 gramos de plata por tonelada y un gramo de oro por tonelada.

15. *San Lorenzo.* La mina San Lorenzo está ubicada a unos 5 km en línea recta al este del pueblo de Belén, en los faldeos occidentales de la Cordillera de los Andes, aproximadamente a 4.100 m s.n.m. La explotación de esta mina, actualmente abandonada, data desde tiempos coloniales. Entre los años 1958 a 1960 se obtuvieron de esta mina, unas 40 toneladas de mineral de 33% de plomo, 17% de zinc y 500 gramos de plata, leyes promedio por tonelada.

Las rocas en el área de la mina corresponden a andesitas y conglomerados de la formación Lupica, las que se encuentran intruidas por apófisis dioríticos y filones de pórfido cuarcífero. El yacimiento consiste en un sistema de fracturas mineralizadas de poca corrida (unos 150 m), localizadas en el lado este

de un filón de pórfido, de dirección aproximadamente norte, que tiene unos 35 m de potencia. Las labores efectuadas han ubicado la presencia de tres vetas, de las cuales la principal tiene unos 50 cm de espesor, cajas bien definidas y formas más o menos regulares. La roca de caja se encuentra alterada: caolinizada, piritizada, limonitizada y fracturada. La veta es del tipo relleno de fisura, observándose en parte disposición bandeada simétrica de los minerales. Estos están constituidos principalmente por sulfuros y sulfosales; se han identificado: piritita, calcopiritita, blenda, tetrahedrita y galena; ellos están acompañados de una ganga de cuarzo y baritina. La asociación y estructura mineralógica y el tipo de alteración hidrotermal, permiten clasificar a este yacimiento como epitermal.

Existe en el yacimiento un pique por veta de unos 30 m de profundidad; actualmente está habilitado en los primeros 10 m. Otras labores consisten en dos o tres chiflones de poca magnitud y un socavón de unos 75 m de largo, llamado nivel 30, que corta la veta aproximadamente a 30 m de su entrada; desde allí se han efectuado diversas pequeñas labores de explotación, en realce y en rebaje. Las labores de la mina se encuentran inundadas a 10 m más abajo del nivel 30; según comunicaciones verbales, esta agua sería de lluvias. Desde los faldeos de quebrada Tictilla, localizada al lado norte de la mina, se está haciendo un socavón de cortada que tiene actualmente unos 60 m de largo y al cual le falta aún más de 100 m para intersectar la corrida de la veta; esta nueva labor está ubicada unos 60 m bajo la cota del nivel 30.

Las reservas de este yacimiento son de difícil apreciación, ya que ha sido reconocido solamente en los primeros 40 m desde la superficie. Se recomienda continuar la exploración y desarrollo a profundidad de esta mina, como asimismo, la búsqueda de nuevas estructuras mineralizadas perpendiculares al filón de pórfido.

16. *Ociel y Apacheta.* La mina Ociel, actualmente paralizada, está ubicada en el nacimiento de la quebrada Tignamar, a unos 4.500 m s.n.m. Entre los años 1944 y 1945, la Compañía Minera Explotadora de Antimonio de Tarapacá (COMEAT) realizó los trabajos más importantes en la mina.

Los minerales extraídos fueron concentrados en el lugar de la mina, en quimbaletes, maritatas y budales, elementos rústicos manuales, de los que se obtenían concentrados con 65% de antimonio; éstos eran llevados a Pintados y fundidos en barras.

Los yacimientos están emplazados en rocas volcánicas de la formación Lupica, consisten en varias vetas de rumbo medio N40°E y posición aproximadamente vertical. Las vetas son delgadas, variando en general desde pocos centímetros hasta unos 50 cm de potencia; excepcionalmente alcanzan espesores de 1 m. Son lenticulares y los clavos minerales tienen entre 3 y 6 m de

largo; abundan las vetillas delgadas y existe cierto contenido de antimonita en la roca de caja inmediata a las vetas. Algunas vetas principales se encuentran marginadas lateralmente por arcilla de falla. Los principales minerales presentes son piritita, antimonita y arsenopiritita en ganga de cuarzo y arcilla.

Entre las labores principales se cuentan: varios cateos y trabajos superficiales de explotación, y un socavón de cortada de 20 m de largo, en el sector de la veta San Francisco (cerro Pacopato); varios prospectos y un socavón de 18 m de longitud, en el sector de la veta Matriz (este afloramiento presenta especiales facilidades para la planificación de futuros trabajos, debido a que la veta está ubicada en una cuchilla de gran inclinación, que tiene unos 200 m de desnivel); 2 socavones, uno por veta de 16 m de largo y otro de cortada a nivel inferior, que intersectaron delgadas guías de minerales en el sector de la veta Colorada, al noreste del área de Ociel; y varios trabajos de prospección y explotación, con un socavón de cortada de unos 100 m de largo, que encontró un buen clavo mineralizado en el sector de la veta Ociel o veta San Salvador.

Los análisis químicos señalan cantidades variables de plata. A pesar de que los trabajos efectuados en las minas del grupo Ociel no son de gran magnitud, puede establecerse que ellas tienen buenas perspectivas económicas.

Existen buenas posibilidades de ubicar nuevos yacimientos en esta zona; en efecto, se encuentran presente numerosas vetas o zonas de vetas, las que se destacan en la superficie debido a la naturaleza silíceas de la ganga.

La mina Apacheta, actualmente inactiva, está localizada a unos 12 km al este de Tignamar y a 4.660 m s.n.m.; presenta características similares a las de los yacimientos de Ociel.

d) YACIMIENTO DE HIERRO DE SAN SEBASTIÁN.

17. *San Sebastián.* El yacimiento de San Sebastián está ubicado a unos 1.500 m al oeste de la estación Alcérreca del ferrocarril de Arica a La Paz, a una altura de aproximadamente 4.000 m s.n.m. Los habitantes de la zona han efectuado en él pequeños cateos superficiales, no mayores de 2 a 3 m de profundidad. La propiedad minera fue manifestada a nombre de la JAA.

Tobas y lavas de la formación Oxaya afloran en el área del yacimiento y tienen una posición muy cercana a la horizontal, con leve inclinación al oeste. El afloramiento de minerales de hierro, de unos 300 m de diámetro, parece corresponder a un flujo de lava que, hacia la parte alta del cerro San Sebastián, se encuentra parcialmente cubierto por toba soldada. Cerca del contacto la toba contiene fina diseminación de óxidos de hierro, que le dan a la

roca un color rojo intenso. A pesar de no contar con evidencias concluyentes sobre la génesis de este yacimiento, tentativamente se le ha clasificado como de segregación magmática.

El mineral de hierro del yacimiento consiste esencialmente en hematita, con cantidades menores de materiales vítreos volcánicos. Análisis químicos de algunas muestras, tomadas superficialmente sin selección, dan 52% de hierro.

Se precisa realizar una exploración del yacimiento para determinar sus dimensiones e importancia económica, la que podría complementarse con algún estudio geofísico.

YACIMIENTOS EXHALATIVOS Y SEDIMENTARIOS.

Los únicos yacimientos metalíferos exhalativos y sedimentarios del departamento de Arica son de manganeso.

YACIMIENTOS DE MANGANESO.

Los yacimientos de manganeso son numerosos y se distribuyen preferentemente en las zonas de la Precordillera y del Altiplano. Se han originado probablemente por soluciones hidrotermales de baja temperatura de carácter volcánico, con la intervención de procesos sedimentarios. Están comúnmente relacionados a rocas sedimentarias y volcánicas cuaternarias, de la parte superior de la formación Huaylas (Qh). La mayor parte de los yacimientos son de baja ley, o sea, de leyes inferiores a las comerciales, registrando altos contenidos de sílice. Sin embargo, la abundancia con que se presenta la mineralización de manganeso, hace aparecer a estos yacimientos como una importante reserva potencial, que conviene evaluar en forma completa y, al mismo tiempo, estudiar los sistemas de concentración que les serían aplicables a sus menas. La posición actual de las reservas mundiales de manganeso y su distribución, hacen altamente aconsejables estas investigaciones.

Los yacimientos más conocidos en el departamento son los de Navidad y Huachipato, ubicados en el flanco sur del río Lluta, en las vecindades de la estación Alcérreca, del ferrocarril de Arica a La Paz. Otros yacimientos sólo tienen pequeños trabajos de cateos superficiales; ellos se encuentran ubicados en los siguientes lugares: las inmediaciones de Choquelimpie (mina Abundancia), en las cercanías del kilómetro 157 del ferrocarril de Arica a La Paz, quebrada Allane, al este de Colpitas, al sureste del pueblo de Caquena, Laguna Blanca, quebrada Huaylas cerca del cruce occidental del camino de Sica-Sica con el ferrocarril de Arica a La Paz, faldeos orientales del cerro Chuquiananta cerca de Cosapilla, y en áreas vecinas al tranque de Caritaya.

18. *Navidad.* La mina Navidad, actualmente paralizada, está ubicada a unos 3,5 km en línea recta al sur de la estación de Alcérreca, a una altura de 3.800 m s.n.m. Se llega a la mina desde Alcérreca por un camino carretero en muy mal estado, que cruza el río Lluta en la confluencia de los ríos Colpitas y Azufre. El área tiene clima cordillerano. Los primeros trabajos mineros se habrían efectuado en el año 1947 y consistieron en la ejecución de cuatro rajos abiertos, obteniéndose en un año alrededor de 200 toneladas de mineral de manganeso de 46%. El mineral era previamente harneado y cuidadosamente escogido a mano. Este yacimiento se encuentra emplazado en el miembro 2 de la formación Huaylas (Qh) y consiste en numerosas y delgadas guías de minerales de manganeso de posición más o menos horizontal, que en parte siguen los planos de estratificación de los sedimentos. También existen guías de mineral verticales e inclinadas. Las guías horizontales están distribuidas en un horizonte de unos 5 m de potencia, cuya parte central, de 2 m de espesor, tiene mayor cantidad de fracturas mineralizadas; este horizonte es el que ha sido objeto de explotación y se extiende lateralmente por aproximadamente 400 m. La roca huésped está constituida por capas de sedimentos finos, principalmente limos y arcillas de colores claros, que contienen cantidad variable de diatomeas.

Es difícil interpretar en este yacimiento si las guías mineralizadas son de origen epigenético hidrotermal o se derivan de mantos superficiales de manganeso, que se encuentran presentes en las cercanías de la mina Navidad, en niveles superiores. Las guías tienen un espesor que varía desde pocos milímetros hasta unos 5 cm, siendo el promedio de 3 a 4 cm.

Es de interés considerar la presencia de rodocrosita en una pequeña veta de la zona de Choquelimpie, lo que podría interpretarse como que fue el mineral primario y que por redepositación de él, se formaron los yacimientos de manganeso conocidos en el departamento.

Los minerales de manganeso presentan estructuras botroidal y de relleno de fisura; parecen corresponder a pirolusita y psilomelano.

En la mina Navidad la relación cuantitativa entre mineral y ganga es de 250 kg de minerales de manganeso de 46% por cada metro cúbico de material. En una primera aproximación, se han estimado en esta mina reservas de 25.000 toneladas de mineral de más o menos 45%. Habría que considerar en futuras faenas de regular importancia, un método de concentración mecánico y tener presente, además, que hacia el sur aumenta la sobrecarga, lo que haría necesario trabajar en labores subterráneas, subiendo los costos de explotación.

19. *Huachipato.* La mina Huachipato está ubicada entre 6 y 8 km en línea recta al sursureste de Alcérreca, a una altura de aproximadamente 3.900

m s.n.m. Se llega a la mina desde Alcérreca por camino carretero en muy mal estado, especialmente la bajada, cruce y subida de las laderas del río Lluta. Las labores de la mina consisten en varios rajos abiertos de explotación, zanjas y piques de cateo. El yacimiento está intercalado y en algunos lugares sobreyace a la parte alta del miembro superior de la formación Huaylas, constituida por una potente sección de tobas. El depósito consiste en un extenso manto de minerales de manganeso (pirolusita y psilomelano), que aflora en el flanco este del río Lluta. Tiene una longitud de alrededor de 5 km y se le ha reconocido en un ancho de más o menos 500 m; tiene un espesor de unos 50 cm. Los minerales de manganeso presentan en parte estructura coliforme y en parte parecen reemplazar restos vegetales, desarrollándose una estructura fibrosa. El origen del manto mineralizado se debería a la depositación de minerales de manganeso, provenientes del escurrimiento superficial de soluciones que al llegar a ciénagas, pantanos o lagunas de poca profundidad habrían fijado o precipitado los óxidos de manganeso, en parte por intercambio químico con las plantas existentes en los lugares, derivándose así las estructuras anteriormente señaladas. En el centro de las oquedades hay residuos de sílice y carbonado de calcio. A pesar de que las características del manto son de cierta pureza, los análisis químicos señalan un bajo contenido de manganeso y alto contenido de sílice. Un promedio sería de alrededor de 17% de manganeso y 45% de sílice, además tiene cierto contenido de Al_2O_3 y aproximadamente 0,1% de P_2O_5 . El manto tiene una pequeña sobrecarga de material aluvial, generalmente de menos de 1 m de espesor, que hacia el este aumenta en partes a más de 2 m. En algunos lugares las soluciones mineralizantes habrían circulado a través de materiales aluviales finos, los que se presentan cementados por minerales oxidados de manganeso, constituyendo otros mantos. A pesar de que en este yacimiento se puede estimar un gran volumen de minerales de manganeso, las leyes bajas y la íntima asociación de los minerales con la ganga silícea hacen depender su valor comercial de la posibilidad de una concentración económica.

YACIMIENTOS DE MINERALES NO-METÁLICOS

I. YACIMIENTOS EXHALATIVOS.

a) YACIMIENTOS DE AZUFRE.

Los yacimientos de azufre constituyen uno de los más importantes recursos minerales del departamento; están genéticamente relacionados al volcanismo cuaternario, por lo que se encuentran presentes en las partes más altas de la Cordillera de los Andes, constituidas principalmente por conos volcáni-

cos. La particular ubicación de estos yacimientos, por lo general a alturas que varían entre 5.000 y 6.000 m s.n.m. y, por consiguiente, con condiciones climáticas desfavorables, dificulta la instalación de faenas extractivas. El clima de estas zonas se caracteriza por lluvias y tempestades eléctricas desde mediados de diciembre a mediados de marzo y temperaturas muy bajas, que alcanzan hasta los 30°C bajo cero, entre abril y agosto.

En la mayoría de los casos los depósitos de azufre son identificables desde cierta distancia por el invariable color blanquizco del material volcánico que los cubre; estos depósitos se encuentran presentes en los faldeos y cráteres de los volcanes. Los caliches de azufre, de colores que varían del blanco amarillento al pardo grisáceo, están dispuestos en mantos que guardan estrecha relación con la inclinación de las laderas de los volcanes, o bien, están dispuestos en lentes o bolsones de diferentes tamaños y formas, relacionados con las hoyadas topográficas de los cráteres. La evidencia de más de un manto de caliche de azufre, como asimismo, la presencia de vetillas de azufre que cortan los mantos, están indicando la existencia de varios períodos exhalativos del volcán.

Los mantos de caliche de azufre varían en potencia desde pocos centímetros a 5 ó 7 m. La ley de azufre varía entre 40 y 80% para caliches amarillos, y entre 80 y 95% en caliches achocolatados. Este último tipo de caliche está localizado en la base de los mantos.

El proceso de depositación de azufre es complejo; en general, se ha producido por condensación de emanaciones sulfurosas calientes, provenientes de solfataras, acompañadas por vapor de agua, anhídrido carbónico, ácidos clorhídrico y fluorhídrico y amoníaco. Se supone que el azufre sólido se ha originado por la oxidación de hidrógeno sulfurado (H_2S).

La ganga que acompaña al azufre en los "caliches" está constituida por piedra pómez, ceniza silícea, arcilla, yeso y pequeños fragmentos de rocas. Los yacimientos de azufre chilenos no contienen materiales nocivos para el uso industrial de este elemento, tales como telurio, arsénico, bitumen y otros, o si existen, ellos están presentes en cantidades mínimas, perfectamente tolerables en los mercados internacionales (Vila, 1939, p. 29).

La roca que subyace a los yacimientos está por lo general intensamente alterada y fracturada, localizándose en las grietas cantidades pequeñas de azufre de gran pureza.

En el departamento de Arica los depósitos de azufre distan, como promedio, unos 150 km en línea recta del puerto mecanizado de Arica; generalmente se encuentran en la vecindad de caminos carreteros y los ubicados en la parte norte del Altiplano podrían utilizar favorablemente el ferrocarril de Arica a La Paz, que proporciona tarifas especiales de transporte.

Las azufreras del departamento no han sido objeto de prospecciones o cateos sistemáticos, lo que se traduce en el desconocimiento de su potencialidad real.

Considerando las necesidades del mercado interno de azufre y las dificultades para obtener en el mercado internacional este mineral sería recomendable realizar un plan de prospección sistemática de las azufreras de la zona, dirigido a conocer principalmente la cantidad y calidad de los caliches azufrales de los yacimientos. Estos antecedentes servirían para planificar el desarrollo de esta minería en el departamento, mediante plantas regionales de beneficio.

20. *Azufreras del volcán Tacora.* Las faenas mineras llamadas Azufreras del Volcán Tacora, están ubicadas en la parte más septentrional del departamento, en el cráter y en los faldeos noroccidentales del volcán del mismo nombre y se encuentran a unos 100 km en línea recta al noreste de la ciudad de Arica. Se llega al lugar fácilmente en vehículo por territorio peruano, pasando por Tacna, siguiendo luego el camino a Palca hasta llegar a Aguas Calientes en territorio chileno, lugar donde está ubicado el campamento y planta de las faenas mineras. Se puede llegar también a Aguas Calientes por territorio chileno, siguiendo un camino a lo largo del oleoducto de Sica-Sica, camino que es apto sólo para vehículos con doble tracción. También se llega a Aguas Calientes por el camino del portezuelo de Chupiquiña, pero este es mucho más largo y se encuentra en mal estado. La vía de acceso más utilizada es el ferrocarril de Arica a La Paz.

El campamento de Aguas Calientes cuenta con abundante agua de buena calidad para la bebida y usos domésticos, proveniente de vertientes ubicadas en el área misma del campamento. El prolongado período de actividades que ha tenido esta azufrera ha producido el prematuro agotamiento de los yaretales existentes en las vecindades del yacimiento. El personal de obreros que laboraba en estas faenas estaba constituido casi exclusivamente por lugareños del Altiplano, de nacionalidad boliviana o peruana.

Las Azufreras del Tacora, inactivas desde abril de 1964, constituyeron la principal industria extractiva del departamento y agrupaba en la zona del yacimiento aproximadamente a 500 personas relacionadas directa o indirectamente a la faena minera. El campamento y planta de beneficio están localizados en Aguas Calientes a 4.700 m s.n.m. La Compañía Azufrera Nacional, dueña de estas faenas, posee una planta de molienda del producto en el barrio industrial de la ciudad de Arica.

Los trabajos de explotación de cierta importancia habrían comenzado en el año 1888; la actual propietaria, la Compañía Azufrera Nacional, inició sus actividades en julio de 1930. La primera planta de esta Compañía

funcionó en Villa Industrial y consistía en hornos de retorta, los que fueron reemplazados por autoclaves en agosto de 1945. En 1948 esta planta fue trasladada a su actual ubicación en Aguas Calientes trabajándose desde entonces en forma intensiva y continua hasta abril de 1964.

En septiembre de 1945, en un intento por conocer la capacidad máxima de producción, se llegaron a obtener 1.500 toneladas mensuales de azufre con dos autoclaves en funcionamiento. En los primeros meses de 1964 la producción alcanzó un promedio de 500 toneladas mensuales de azufre industrialmente puro, tratando para ello caliches de 50% S como mínimo.

Se ha terminado de construir en Aguas Calientes una planta de flotación para obtener concentrado de alta ley de azufre. El producto resultante de los autoclaves, en forma de grandes colpas, era transportado en ferrocarril hasta la planta de molienda de Arica.

El yacimiento, de origen exhalativo volcánico, consiste en acumulaciones de caliches de azufre en el cráter y en la ladera noroccidental del volcán Tacora, en forma de lentes, bolsones o mantos. El cono del volcán de 5.980 m de altura, está cubierto por nieves eternas en la cima y tiene solfataras activas en las cercanías de su base; el cráter posee una abertura hacia el norte, por donde pudieron escurrir algunas corrientes de azufre.

La forma y dimensiones de los lentes y bolsones de caliche son irregulares y se extienden por algunos centenares de metros. La potencia de los horizontes de azufre es de alrededor de 1 a 2 m y en casos excepcionales alcanzan espesores de decenas de metros. Los mantos poseen formas más definidas y constantes que los bolsones y lentes de azufre.

Existen varios tipos de caliches, los que son típicos para determinadas partes del yacimiento. Las principales labores de la mina se distribuyen entre los 4.900 y 5.800 m de altura aproximadamente. Las labores del cráter, que alcanzan hasta los 5.800 m de altura, corresponden a explotación a rajo abierto en forma escalonada, de donde se extrae un caliche amarillo de alrededor de 70% de azufre, fácilmente tratable en los autoclaves.

Más abajo, en la ladera norte del volcán Tacora y hacia el portezuelo que forma ese volcán y el Chupiquiña, a unos 5.200 m de altura, están ubicados los laboreos denominados Vilque Sur. Los trabajos de explotación en esta zona consisten también en rajos abiertos, de donde se extrae un material amarillo blanquizco de aspecto de tiza de menor rendimiento en los autoclaves. Los laboreos llamados Vilque Norte, ubicados en la ladera sur del volcán Chupiquiña, tienen trabajos a rajo abierto que entregan un material amarillo verdoso, bituminoso, de buena ley de azufre (superior a 80%), el que debe ser mezclado con otros caliches del yacimiento, debido a que el carácter bituminoso del material le comunica un aspecto sucio al producto del autoclave. En el faldeo norte del Tacora y más o menos a igual altura

que los laboreos Vilque Sur, existe un manto de caliche amarillo de buena ley, que por tener una gran sobrecarga, constituida por arena, intercalaciones de lava y cenizas, fue trabajado en forma subterránea. Esta faena desarrollada en socavones presentaba numerosos riesgos debido a las emanaciones de gases sulfurosos y vapor de agua que ocasionalmente irrumpía en las labores, causadas por el avance de las explotaciones.

A unos 4.900 m de altura, en el lugar denominado "El Valle", están ubicados pequeños lentes de caliche los que han sido explotados a rajo abierto, de donde se extrae un material amarillo, de alta ley de azufre y de buen rendimiento en los autoclaves. Estos lentes están relacionados a fumarolas activas, las que transcurridos algunos años reconstituyen en cierta medida los lentes explotados.

Leiding (1935) expresa que se habrían cubicado en el volcán Tacora dos millones de toneladas de caliche con una ley de 67% de azufre. La producción media de azufre de este yacimiento en los últimos diez años fue de unas mil toneladas métricas mensuales.

En forma general se puede decir que en este yacimiento los lentes, bolsones y mantos de caliche de azufre tienen una pequeña sobrecarga de arena, ceniza o nieve, la que era retirada por un "pileover", maquinaria de múltiples aplicaciones en la faena. Las labores corresponden en su mayor parte a trabajos a rajo abierto, y el transporte del caliche a la planta se efectuaba en andariveles, ferrocarril o camiones.

Otros yacimientos de azufre. En muchos otros volcanes del departamento de Arica existen acumulaciones de caliches de azufre, cuyas reservas e importancia son actualmente desconocidas; por lo general en ellos sólo se han efectuados trabajos preliminares de prospección.

La azufrera del volcán Taapacá, a 5.815 m de altura, ubicada a unos 20 km en línea recta al este-sureste de la estación Alcérreca, ha tenido algunos trabajos de prospección y de explotación a rajo abierto, de relativa importancia. Existió allí una pequeña planta con hornos de retorta (posteriormente autoclaves), localizada a unos 5.000 m s.n.m. en las cercanías del yacimiento, cuya producción en el año 1937 alcanzó a 809 toneladas de azufre con ley de 99,5% (Vila, 1939, p. 36). En algunos informes anteriores se han indicado cifras de reservas de caliches, que al parecer carecen de fundamento tomando en cuenta la forma como se efectuaron los cateos. Este yacimiento posee caminos hasta las labores de explotación.

En el cráter del volcán Chupiquiña, de 5.787 m de altura, ubicado al norte del Tacora en el límite internacional con el Perú, hay depósitos de caliches de azufre en forma de mantos, cubiertos por una sobrecarga de arena, ceniza, nieve y hielo de hasta 20 m de espesor. En este yacimiento, que per-

tenece a la Compañía Azufrera Nacional, se han efectuado anteriormente pequeños trabajos superficiales de explotación para abastecer una pequeña planta ubicada en Ancarita, lugar situado a unos 5 km al sursuroeste de la estación de Chislluma. Esta faena minera fue operada por una compañía alemana, la que construyó parte del camino de acceso al cráter, restando por construir un tramo de aproximadamente 5 km.

El volcán Guallatire, de 6.060 m s.n.m., está ubicado íntegramente en territorio chileno y se encuentra a 130 km en línea recta al este de Arica. Posee diversos afloramientos de caliches de azufre, localizados preferentemente sobre los 5.500 m de altura; la cúspide cubierta con nieves eternas, tiene un pequeño cráter hacia el lado norte, donde existe una fumarola visible desde diferentes lugares de la Puna ariqueña. El Instituto de Fomento Minero de Tarapacá ejecutó algunos cateos en las azufreras de este volcán, los que fueron verificados y ampliados por el ingeniero Héctor Urizar O. Según Urizar se habrían reconocido 403.000 toneladas de caliche de ley media de 50% S, además 262.716 toneladas de caliche de 61% de S que habría cubicado el Instituto de Fomento Minero. Todos estos trabajos de cateo se encuentran actualmente derrumbados. Se puede llegar en vehículo a las inmediaciones del volcán, por el río Chungará o por Churiguaya; en este último lugar se pueden conseguir mulas para llegar hasta las azufreras.

En las inmediaciones del volcán Guallatire, en el cordón limítrofe con Bolivia que forman los cerros Pusupata, Caporata y Arcotango, se encuentran diversos afloramientos de caliches de azufre de importancia desconocida.

Otros volcanes y cimas cordilleranas con indicaciones de azufre en el departamento de Arica son: Caracarani, Chuquiananta, Lexone, Jaruma, Colpitas, Aroma, Payachata, Quisiquisini, Puqintica, Anocarire y Arintica; no existen antecedentes fidedignos sobre la potencialidad económica de estos yacimientos.

b) YACIMIENTOS DE BORATOS

Los yacimientos de boratos del departamento están ubicados en la zona de la Puna y están relacionados a salares en cuencas cerradas del Altiplano, en cuyas inmediaciones ha tenido lugar intensa actividad volcánica cuaternaria. El yacimiento más característico y conocido es el de Chilcaya o Surire; también existen indicaciones de boratos en Laguna Blanca (frente a General Lagos) y en Colpitas.

21. *Chilcaya.* Uno de los principales yacimientos de boratos en Chile, denominado Chilcaya, está ubicado en el salar de Surire, en el extremo

sureste del departamento, sobre los 4.000 m s.n.m. Se puede alcanzar en vehículo hasta el borde mismo del salar, en cuya parte noroeste se encuentran los restos de una antigua planta de secado de bórax. La propiedad minera pertenece a la Compañía Bórax Consolidada. Existen evidencias de trabajos antiguos que han sido cubiertos por materiales finos como limos y arcillas depositados en el período de lluvias en que el salar se transforma parcialmente en un lago; este último fenómeno es la causa del alto contenido de agua presente en los boratos. El yacimiento fue explotado a rajo abierto en el siglo pasado por la Compañía Bórax Consolidada Limitada. El material era secado en la planta y el producto obtenido transportado en carretas a Arica. La producción de esta mina continuó hasta que el ferrocarril de Antofagasta a Bolivia fue puesto en funcionamiento, hecho que indujo a la Compañía a paralizar sus faenas en Chilcaya e iniciar la explotación del yacimiento de bórax del salar de Ascotán en Antofagasta.

El salar de Surire es una cuenca cerrada, rodeada en parte por volcanes. Las dimensiones del salar son de aproximadamente 17 km de largo por 8 de ancho. En la parte sureste del salar existe un géyser. Los boratos se encuentran en forma de mantos de hasta 1 m de potencia bajo una delgada cubierta de arcilla de unos 10 a 30 cm de espesor. El mineral tiene color blanco a blanco amarillento y es de aspecto fibroso, cristalino y macizo. La principal especie mineralógica parece corresponder a ulexita, aunque otras sales de boro pueden estar presentes en la parte inferior del manto. El origen de los boratos está probablemente relacionado con la actividad volcánica de la región. Diversos fenómenos postvolcánicos, tales como géysers y solfaratas, habrían contribuido a la depositación de sales, en su mayor parte boratadas, en la superficie y en las inmediaciones de los cráteres y conos volcánicos. Las aguas de lluvias y las provenientes del derretimiento de nieves, habrían lixiviado, transportado y concentrado dichos compuestos en la parte superior del salar de Surire. Dada la extensión del yacimiento pueden estimarse grandes reservas de minerales boratados.

YACIMIENTOS ENDÓGENOS ORIGINADOS POR METAMORFISMO

En algunas áreas de la región las rocas han experimentado cambios físicos y químicos por efecto de metamorfismo regional y de contacto mediante los cuales se han originado algunos yacimientos de minerales no-metálicos, principalmente asbesto y mármol.

22. *Saicoto.* El yacimiento de asbesto de Saicoto, actualmente inactivo, está ubicado a unos 6 km al sureste del pueblo de Chapiquiña, a una

altura de 3.750 m s.n.m. Existe un buen camino de mulas desde el pueblo de Chapiquiña hasta la mina. Las labores principales consisten en cinco rajos abiertos, el más grande tiene aproximadamente 80 m de largo, 3 a 5 m de ancho y unos 2 m de profundidad. El asbesto se presenta en un filón ultramáfico de serpentina de 15 a 20 m de ancho, de rumbo N10°W e inclinación que varía de vertical a 75° al este. El filón intruye una serie precámbrica, denominada Esquistos de Belén, y se encuentra fallado e intensamente fracturado en fragmentos romboidales. El asbesto (crisotilo) se presenta rellenando un sistema de delgadas fracturas distanciadas entre sí, en unos 3 a 4 cm; la longitud de las fibras varía entre menos de 1 mm y 5 mm siendo el promedio de 3 mm. De las características del yacimiento y su mineralogía podemos concluir que no tiene buenas expectativas económicas, dada la poca cantidad de mineral en relación a la ganga y por la corta longitud de la fibra. Se sugiere, sin embargo, la conveniencia de realizar una mayor exploración de este material en rocas serpentinizadas asociadas a afloramientos de rocas precámbricas en la Precordillera del departamento.

23. *Livilcar.* En el lado sur de la quebrada de Azapa, frente al pueblo de Livilcar, se presentan extensos mantos de mármol y pizarras, intercalados con calizas y filones mantos. La serie tiene rumbo norte e inclinación de 20 a 30° al este; corresponde a una secuencia de rocas marinas jurásicas del grupo Arica, afectada por metamorfismo de contacto. Los mantos de mármol de 2 a 5 m de potencia y de varios cientos de metros de longitud presentan granulometría variable, entre fina (granos no visibles megascópicamente) a mediana. El color varía, generalmente, entre blanco y gris, en partes se presentan venillas oscuras, casi negras. A pesar de que la existencia de mármol en esta área es conocida desde hace muchos años, no se ha realizado hasta ahora ninguna explotación del yacimiento.

24. *Iquecta.* En la localidad de Iquecta, en el curso medio del río Lluta, a unos 12 km en línea recta al este de Chaquiri, existe una extensa zona de rocas metamórficas; el metamorfismo ha sido causado por el intrusivo de Lluta, ubicado hacia el este de esta localidad. Extensos mantos de mármol, de características similares a las de Livilcar, se encuentran presentes a una altura de unos 600 m sobre el relleno aluvial del valle.

Rocas granatíferas, ubicadas a más de 800 m sobre el nivel del río, que contienen cuarzo, granate, epidota, calcita y specularita, se presentan en extensos y potentes mantos, sin que la mineralización de hierro llegue a constituir un mineral económicamente explotable por su baja ley. Cuarcita y rocas granatíferas de color verde (grosularita o andradita), podrían ser utilizadas como abrasivos.

En general esta zona de metamorfismo no ha sido reconocida en detalle, presentando buenas posibilidades de contener yacimientos metalíferos y no-metálicos, lo que justifica la realización de futuros estudios.

YACIMIENTOS EXÓGENOS

YACIMIENTOS SEDIMENTARIOS

En el departamento existen varios yacimientos no-metálicos de origen sedimentario. Consisten en caliza, dolomita y kieselguhr.

a) *Yacimientos de calizas.* A lo largo de la zona costanera existen varios yacimientos de calizas que consisten en mantos intercalados en lutitas, areniscas y lavas de la formación Camaraca. Algunos de ellos son difícilmente accesibles por estar ubicados en los acantilados de la costa, pero otros, como los que se encuentran en las vecindades de la ciudad de Arica son de fácil acceso y están bien expuestos. Estos últimos están intercalados en una potente sección de sedimentos marinos, siendo su espesor variable entre 5 y 20 m y su extensión de varios cientos de metros.

Considerando la falta de cal en los suelos agrícolas del departamento, estos yacimientos calizos podrían suplir esa necesidad; además, debido a su gran volumen, ellos podrían abastecer en el futuro otros usos industriales.

En las inmediaciones de Belén existen algunos mantos calizos que forman parte de una secuencia de sedimentos lagunares de la formación Lupica; ellos podrían utilizarse localmente en los suelos agrícolas precordilleranos.

b) *Yacimientos de dolomita*

En la zona de la Pampa del departamento de Arica, existen extensos yacimientos de dolomita, de origen lacustre, localizados en largas cuencas aisladas o interconectadas, de elongación nornoreste. Los yacimientos consisten en mantos de posición horizontal; sus afloramientos se encuentran en los flancos de las quebradas profundas.

El principal yacimiento de dolomita de la zona es la mina Las Riveras, localizada en la quebrada El Diablo, cerca de su confluencia con la quebrada Azapa. Otros lugares en que también se conoce la existencia de dolomita son: ambas laderas de quebrada Vítor y quebrada Garzas, en las cercanías de la aguada de Puquios, en la quebrada Acha, y en la parte sur del salar de Pampa Camarones. Los mantos de dolomita, que son de origen sedimentario, están relacionados en la zona de la pampa con sedimentos que consti-

tuyen la base de la formación Oxaya. El sistema de prospección más adecuado para descubrir los niveles dolomíticos es el de efectuar zanjas inclinadas según la línea de máxima pendiente, en las laderas de las quebradas donde se sabe que aflora la parte inferior de la formación Oxaya.

25. *Las Riveras.* El yacimiento de dolomita Las Riveras, actualmente en producción, está ubicado cerca de la confluencia de las quebradas El Diablo y Azapa, a una distancia de aproximadamente 20 km en línea recta al este de Arica; entre el yacimiento y la ciudad de Arica existe un buen camino para vehículos motorizados. El yacimiento pertenece a la "Sociedad Minera Las Dolomitas S. A.", subsidiaria de la "Sociedad Vidrios Planos de Lirquén". El yacimiento fue descubierto en 1935, iniciándose la producción en 1942. Se cuenta con las siguientes cifras de producción, desde 1957 en adelante:

1957 a 1961 (promedio 165 ton/mensuales)	10.000 ton
1962 (promedio 250 ton/mensuales)	3.000 "
1963 primeros 6 meses (promedio 400 ton/mensuales)	2.000 "

El principal consumidor de la producción de esta mina es la fábrica de vidrios planos de Lirquén. La dolomita ha sido utilizada también, en pequeñas cantidades, para la agricultura del departamento. La mina ha sido explotada por el sistema de "room and pillar", sin mecanización. Las dimensiones de los caserones son de aproximadamente 4 por 4 y por 3 m, distribuidos en forma más o menos regular, en una extensión de 150 por 50 m aproximadamente.

El yacimiento consiste en mantos de dolomita y arcilla de 2 a 3 m de espesor, intercalados con otras rocas sedimentarias de la formación Oxaya. Los mantos tienen una posición casi horizontal con una pequeña inclinación al nornoroeste y se encuentran ubicados a una altura de cerca de 200 m sobre los depósitos aluviales de la quebrada; tienen una sobrecarga de alrededor de 300 m.

La composición química media del mineral es la siguiente:

Al ₂ O ₃	2,0% a 3,0%
Fe ₂ O ₃	0,5% a 1,0%
CaO	25,0% a 28,0%
MgO	19,0% a 22,0%
CO ₂	42,0% a 43,5%
SiO ₂	5,0% a 9,0%

El peso específico es de 2,8 a 2,9 y la dureza varía entre 3,5 y 4,0.

Considerando una exposición longitudinal del manto de 1.000 m y una potencia útil de 2 m, por cada metro de avance se podrían cubicar 6.000 toneladas de mineral.

c) Yacimientos de kieselguhr

Los yacimientos de kieselguhr o de tierra de diatomeas, se encuentran ampliamente distribuidos en el departamento, desde la región costanera hasta la de la Puna o Altiplano. El kieselguhr es uno de los minerales no-metálicos de mayores posibilidades económicas del departamento, lo que justifica realizar una evaluación sistemática de sus yacimientos. Son yacimientos de origen sedimentario y se encuentran integrando una serie de estratos continentales de grano fino de la formación Huaylas, de edad cuaternaria. Se observa, en general, que el kieselguhr de los yacimientos de Arica es blanco, de gran pureza y que en él se mantiene en forma entera la estructura de las diatomeas.

El yacimiento mejor conocido es la mina Neverman, pero existen varios otros lugares en el departamento donde se encuentra este material, como son: la zona de Boca Negra en el valle de Lluta, donde existían cateos antiguos que se han incrementado últimamente con estudios geológicos y nuevas prospecciones; la zona de Estación Central del ferrocarril Arica a La Paz; la zona de las quebradas Allane y Huaylas; la zona donde confluyen las quebradas Camarones y Umayani, y el área inmediata a la confluencia de las quebradas de Tignamar y Saxamar. Mucho de estos lugares carecen de trabajos de prospección.

26. *Neverman*. Esta mina de kieselguhr es el único yacimiento de este mineral que ha tenido una explotación importante. Esta ubicada a unos 5 km al este de la ciudad de Arica, a una altura cercana a los 200 m s.n.m. El yacimiento fue descubierto en 1920. En 1921, luego de algunas pruebas de concentración del material, se comenzó la explotación de la mina y la construcción de la planta de lavado, la que ha sufrido diversas modificaciones hasta la fecha. El objeto de la planta de lavado es eliminar principalmente cierto contenido de NaCl, que aparece como impureza. Antes de la Segunda Guerra Mundial se exportó kieselguhr a Alemania, Inglaterra, Brasil y Uruguay. La producción media de 40 a 55 toneladas mensuales de material lavado y secado, decreció rápidamente desde entonces y en la actualidad este yacimiento se encuentra paralizado. La mina y la planta trabajaban períodos de seis meses al año aproximadamente, ya que el secado del material se efectuaba en forma natural, utilizando el clima caluroso y seco de los meses de verano. Las labores de la mina consisten en rajos abiertos y soca-

vones cuando la sobrecarga aumenta. Se puede llegar en vehículo a todos los frentes de trabajo de la mina.

Las especies de diatomeas más abundantes en este yacimiento y en los cateos de Boca Negra, son: *Cocconeis placentula*, *Denticula elegans* y *Synedra ulna*.

En estas muestras han sido identificadas otras 15 especies de diatomeas, pero su concentración es menos abundante y en ciertos casos rara (Dingman y Lohman, 1963). Estos depósitos se formaron probablemente en lagunas de agua dulce, poco profundas. Los mantos de kieselguhr se extienden por cientos de metros en horizontal y su espesor es de 2 a 5 m.

En general el kieselguhr puede presentarse en cualquier lugar del departamento, donde se encuentren sedimentos finos de la formación Huaylas.

YACIMIENTOS PRODUCIDOS POR ACCIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Los yacimientos de este grupo comprenden un tipo especial de minerales tales como sulfatos de aluminio, magnesio y hierro, limonitas (ocres) y sal común.

a) *Yacimientos de sulfatos de aluminio, magnesio y hierro*. Aguas meteóricas escurrieron superficialmente desde zonas de oxidación sobre rocas de alto contenido de magnesio y aluminio disolviendo estos minerales para precipitarlos luego por evaporación. Estas sales se presentan por lo general como cuerpos macizos, en forma de costras superficiales de contornos irregulares de hasta 4 m de potencia y están relacionadas con zonas de rocas alteradas, principalmente piritizadas. Los yacimientos se encuentran en rocas más antiguas que las de las formaciones Azapa y Oxaya, en las inclinadas laderas de los valles del río Lluta y Camarones.

Yacimientos de sulfato de aluminio y magnesio se presentan en ambos lados del río Lluta, entre Larancagua y Sora, formando extensas costras superficiales de característico color blanco amarillento; entre ellos se pueden citar los de Larancagua, Palmani, Millune, Sausine y Tiñare. En algunos de estos yacimientos se encuentran restos de pequeñas plantas de beneficio.

27. *Larancagua*. El yacimiento de Larancagua está ubicado en los flancos del valle del río Lluta, a unos 3.000 m s.n.m., en la zona donde el sendero de mulas que une a Puquios con Putre intersecta al río Lluta; dista unos 75 km en línea recta al estenoreste de Arica. Se llega al lugar desde Puquios o Putre, en ambos casos a lomo de mula.

En el área se observan pequeños afloramientos de lutitas fosilíferas del grupo Arica, localizadas en la parte baja, cercana al lecho del río Lluta. Sobre las lutitas se superponen discordantemente rocas cretácicas consistentes en conglomerados, brechas y lavas; en estas últimas se encuentran los depósitos de sulfatos. Sobre las rocas cretácicas se han depositado, discordantemente, materiales efusivos, piroclásticos y sedimentarios de las formaciones Oxaya y Huaylas.

El origen de los depósitos se explicaría como sigue: soluciones que contenían ácido sulfúrico y sulfato de hierro originados por la oxidación de zonas piritizadas localizadas en las cercanías de cuerpos intrusivos, habrían lixiviado al aluminio y magnesio de las rocas, dejando en su lugar materiales alterados arcillosos; por evaporación, las soluciones habrían depositado sulfatos, concentrándose estos minerales en forma de costras.

Los minerales presentes en el yacimiento son sulfatos de aluminio y magnesio, cristalizados y amorfos, de colores blanco a blanco amarillento. Ellos se presentan en las laderas de la quebrada, en forma de costras macizas cuyo espesor varía desde pocos centímetros hasta algunos metros. Existen en el área de Larancagua tres afloramientos salinos principales cuyas dimensiones abarcan varios cientos de metros. Se puede estimar que en este yacimiento hay aproximadamente un millón de toneladas de mineral.

Los primeros trabajos mineros se iniciaron en 1952; en 1954 se construyó una planta de purificación. En el año 1955 la planta estaba en plena producción, obteniéndose 300 toneladas mensuales de material purificado. Los trabajos en la mina continuaron hasta 1957, año en que paralizaron las labores debido al alto costo de operación y transporte. Las labores mineras de Larancagua son generalmente superficiales y consisten en rajos, zanjas y catas de forma escalonada.

En el flanco norte del río Camarones, cerca de Cuya, existen depósitos de sulfato de hierro de poca extensión, cuyo origen estaría relacionado con procesos de oxidación en pequeñas áreas piritizadas de esa zona. Los afloramientos se presentan en forma de costras de color pardo amarillento que muestran eflorescencia.

b) *Yacimientos de ocre*

28. *Chislluma*. En la región del Altiplano, a unos 2 km al noreste de las minas de la antigua planta azufrera de Chislluma y a unos 4.600 m s.n.m., existe un depósito de limonita ubicado en la parte superior de una ciénaga. La limonita (ocre) de color pardo amarillento a pardo oscuro, se presenta en agregados fibrosos y tiene aspecto de tierra vegetal. El material es de gran porosidad y su dureza aparente es de alrededor de 1. Su origen

estaría relacionado con el escurrimiento de aguas superficiales ferruginosas (el hierro contenido como sulfato), provenientes de la lixiviación de zonas de alteración hidrotermal piritizadas, presentes en las vecindades de la quebrada del mismo nombre. Estas aguas al llegar al ambiente tranquilo de la ciénaga, por hidrólisis, habrían depositado el hierro al estado de hidróxido. El depósito de limonitas es de poca extensión y es usado en pequeña escala como materia prima para pinturas.

En las inmediaciones del tranque de Caritaya existe una pequeña laguna en la que se están depositando actualmente hidróxidos de hierro.

c) *Yacimientos de sal común*

29. *Chacalluta*. En el departamento de Arica se explotan periódicamente algunos yacimientos de sal común (NaCl) para usos domésticos de la población. Uno de ellos se ubica a unos 17 km en línea recta al noreste de Arica, en la zona de Chacalluta, un poco al este del camino de Arica a Tacna. Este yacimiento explotado desde comienzos de siglo, abastecía las necesidades de sal de Tacna y Arica. Los trabajos consisten en rajos abiertos de gran extensión; uno de ellos tiene una longitud aproximada de 1 km y unos 150 m de ancho; los frentes de explotación tienen como máximo unos 2 m de alto. La remoción del material se efectúa con explosivos y el NaCl se selecciona a mano. En la mina trabajan eventualmente de dos a cinco personas que producen una a dos toneladas de material escogido por hombre al mes.

La sal se presenta rellenando fracturas y grietas en tobas de la formación Oxaya. Estas grietas que generalmente tienen una posición muy cercana a la horizontal, están rellenas por sal cristalizada de gran pureza. La sal presenta estructura acicular, perpendicular a las paredes de la grieta. El grosor de las vetillas trabajadas varía comúnmente entre 10 y 35 cm; excepcionalmente se encuentran espesores de más de 50 cm en las intersecciones. El origen de la sal se debe probablemente al escurrimiento de soluciones derivadas de antiguos salares, actualmente erosionados, que existieron a un nivel superior; la estructura acicular, la proximidad de salares en la Pampa y pequeñas grietas lenticulares y de posición vertical, así parecen indicarlo.

En varios otros lugares cercanos a la ciudad de Arica se presenta sal común en forma de relleno de grietas. Uno de ellos es la mina de kieselguhr de Neverman; otro lugar se encuentra a unos 500 m al sur del estadio Carlos Dittborn y, finalmente, otro en las inmediaciones del cerro Volcancito, a unos 7 km en línea recta al este de la ciudad de Arica, donde se explota una costra salina de características similares a las de Chacalluta. Existe tam-

bién sal común en extensos salares ubicados en el borde occidental de la Pampa, entre Arica y quebrada de Chaca y entre esta última y quebrada de Camarones; estos salares no han sido explotados, aunque es probable que bajo la capa superficial o costra impura se encuentren grandes cantidades de cloruro de sodio de buena calidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el área del departamento de Arica se pueden delimitar varias franjas de dirección norte, en las cuales se presentan determinados tipos de yacimientos de minerales.

En la franja occidental o de la Cordillera de la Costa, constituida por rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas, se encuentran numerosos yacimientos que contienen minerales oxidados de cobre y que consisten en vetas de pequeña corrida y potencia, o en mantos. Los yacimientos conocidos contienen pequeñas reservas de minerales, los que pueden ser exportados directamente previa selección a mano o ser concentrados en plantas de lixiviación. La prospección de estos yacimientos, principalmente los vetiformes, que generalmente se encuentran cubiertos por una capa de "chuca", debe dirigirse a hacer pequeñas labores de cateo o de limpieza en aquellas partes donde se presentan manchas rojizas de óxidos de hierro derivados de la oxidación de los sulfuros primarios de los yacimientos. Es posible contar también con regulares reservas de minerales sulfurados de cobre en los yacimientos tipo manto de esta región. No se han encontrado otros minerales metálicos de importancia a excepción de pequeños y esporádicos afloramientos de molibdenita. En cuanto a yacimientos no-metálicos, la franja de la Costa contiene mantos calizos que constituyen el principal recurso de este rubro.

Hacia el oriente se encuentra la franja de la Pampa, formada casi exclusivamente por rocas terciarias de la formación Oxaya y por rocas cuaternarias. Los yacimientos metalíferos están restringidos en esta región a los pequeños afloramientos de rocas mesozoicas que se presentan en la parte inferior de los valles principales del departamento; los yacimientos consisten en pequeñas y angostas vetas de cobre de escaso volumen. Sin embargo, la minería no-metálica tiene en esta franja sus mejores posibilidades. Se encuentran allí yacimientos de kieselguhr, dolomita, sal común, arcillas, carbonato y cloruro de calcio en las rocas terciarias, y sulfatos de alúmina y magnesita, mármoles y pizarras en las rocas mesozoicas.

Más hacia el oriente se presenta la tercera franja que comprende la Precordillera y Cordillera, y que está constituida por rocas de diversas edades. En rocas del Mesozoico y del Cenozoico Inferior se presentan numerosos

depósitos de cobre, plomo, zinc, plata, antimonio y bismuto, generalmente como yacimientos vetiformes, de poca corrida y reducida potencia; típicos entre ellos son los yacimientos del asiento minero de Tignamar. Estos yacimientos individualmente no son susceptibles de gran desarrollo, a pesar de sus leyes altas, en consideración al poco tonelaje que contienen, pero podrían constituir una importante fuente económica y de trabajo, considerados en un plan de fomento minero conjunto, el que puede verse favorablemente apoyado con la ejecución o mejoramiento de caminos de acceso a la zona. Un factor que facilita la prospección de estos yacimientos es su asociación con filones de pórfido, los que se presentan en el terreno conspicuamente como crestones de colores claros, blanco amarillento o anaranjado, que sobresalen debido a la mayor dureza que les comunica la silicificación que usualmente los afecta.

En esta franja, en áreas de metamorfismo de contacto, hay buenas posibilidades de encontrar minerales sulfurados de cobre en yacimientos estratiformes.

El desarrollo de yacimientos no-metálicos tiene en esta franja sus mejores posibilidades en los yacimientos de azufre, localizados en las altas cumbres de los conos volcánicos cuaternarios.

Una cuarta franja corresponde a la altiplanicie de la Puna, fundamentalmente compuesta por rocas cuaternarias, terciarias y cretácicas. Los yacimientos de manganeso son el principal constituyente metalífero en esta franja; el característico color oscuro a negro de sus minerales les hace fácilmente ubicables, aun desde cierta distancia; están principalmente relacionados a rocas de las formaciones Huaylas y Oxaya.

Los yacimientos no-metálicos más importantes consisten en los boratos acumulados en las cuencas cerradas del Altiplano.

Las investigaciones de Geología Económica realizadas por el Instituto de Investigaciones Geológicas en el departamento, han permitido acumular los antecedentes necesarios para programar una investigación sistemática de sus recursos de minerales, concentrándose en aquellos que presentan las mejores perspectivas de desarrollo. Se pueden así mencionar los siguientes objetivos principales de tal investigación:

1º Yacimientos metalíferos:

- Evaluación de los yacimientos de manganeso y obtención de muestras para fines metalúrgicos.
- Estudio y prospección de yacimientos cupríferos en la región de la Cordillera de la Costa.
- Investigaciones básicas que permitan evaluar la posible existencia de

yacimientos de cobre diseminado en la región de la Cordillera y Pre-cordillera.

— Estudio de los distritos argentíferos y de plomo, zinc y antimonio de Choquelimpie y de Tignamar.

2º Yacimientos no-metálicos:

— Investigación intensiva de los yacimientos de dolomita, kieselguhr, azufre, boratos, sal común, caolín, sulfatos de alumina y magnesia, etc. Esta investigación debe consultar el asesoramiento de expertos extranjeros en algunos de estos materiales, especialmente en lo que se relaciona a sus calidades y posibles mercados.

RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS*

En el departamento de Arica hay dos sistemas de drenaje superficial: uno constituido por dos cuencas que drenan hacia Bolivia y que designaremos como Sistema Hidrográfico Oriental y otro formado por cuatro cuencas que drenan hacia el océano Pacífico y que designaremos Sistema Hidrográfico Occidental.

La divisoria de aguas de estos sistemas es la Cadena Occidental, cuyos puntos más conspicuos son de norte a sur: cerros Caracarani, Chuquiananta, Cosapilla, Taapaca, Chapiquiña, Belén, Anorabe, Orcotunco, Anocarire, Chulluncallani y Guaiguasi (fig. 13).

SISTEMA HIDROGRÁFICO ORIENTAL

Este sistema corresponde a dos cabeceras de cuenca y dos cuencas cerradas.

La primera cabecera de cuenca, de 1.394 km² es drenada en su parte norte por los ríos Colpas y Putani, y en su parte sur por los ríos Cosapilla y Caquena, los que constituyen las nacientes del río Mauri en territorio boliviano.

La segunda cabecera de cuenca, de 2.388 km², es drenada por el río Lauca y sus afluentes. El río Lauca tiene un caudal medio de 1 m³/seg en la estación de aforo de Estancia El Lago (fig. 14).

La cuenca cerrada de la laguna de Chungará, de 275 km², tiene drenaje subterráneo hacia la laguna de Cotacotani, situada en el extremo noreste de la cuenca del Lauca.

En el extremo sureste del departamento está la cuenca cerrada del salar de Surire, con una superficie de 569 km².

SISTEMA HIDROGRÁFICO OCCIDENTAL

Este sistema está formado, de norte a sur, por el drenaje de las quebradas Escritos y Concordia y por las cuencas de los ríos Lluta, Azapa, Vitor y Camarones.

*Resumen basado en los siguientes informes:

"Hidrogeología del Departamento de Arica", por Eduardo Falcón M., del Instituto de Investigaciones Geológicas; Octavio Castillo U. y Fernando Alamos C., de la Corporación de Fomento de la Producción, 1965.

"Reconocimiento de las posibilidades de captación de agua subterránea en el sector agrícola de Chaca", por Eduardo Falcón M., del Instituto de Investigaciones Geológicas, 1966.

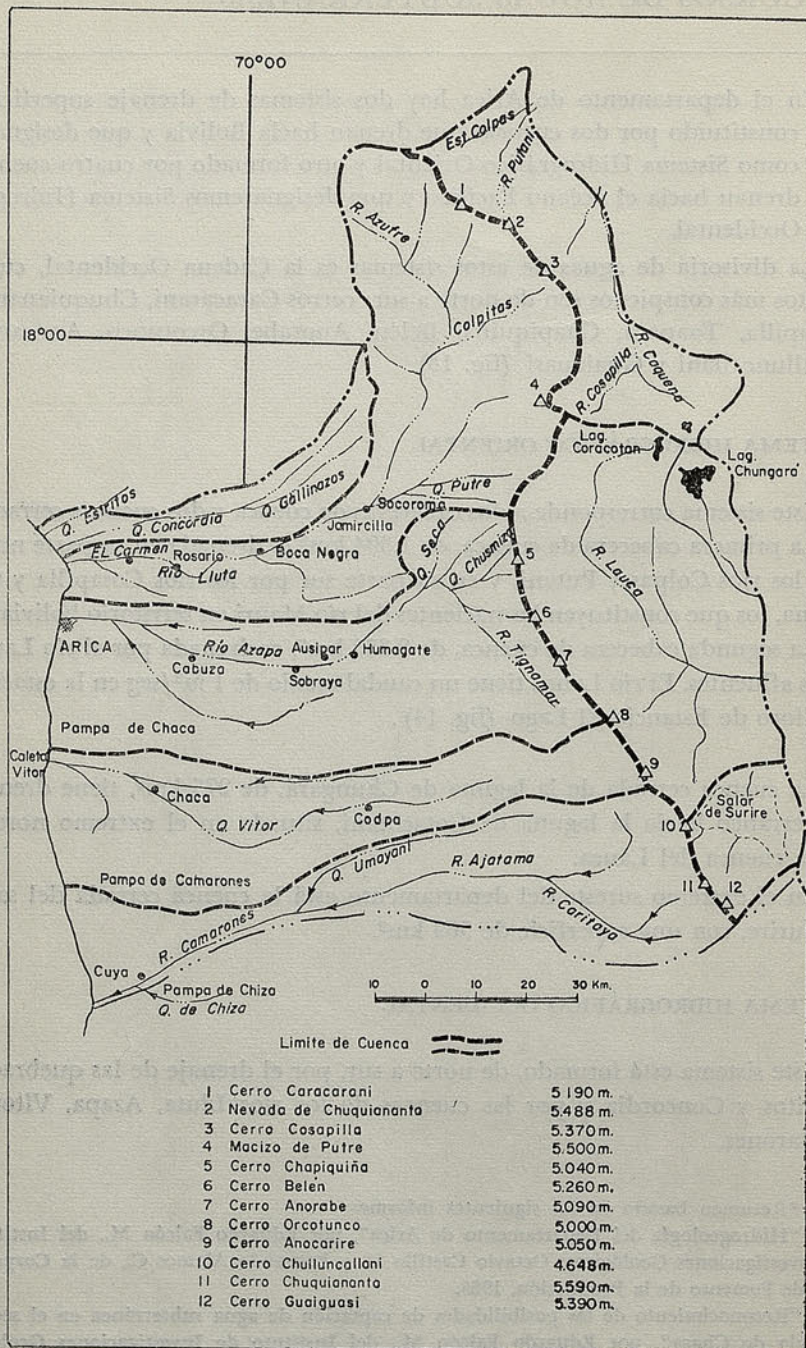


Figura 13. Cuencas hidrográficas del departamento de Arica

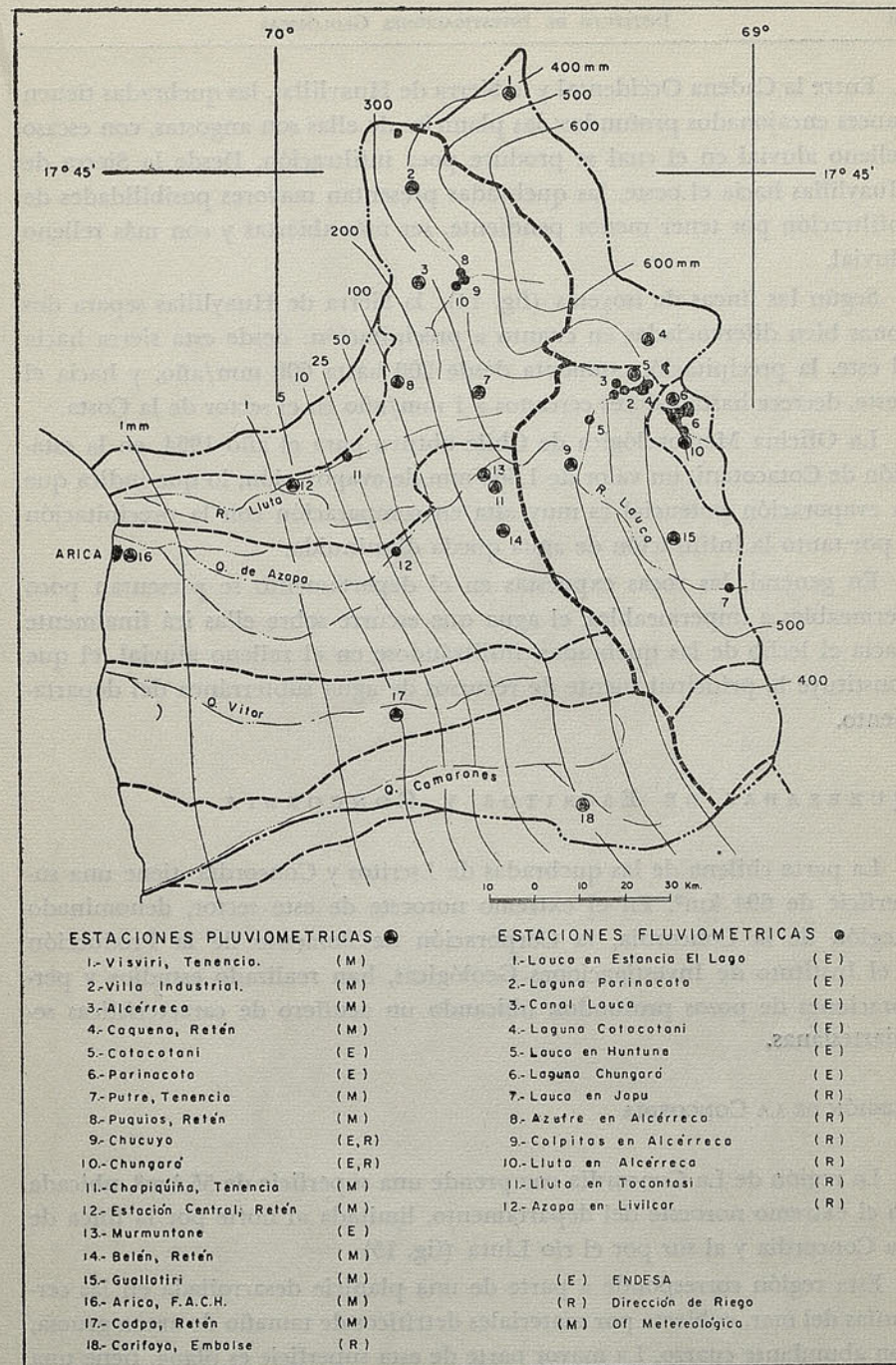


Figura 14. Estaciones pluviométricas y fluviométricas ISOYETAS SEGUN PROYECTO HIDROMETEREOLÓGICO

Entre la Cadena Occidental y la Sierra de Huaylillas, las quebradas tienen cauces encajonados profundos; las planicies de ellas son angostas, con escaso relleno aluvial en el cual se produce poca infiltración. Desde la Sierra de Huaylillas hacia el oeste, las quebradas presentan mayores posibilidades de infiltración por tener menor pendiente, ser más abiertas y con más relleno aluvial.

Según las líneas de isoyetas (fig. 14), la Sierra de Huaylillas separa dos zonas bien diferenciadas en cuanto a precipitación: desde esta sierra hacia el este, la precipitación aumenta desde 200 hasta 600 mm/año, y hacia el oeste, decrece hasta valores cercanos a 1 mm/año en el sector de la Costa.

La Oficina Meteorológica de Chile obtuvo para el año 1964, en la estación de Cotacotani, un valor de 1.364 mm de evaporación, lo que indica que la evaporación potencial es muy alta en comparación con la precipitación y por tanto la infiltración de agua queda disminuida.

En general, las rocas expuestas en el departamento se presentan poco permeables a impermeables, el agua que escurre sobre ellas irá finalmente hacia el lecho de las quebradas, infiltrándose en el relleno aluvial, el que constituye la principal fuente de recursos de agua subterránea del departamento.

QUEBRADAS DE ESCRITOS Y CONCORDIA

La parte chilena de las quebradas de Escritos y Concordia tiene una superficie de 694 km². En el extremo noroeste de este sector, denominado Región de la Concordia, la Corporación de Fomento de la Producción y el Instituto de Investigaciones Geológicas, han realizado estudios y perforaciones de pozos profundos, ubicando un acuífero de características semiartesianas.

REGIÓN DE LA CONCORDIA

La región de La Concordia comprende una superficie de 55 km², ubicada en el extremo noroeste del departamento, limitada al norte por la línea de La Concordia y al sur por el río Lluta (fig. 15).

Esta región corresponde a parte de una planicie desarrollada en las cercanías del mar, cubierta por materiales detríticos de tamaño de arena gruesa, con abundante cuarzo. La mayor parte de esta superficie es plana, tiene una inclinación hacia el mar de aproximadamente 11 m/km y está atravesada

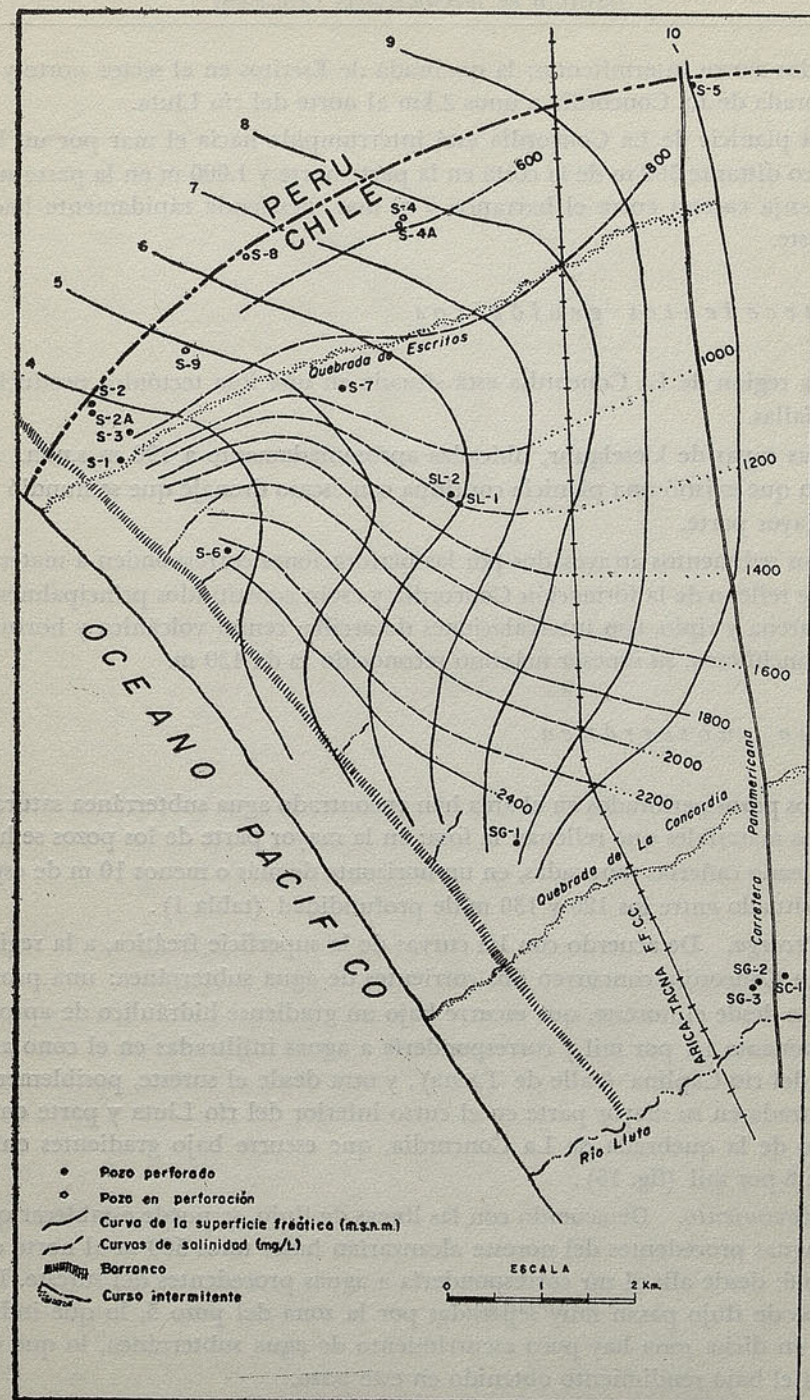


Figura 15. Mapa hidrológico de la región de La Concordia

por dos cursos intermitentes: la quebrada de Escritos en el sector norte y la quebrada de La Concordia a unos 2 km al norte del río Lluta.

La planicie de La Concordia está interrumpida hacia el mar por un barranco distante 500 m de la costa en la parte norte y 1.000 m en la parte sur; la franja costera entre el barranco y el mar, desciende rápidamente hacia el oeste.

Antecedentes geológicos

La región de La Concordia está situada en una fosa tectónica producida por fallas.

Las capas de kieselguhr, ubicadas aproximadamente a 190 m s.n.m., indican que existió una planicie continua con escaso drenaje que se hundió en su mayor parte.

Los sedimentos atravesados por las perforaciones corresponden a materiales de relleno de la formación Concordia y están constituidos principalmente por arena y ripio, con intercalaciones de arcilla, ceniza volcánica y horizontes conchíferos; su espesor máximo reconocido es de 430 m.

Agua subterránea

Los pozos perforados en el área han encontrado agua subterránea saturando los materiales que rellenan la fosa; en la mayor parte de los pozos se han empleado cañerías ranuradas, en un horizonte de más o menos 10 m de espesor, situado entre los 120 y 130 m de profundidad (tabla 1).

Recarga. De acuerdo con las curvas de la superficie freática, a la región de La Concordia concurren dos corrientes de agua subterránea: una proveniente desde el noreste, que escurre bajo un gradiente hidráulico de aproximadamente 1,1 por mil y correspondería a aguas infiltradas en el cono aluvial del río Caplina (valle de Tacna), y otra desde el sureste, posiblemente infiltrada en su mayor parte en el curso inferior del río Lluta y parte en el lecho de la quebrada de La Concordia, que escurre bajo gradientes entre 2,4 a 8 por mil (fig. 15).

Movimiento. De acuerdo con las líneas de flujo, se puede establecer que las aguas procedentes del noreste alcanzarían hasta unos 500 m al norte del pozo 6; desde allí al sur correspondería a aguas procedentes del sureste. Las líneas de flujo pasan muy separadas por la zona del pozo 5, lo que indica que en dicha zona hay poco escurrimiento de agua subterránea, lo que explica el bajo rendimiento obtenido en este pozo.

La temperatura del agua subterránea varía entre 29 y 31°C, mientras que la temperatura media anual de la ciudad de Arica es 20,2°C. Este hecho estaría indicando una procedencia del agua desde profundidades entre 300 a 360 m, de acuerdo a un gradiente geotérmico normal; sin embargo, es posible que en la región exista un gradiente geotérmico muy superior al normal que transmite calor al agua subterránea.

Descarga. En la Costa hay una franja con vegetación discontinua, que constituye una zona de descarga del agua continental. La figura 16 ilustra la probable posición de la zona de separación (interfase) entre el agua dulce y la del mar.

Capacidad de los sedimentos para transmitir y contener agua subterránea

La propiedad de los sedimentos saturados de transmitir agua es medida por el coeficiente de transmisibilidad (T), y la de contener agua es medida por el coeficiente de almacenamiento (S). Ambos coeficientes han sido determinados en el conjunto de los pozos 1, 2 y 3 y en el pozo 4, mediante pruebas de rendimiento del acuífero. Los resultados de estas pruebas de bombeo dan para los pozos 1, 2, y 3 coeficientes medios $T = 10.000 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ y $S = 2 \times 10^{-3}$; este último indica un acuífero de condiciones semiartesianas, lo que se explica por encontrarse el ranurado bajo una columna de material saturado de aproximadamente 100 m. En el pozo 4 se obtuvo un valor medio de $T = 700 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ el cual indica que en la zona de este pozo el acuífero presenta menor capacidad para transmitir agua que en la de los pozos 1, 2 y 3.

El área de los pozos 1, 2 y 3 se considera excepcional en la zona de estudio, ya que las curvas de la superficie freática señalan que a ella llega una concentración de flujo de agua subterránea.

Avance del cono de depresión

Al bombear un pozo se origina un cono de depresión en la superficie freática, determinado por la cantidad de agua extraída y los coeficientes T y S.

Con los coeficientes obtenidos en el sector de los pozos 1, 2 y 3, se calculó que si en el pozo 2, ubicado a una distancia de 1.200 m del mar, se extraen 100 l/seg de agua, en forma continua durante 5 días, el agua descendería 0,24 m bajo el nivel medio del mar, en un radio equivalente a la distancia

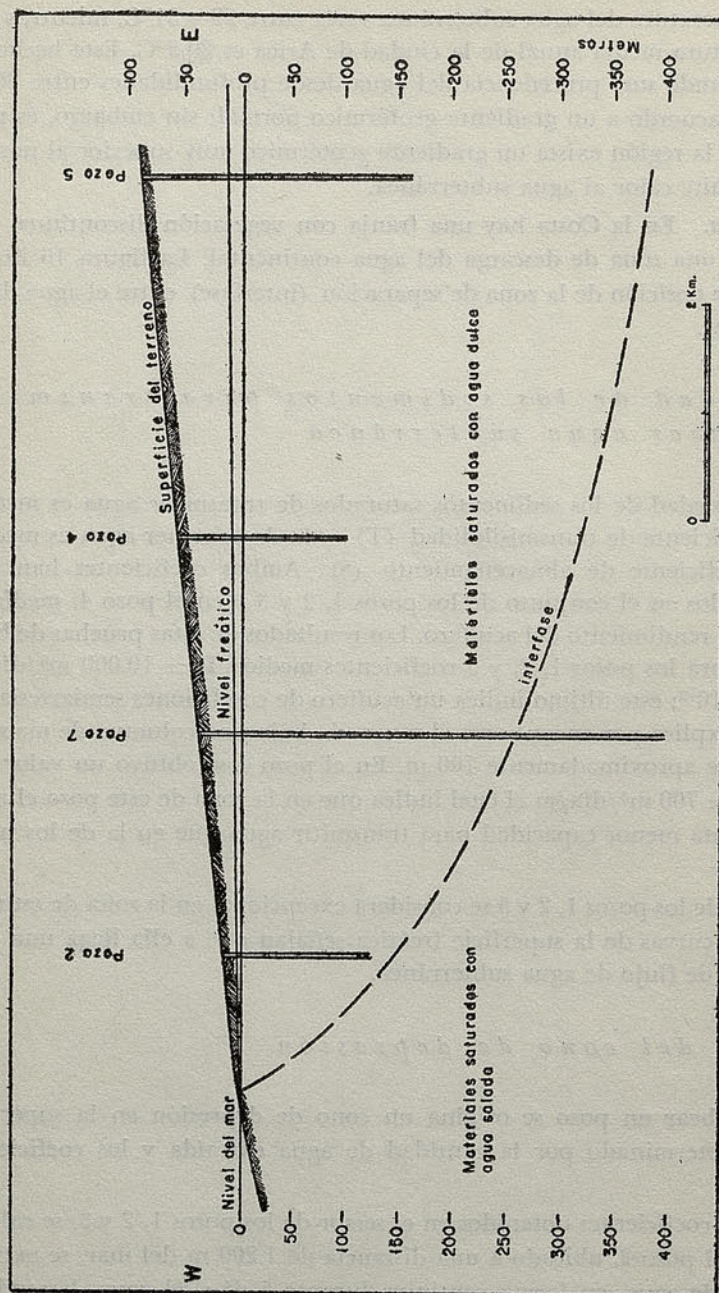


Figura 16. Perfil E-W en La Concordia, señalando la posible posición de la interfase

del pozo 2 al mar; la posición de la interfase subiría en la forma de un cono invertido en la parte baja del pozo.

Estos valores indicarían la posibilidad de intrusión de agua de mar hacia los pozos 1, 2 y 3, si ellos se someten a un bombeo excesivo y continuo.

Calidad química del agua subterránea

La calidad química del agua subterránea de la región de La Concordia, se conoce mediante los análisis de 34 muestras de agua realizados en el Laboratorio Químico del INC (tabla 2).

Se pueden establecer tres tipos de agua:

- 1) Con contenido salino variable entre 600 y 800 mg/l, que proceden del noreste.
- 2) Con contenido salino cercano a 2.600 mg/l, proveniente de la recarga del río Lluta
- 3) Resultante de la mezcla de los dos tipos anteriores.

En las aguas de la región, los ácidos fuertes (SO_4 y Cl) exceden a los ácidos débiles (CO_3).

En octubre de 1960 se efectuó una prueba de rendimiento de acuífero en el pozo 2, en la cual se bombeó un caudal constante de 150 l/seg durante 5 días; se observó en el agua extraída, una variación del contenido salino desde 696 hasta 835 mg/l; este último valor se obtuvo cerca de las 60 horas y se mantuvo hasta el final de la prueba. La variación media del contenido salino resultó aproximadamente logarítmica con respecto al tiempo de bombeo, hecho que indica que hasta las 60 horas, el aumento del contenido salino es similar al avance del cono de depresión. En la prueba realizada el 1º de octubre de 1963 se obtuvo, después de 215 horas, un contenido salino de 1.020 mg/l.

Recomendaciones

De acuerdo con los antecedentes disponibles, se recomienda:

1) La explotación de los pozos 4, 8 y 9 con un gasto para el conjunto no superior a 150 l/seg. Esta explotación se debe iniciar con gasto menor, incrementándose hasta alcanzar el máximo indicado, de modo de ir observando el comportamiento del acuífero, como también el posible efecto de salinización del agua.

2) El pozo 7 puede dejarse como pozo de observación del avance del cono de depresión y para observar la variación de salinidad de agua procedente del sureste.

3) Los pozos 1, 2, 3 y 6 se pueden utilizar especialmente para controlar la salinización de agua, como consecuencia de la posible intrusión de agua de mar, y como pozos de observación del avance del cono de depresión.

CUENCA DE LLUTA

La cuenca del río Lluta tiene una superficie de 3.425 km²; es drenada por el río Lluta y sus afluentes, Azufre, Guancarane, Chuquiananta, Allane, Putre, Colpitas y Socoroma. El río Azufre nace a unos 4.800 m s.n.m. al pie del volcán Tacora; su caudal medio es del orden de 1 m³/seg en la estación de aforo de Alcérreca (fig. 14); las aguas de este río son fuertemente ácidas, tienen un pH entre 1,6 y 2,6; la cantidad de sólidos disueltos varía entre 4.200 (marzo) y 14.500 (diciembre) partes por millón (ppm); este río es el factor que más influye en la mala calidad de las aguas del río Lluta. El río Colpitas es la fuente que aporta la mayor cantidad de boro al río Lluta.

Antes de recibir al río Azufre, el río Lluta tiene aguas alcalinas con un pH 7,35 a 8,1; después es ácido, con un pH entre 2 a 3,5.

El río Lluta tiene un caudal medio anual de 2,1 m³/seg en la estación de aforo de Tocontasi (fig. 14); es una corriente perenne hasta su desembocadura. Aguas arriba de Jamiralla este río y sus tributarios forman cañones profundos; en seguida pasa por un cañón angosto que corta al eje del monocinal de la Sierra de Huaylillas, y aguas abajo de este punto el valle se ensancha gradualmente, alcanzando hasta 1.500 m cerca de Rosario.

VALLE DE LLUTA

En este estudio se considera la parte del valle que se extiende desde Boca Negra hasta la desembocadura del río Lluta donde éste ha desarrollado un amplio cono aluvial.

Se han efectuado perforaciones exploratorias para agua subterránea en las localidades de Boca Negra, Rosario y El Carmen; los resultados de estas investigaciones han sido negativos.

En Boca Negra, en el año 1963, CORFO perforó el pozo 437 hasta una profundidad de 100 m; el terreno atravesado es el siguiente:

Desde (m)	Hasta (m)	Material
0	5	Arena y ripio
5	13	Ceniza volcánica, arcilla y bolones
13	48	Arcilla, algo de arena, ripio y bolones
48	100	Roca (¿liparita?)

El 6 de junio de 1963 se efectuó una prueba de bombeo en este pozo (con ranurado entre 33 y 38 m); se bombearon 5 l/seg y el pozo se agotó en 10 minutos. El agua tenía dureza total de 471 mg/l de CaCO₃ y 1.832 mg/l de sólidos disueltos.

En la localidad de Rosario, en la Colonia Julio Fuenzalida, CORFO perforó el pozo 373, hasta una profundidad de 332 m; el terreno atravesado es el siguiente:

Desde (m)	Hasta (m)	Material
0	15	Bolones, ripio, arena, muy poca arcilla
15	71	Materiales gruesos, abundante arcilla
71	325	Secuencia arcillosa
325	332	Roca basal

Este pozo dio menos de 1 l/seg de agua.

En 1953 la Dirección de Riego perforó tres pozos en la localidad de El Carmen, en la Colonia Luis Arteaga de la Caja de Colonización Agrícola; el terreno atravesado es el siguiente:

Pozo N°	Desde (m)	Hasta (m)	Material
Lluta 1	0	29	Grava, arena y bolones
	29	62	Arena, arcilla y grava
Lluta 2	0	12	Grava, arena y bolones
	12	55	Grava, arcilla y arena
Lluta 3	0	16	Arena, grava y bolones
	16	30	Arcilla, arena y bolones
	30	35	Arena, gravilla y arcilla
	35	51	Arena y grava
	51	191	Arcilla, arena y grava

No se tienen antecedentes sobre acuíferos ubicados en El Carmen, existen solamente filtraciones menores.

Recomendaciones

Considerando que el problema hidrológico del Valle de Lluta, no es la cantidad de agua sino su calidad, se recomienda estudiar las fuentes contaminantes, mediante análisis sistemáticos del agua superficial de la cuenca.

CUENCA DE AZAPA

La cuenca de Azapa tiene una superficie de 3.256 km². El río Azapa lleva agua solamente en su parte superior; datos irregulares para los años 1937-40, indican un caudal del orden de 1,9 m³/seg en la estación de aforo de Livilcar (fig. 14). El río San José (parte baja del Azapa) llega al mar sólo esporádicamente cada 4 ó 5 años y generalmente por unos pocos días.

Desde la localidad de Cabuza hasta la Costa, se encuentra el área agrícola regada principalmente con agua subterránea.

VALLE DE AZAPA

Antecedentes geológicos. El curso inferior del valle de Azapa se ha desarrollado cortando las formaciones Oxaya y Azapa.

La formación Azapa está cortada por el valle desde aguas arriba de Sobraya, hasta cerca de la localidad de Cabuza. En este lugar el valle corta un intrusivo de granodiorita, donde se angosta hasta 700 m. Aguas abajo de este punto el valle atraviesa las formaciones Oxaya y Azapa.

Propiedades hidrogeológicas de los sedimentos. Los materiales de las formaciones Oxaya y Azapa presentan índice bajo de permeabilidad, de tal modo que en relación al relleno aluvial y para los fines del desarrollo de agua subterránea, ellos se pueden considerar como piso impermeable.

El relleno aluvial tiene espesores entre 50 y 70 m y está constituido por ripio medio a grueso, con cantidades variables de arena, limo y arcilla. Estos materiales se encuentran en disposición lenticular; cuando el limo y la arcilla no están presentes, el material tiene buena permeabilidad y en los pozos allí perforados se han obtenido buenos rendimientos.

El relleno se ha mezclado en parte con materiales provenientes de afluentes y deslizamientos de la formación Oxaya, como es el caso de la quebrada del Diablo; el cono de esa quebrada se ha interstratificado con el relleno, produciendo una disminución de la permeabilidad.

En el sector Cabuza-Puente Saucache, el valle tiene un ancho variable entre 700 y 2.200 m y una pendiente media de 1,7%; se produjo allí un relleno homogéneo, con permeabilidades uniformes y mejor capacidad de almacenamiento de agua.

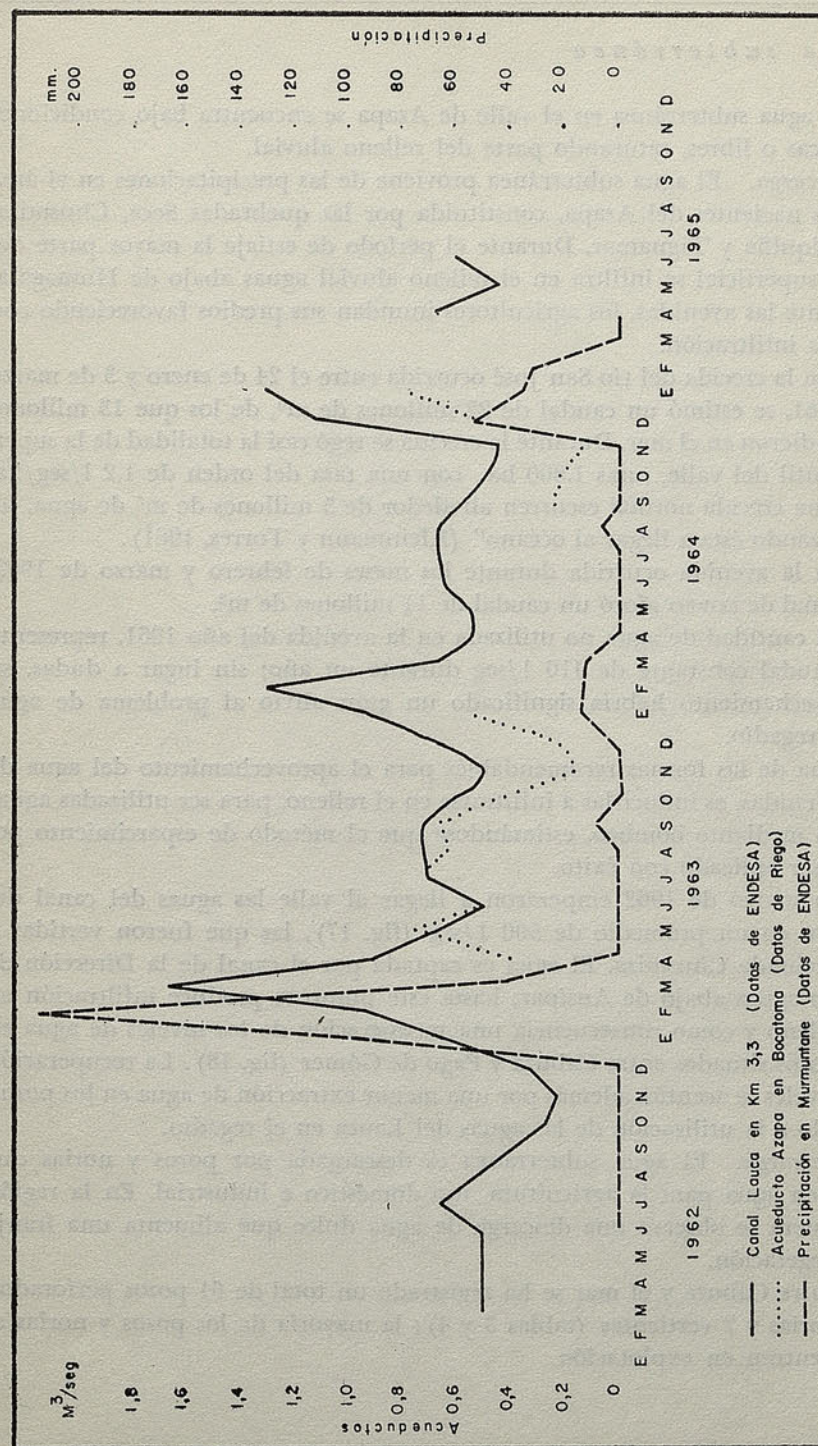


Fig. 17.- Aporte de agua superficial del río Lauca

Agua subterránea

El agua subterránea en el valle de Azapa se encuentra bajo condiciones freáticas o libres, saturando parte del relleno aluvial.

Recarga. El agua subterránea proviene de las precipitaciones en el área de las nacientes del Azapa, constituida por las quebradas Seca, Chusmiza, Chapiquiña y Tignamar. Durante el período de estiaje la mayor parte del agua superficial se infiltra en el relleno aluvial aguas abajo de Humagata. Durante las avenidas, los agricultores inundan sus predios favoreciendo con ello la infiltración.

“En la crecida del río San José ocurrida entre el 24 de enero y 3 de marzo de 1961, se estimó un caudal de 22 millones de m³, de los que 13 millones se perdieron en el mar. Durante la crecida se regó casi la totalidad de la superficie útil del valle, unas 1.800 ha., con una tasa del orden de 1,2 l/seg/ha. En una crecida normal escurren alrededor de 5 millones de m³ de agua, no alcanzando ésta a llegar al océano” (Kleinmann y Torres, 1961).

En la avenida ocurrida durante los meses de febrero y marzo de 1963, personal de CORFO aforó un caudal de 11 millones de m³.

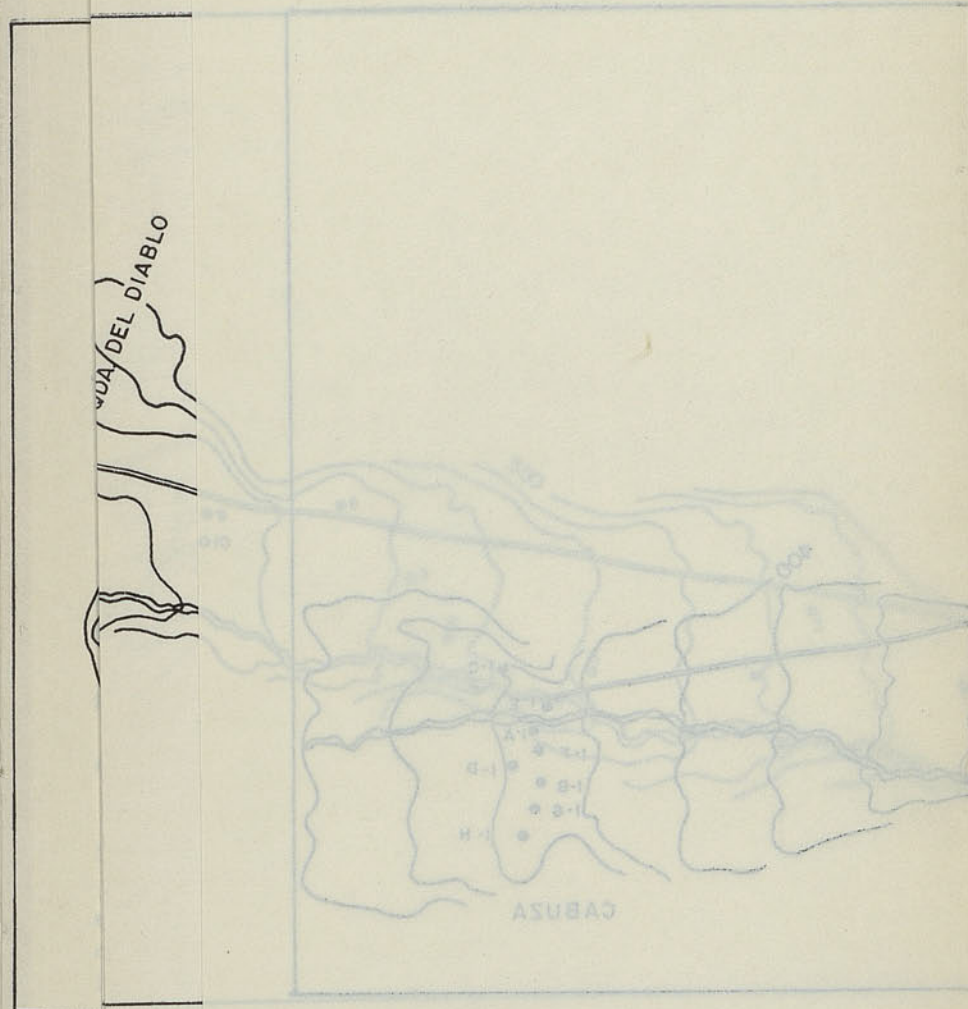
La cantidad de agua no utilizada en la avenida del año 1961, representa un caudal constante de 410 l/seg durante un año; sin lugar a dudas, su aprovechamiento habría significado un gran alivio al problema de agua para regadío.

Una de las formas recomendables para el aprovechamiento del agua de las avenidas, es inducirlos a infiltrarse en el relleno, para ser utilizadas aguas abajo mediante bombeo, estimándose que el método de esparcimiento podría ser aplicado con éxito.

En marzo de 1962 empezaron a llegar al valle las aguas del canal del Lauca, en un promedio de 500 l/seg (fig. 17), las que fueron vertidas a la quebrada Chusmiza. El agua es captada por el canal de la Dirección de Riego aguas abajo de Ausípar; hasta este punto se produce infiltración en el relleno y como consecuencia una recuperación de los niveles de agua en los pozos situados entre Cabuza y Pago de Gómez (fig. 18). La recuperación de niveles se acentúa además por una menor extracción de agua en los pozos, debido a la utilización de las aguas del Lauca en el regadío.

Descarga. El agua subterránea es descargada por pozos y norias que extraen agua para la agricultura, uso doméstico e industrial. En la región costanera se observa una descarga de agua dulce que alimenta una franja de vegetación.

Entre Cabuza y el mar se ha registrado un total de 61 pozos perforados, 57 norias y 7 vertientes (tablas 3 y 4); la mayoría de los pozos y norias se encuentran en explotación.



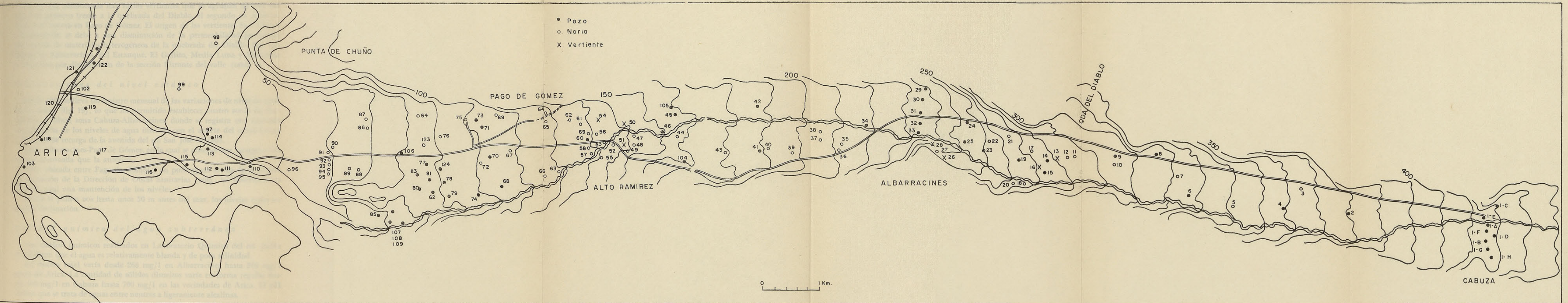


Figura 18. Ubicación de pozos - Valle de Azapa

A g t

E

freát

R

de l

Cha

agua

Dur

ello

“

de l

se p

ficie

En

alca

E

pers

I

un

apre

par

U

las

aba

dría

I

Lau

la c

Rie

el r

los

de

deb

ext

cos

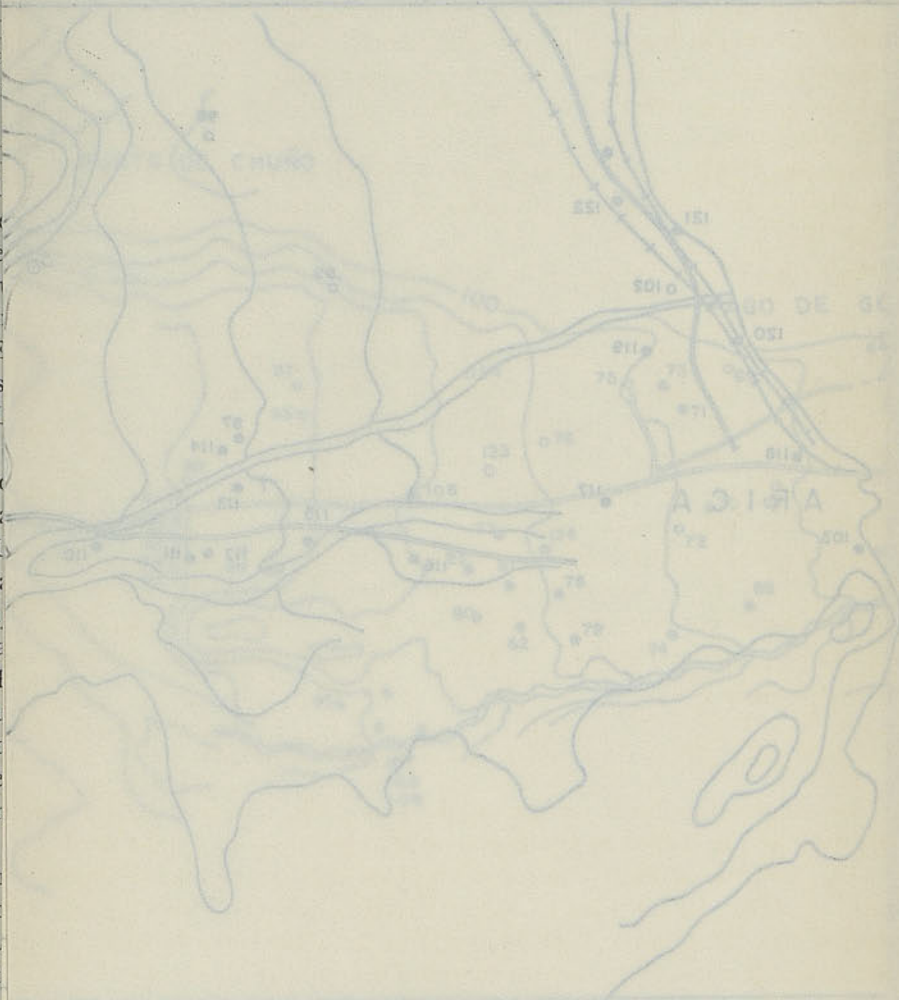
de

de

de

57

en



“En 1961 el área normalmente regada con agua subterránea era del orden de 800 há, con un gasto continuo de 400 l/seg y una tasa de riego de 0,5 l/seg/há. En el mes de abril de 1961 se realizó un aforo de 68 pozos, estimándose un gasto instantáneo de 585 l/seg” (Kleimann y Torres, 1961).

Se estima que actualmente existe una extracción total de agua subterránea de alrededor de 600 l/seg.

En el área considerada hay varias vertientes que se agrupan en tres sectores: el primero frente a la quebrada del Diablo, el segundo en Albarracines y el tercero en Pago de Gómez. El origen de las vertientes San Miguel y Concepción se debe a una disminución de la permeabilidad provocada por aporte de materiales heterogéneos de la quebrada del Diablo. Las vertientes de Albarracines, del Estanque, El Gallito, Media Luna y Mitachica se originan por disminución de la sección filtrante del valle (tabla 4).

Fluctuaciones del nivel estático

Desde 1960 se lleva un registro mensual de las variaciones de nivel de agua en los pozos (fig. 19), lo que ha permitido establecer cuatro zonas de fluctuación, a saber: zona Cabuza-Albarracines, donde se registra una marcada recuperación de los niveles de agua iniciada con el aporte del canal Lauca y el efecto de recarga de la avenida del río San José en 1963.

Zona Albarracines-Pago de Gómez, en la cual se observa una recuperación menos acentuada que la anterior.

Zona ubicada entre Pago de Gómez y un poco aguas arriba de la planta de captación de la Dirección de Obras Sanitarias (DOS); las observaciones indican aquí una mantención de los niveles.

Desde la planta DOS hasta unos 50 m antes del mar, los niveles están en franca declinación.

Calidad química del agua subterránea

Los análisis químicos realizados en Laboratorio Químico del INC (tabla 5), indican que el agua es relativamente blanda y de poca salinidad.

La dureza total varía desde 268 mg/l en Albarracines hasta 366 mg/l cerca de Arica. La cantidad de sólidos disueltos varía en forma regular desde 500 mg/l en Cabuza hasta 700 mg/l en las vecindades de Arica. El pH indica que se trata de aguas entre neutras a ligeramente alcalinas.

Desarrollo del agua subterránea

Los pozos se encuentran agrupados en diversas zonas y su explotación ha producido descensos desuniformes del nivel freático en el valle. Es de es-

Fig. 19 - Hidrograma - Valle de Arica

“En 1961 el área normalmente regada con agua subterránea era del orden de 800 há, con un gasto continuo de 400 l/seg y una tasa de riego de 0,5 l/seg/há. En el mes de abril de 1961 se realizó un aforo de 68 pozos, estimándose un gasto instantáneo de 585 l/seg” (Kleimann y Torres, 1961).

Se estima que actualmente existe una extracción total de agua subterránea de alrededor de 600 l/seg.

En el área considerada hay varias vertientes que se agrupan en tres sectores: el primero frente a la quebrada del Diablo, el segundo en Albarracines y el tercero en Pago de Gómez. El origen de las vertientes San Miguel y Concepción se debe a una disminución de la permeabilidad provocada por aporte de materiales heterogéneos de la quebrada del Diablo. Las vertientes de Albarracines, del Estanque, El Gallito, Media Luna y Mitachica se originan por disminución de la sección filtrante del valle (tabla 4).

Fluctuaciones del nivel estático

Desde 1960 se lleva un registro mensual de las variaciones de nivel de agua en los pozos (fig. 19), lo que ha permitido establecer cuatro zonas de fluctuación, a saber: zona Cabuza-Albarracines, donde se registra una marcada recuperación de los niveles de agua iniciada con el aporte del canal Lauca y el efecto de recarga de la avenida del río San José en 1963.

Zona Albarracines-Pago de Gómez, en la cual se observa una recuperación menos acentuada que la anterior.

Zona ubicada entre Pago de Gómez y un poco aguas arriba de la planta de captación de la Dirección de Obras Sanitarias (dos); las observaciones indican aquí una mantención de los niveles.

Desde la planta dos hasta unos 50 m antes del mar, los niveles están en franca declinación.

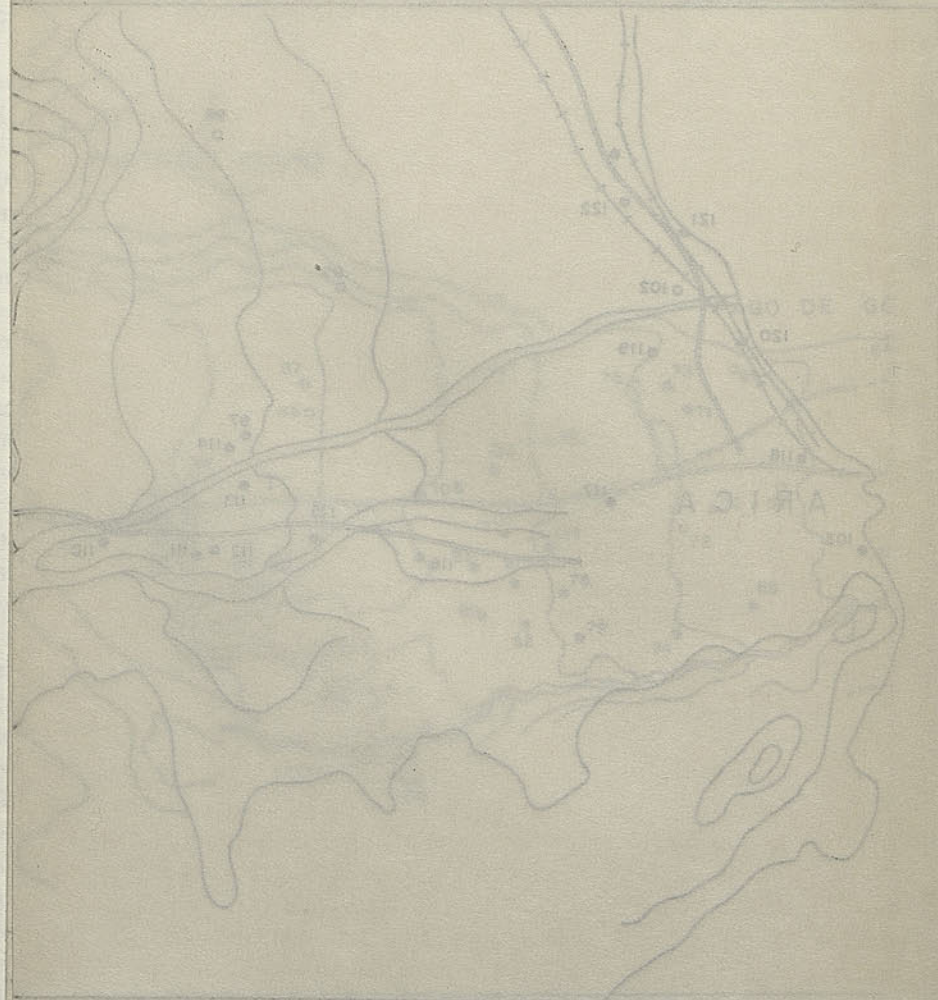
Calidad química del agua subterránea

Los análisis químicos realizados en Laboratorio Químico del INE (tabla 5), indican que el agua es relativamente blanda y de poca salinidad.

La dureza total varía desde 268 mg/l en Albarracines hasta 366 mg/l cerca de Arica. La cantidad de sólidos disueltos varía en forma regular desde 500 mg/l en Cabuza hasta 700 mg/l en las vecindades de Arica. El pH indica que se trata de aguas entre neutras a ligeramente alcalinas.

Desarrollo del agua subterránea

Los pozos se encuentran agrupados en diversas zonas y su explotación ha producido descensos desuniformes del nivel freático en el valle. Es de es-



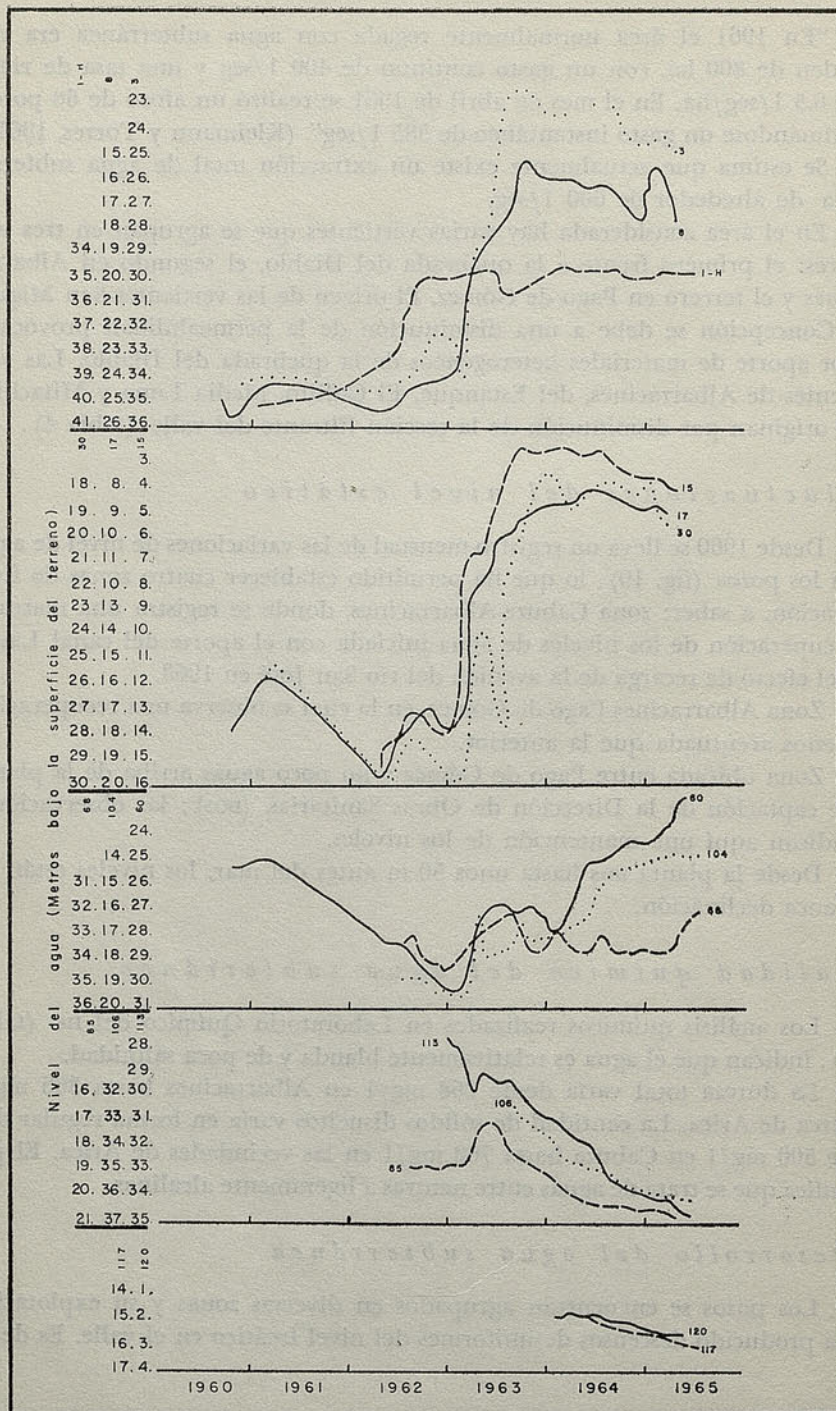


Fig. 19.- Hidrogramas - Valle de Azapa.

pecial consideración la extracción concentrada en la zona situada entre la planta dos y el Retén Estadio; de esta zona se extrae aproximadamente el 50% del total de agua subterránea bombeada en el valle.

En los pozos perforados por CORFO, las profundidades habilitadas varían entre 54 m (pozo 68) y 96 m (pozo 105).

Los gastos específicos varían entre 0,5 y 11,3 l/seg/m. En los pozos del sector puente Saucache-Retén Estadio, este coeficiente varía entre 2,12 (pozo 114) y 11,3 (pozo 111), y en el sector de la planta dos, entre 1,0 y 6,5. Estas dos zonas son las que tienen mayor rendimiento del valle.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los antecedentes expuestos, se puede concluir lo siguiente:

1) Antes de la llegada de las aguas del canal Lauca, la cantidad de agua subterránea posible de extraer, sin producir alteraciones graves en el nivel freático, era del orden de 400 l/seg.

2) Una vez que los niveles de agua en los pozos estén recuperados, la cantidad posible de extraer será del orden de 600 l/seg.

3) El efecto de recarga de las avenidas es muy importante en el régimen de agua subterránea y como un alto porcentaje del agua de estas avenidas se pierde en el mar, debido a la rapidez con que escurren, se recomienda la utilización del método de esparcimiento de agua, con el propósito de inducir una recarga en el relleno.

4) La recuperación de los niveles de agua ha sido efectiva en la parte situada aguas arriba de la planta dos, en los últimos tres años. Sin embargo, desde dicho lugar hasta los pozos que se explotan en la parte baja, el descenso de niveles ha sido continuo.

5) En consideración a los resultados positivos obtenidos en la región de La Concordia y a las buenas características agrícolas del valle de Azapa, sería recomendable iniciar la explotación de las aguas subterráneas de La Concordia, en forma paulatina, hasta alcanzar un caudal medio de 150 l/seg para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica, pudiendo en consecuencia destinarse esta misma cantidad de agua subterránea del valle de Azapa para incrementar su agricultura.

CUENCA DE VÍTOR

La cuenca de Vítor tiene una superficie de 2.269 km². La quebrada Vítor es drenada por el río Codpa, que está formado por varios cauces menores que nacen en la Cadena Occidental.

El río Codpa es perenne hasta la villa de ese nombre, aguas abajo de ese lugar es intermitente. Cerca de Codpa se ha estimado el siguiente caudal del río (Ojeda, 1945):

Periodo	Caudal
Enero — abril	más de 300 l/seg
Mayo — agosto	de 250 a 200 l/seg
Sept. — octubre	de 200 a 130 l/seg
Noviembre	de 130 a 40 l/seg
Diciembre	de 40 a 20 l/seg

La quebrada Vitor recibe por el norte los afluentes Apanza y Garza. La agricultura del valle se ha concentrado en unos pocos pueblos de los cuales el más importante es Chaca, que se extiende desde la unión de las quebradas Vitor y Garza, hasta 6 km aguas arriba. Este sector tiene un ancho medio de 500 m y una superficie agrícola de 284 há, la que se encuentra reducida a 200 há debido a la escasez de agua. La planicie del valle en Chaca está a unos 370 m bajo las pampas de Chaca (al norte) y Camarones (al sur); la pendiente media del valle es de un 2%.

En 1954 la Dirección de Riego perforó dos pozos en la Hacienda Andacollo; el terreno atravesado es el siguiente:

Pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Material
1	0	9,80	Bolones, grava, arcilla
	9,80	28,00	Arcilla, tiza
	28,00	50,00	Arcilla, arena fina
	50,00	100,00	Arcilla limosa, gravilla
2	0	0,90	Tierra vegetal
	0,90	2,00	Arcilla, arena fina
	2,00	10,00	Bolones, grava, arena
	10,00	11,80	Arena, grava, arcilla
	11,80	17,70	Bolones, grava, arena
	17,70	51,00	Arcilla, arena

Del material descrito se infiere que el relleno aluvial tiene un espesor entre 20 y 30 m, bajo el cual están los materiales arcillosos de la formación Azapa.

Hay 23 norias que aprovechan el agua almacenada en el relleno, la que proviene de la saturación de éste con agua de las avenidas, que ocurren cada 4 ó 5 años según comunicación de los agricultores. La profundidad de las norias varía entre 8 y 16 m (tabla 6). El nivel de agua en las norias sube hasta cerca de la superficie después de las avenidas y desciende hasta el fondo de ellas, antes de la avenida siguiente. En los períodos de mayor escasez de agua, las norias se agotan con un bombeo de alrededor de 3 l/seg durante 30 minutos.

Los análisis realizados por el Laboratorio Químico del INC, indican que en el sector agrícola de Chaca, las aguas subterráneas tienen características próximas a agua dura con alto contenido salino.

La dureza total varía desde 600 hasta 1.200 mg/l. La cantidad de sólidos disueltos fluctúa entre 1.100 y 2.200 mg/l. El pH indica que las aguas son ligeramente alcalinas (tabla 7).

No existen condiciones favorables para el desarrollo del agua subterránea mediante sondajes. Es posible aumentar la cantidad de agua extraída en las norias, profundizándolas a través de todo el relleno aluvial, hasta alcanzar los materiales arcillosos de la formación Azapa.

En Caleta Vitor hay unas pocas norias de 4 a 6 m de profundidad, con un nivel de agua entre 2 y 3 m bajo la superficie. Estas norias se agotan con un bombeo de alrededor de 1 l/seg durante unos pocos minutos.

CUENCA DE CAMARONES

La cuenca de Camarones tiene una superficie de 2.344 km². Es drenada por el río Camarones que tiene como tributarios los ríos Caritaya y Atajama. En los períodos de menor caudal, el río Camarones llega al mar con aproximadamente 25 l/seg.

Desde Taltape hasta Cuya, el valle se encuentra entre 700 y 800 m bajo la pampa de Camarones (al norte) y la pampa de Chiza (al sur). Desde Taltape al mar el valle tiene una pendiente media de 1,3%.

La quebrada de Camarones recibe por el norte, a unos 8 km aguas abajo de Taltape, a la quebrada Humayani, y por el sur, a unos 11 km aguas arriba de la caleta de Camarones, a la quebrada de Chiza.

El agua del río Camarones tiene alto contenido salino que proviene de vertientes y tributarios situados cerca de su origen. A una distancia de 20 a 25 km del mar, existe un aumento de salinidad, con impregnación de sulfato de aluminio.

Tabla Nº 1
REGISTRO DE POZOS - REGION DE LA CONCORDIA

Nº	Perforador	Profundidad perforada (m)	Profundidad ranurado (m)	Díametro cantería	Nivel de agua (m)	Iniciación perforación	Gasto (l/seg)	Depresión (m)	Gasto específico (l/seg/m depresión)	Ubicación
S-1	CORRO 303	200	126	12"	12,90	25/11/59	32	17,40	1,8	Concordia
S-2	" 344	136	—	—	14,80	9/ 5/60	50	3,20	15,6	"
S-2A	" 435	150	132,38	6"	14,04	10/12/62	—	—	—	"
S-3	" 352	136	125,50	10"	14,45	8/ 5/60	25	5,90	4,23	"
S-4	" 377	155,60	144,55	12"	45,86	19/ 1/61	35	10,14	3,45	"
S-4A	" 436	125,50	—	—	—	—	—	—	—	"
S-5	" 450	253,60	122,50	14"	83,60	4/ 7/63	3,5	—	—	"
S-6	" 466	144	139,63	8"	16,61	1/10/63	—	—	—	"
S-7	" 467	432	—	16"	34,80	6/ 1/64	—	—	—	"
S-8	" 502	Iniciado	—	—	—	—	—	—	—	"
S-9	" 503	270	—	—	—	10/10/65	—	—	—	"
SC1	" 388	395	300,97	6"	31,56	28/ 5/62	25	9,40	2,65	Cárcel
SL1	" 336	59	55,34	10"	42,73	21/12/59	10	5,00	2	Acropuerto
SL2	Calzac 465	61	60,50	10"	40,85	—	8	9,28	0,86	"
SG1	CORRO 431	152	146,46	12"	31,45	15/ 4/63	55	2,96	18,5	700 m al norte de Quebrada Concordia
SG2	" 451	168	83,40	10"	29,52	27/11/63	14	—	—	Al lado de la Cárcel
SG3	" 468	384	80,64	12"	28,91	23/11/64	30	10	3	"

Tabla Nº 2
ANÁLISIS QUÍMICOS (mg/l) DE AGUA SUBTERRÁNEA
REGION DE LA CONCORDIA

Pozo	Fecha análisis	Sólidos disueltos	Silice	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Bicarb. sodato	Sulfato	Cloruro	Nitrato	Total	DUREZA No carbonatosa	pH	Temperatura °C
S-1	25/10/63	1.020	70	153	14	158	10	68	115	435	6,6	440	384	7,02	23
S-2	28/11/60	696	77	87	15	97	12	92	168	170	10	281	206	7,44	24
S-3	23/ 5/61	650	79	100	5	84	10	88	165	151	2,8	270	198	7,20	17
S-4	14/ 3/63	582	53	50	4,9	130	9,2	74	64	211	14	144	83	7,28	26
S-5	20/ 6/63	625	61	38	4,4	132	14	63	94	211	6,6	112	60	6,74	20
S-6	4/ 3/64	2.425	71	279	5,2	358	41	123	648	680	2,5	909	808	6,81	23
S-7	7/ 8/64	600	45	70,5	9	107	7	195,6	172,6	71,2	14,6	213,2	52,9	7,12	16
SC1	14/ 3/63	2.275	47	250	69	384	36	74	761	670	1,3	906	845	6,53	26
SL1	15/ 1/60	1.080	53	54,5	44,9	282,4	14,6	64,1	110,9	430,1	3,5	154,8	102,2	7,44	23
SG1	15/ 5/63	2.903	56	352	95	451	52	89	933	900	2,3	1.267	1.164	6,72	18
SG2	6/12/63	2.700	60	283	82	465	53	71	879	808	0,3	1.041	983	6,60	25

Tabla N° 3

REGISTRO DE POZOS — VALLE DE AZAPA

Nº	Ubicación o Dueño	Perforador	Profundidad perforada (m)	Nivel de agua (m)	Gasto (l/seg)	Depresión (m)
1-(A)	Cabuza	Riego 1	79			
1-(B)	Cabuza	Riego 2	137			
1-(C)	Cabuza					
1-(D)	Cabuza	Riego 4	39,5			
1-(E)	Cabuza	Riego 5	52			
1-(F)	Cabuza	Riego 3	71			
1-(G)	Cabuza					
1-(H)	Cabuza	Riego 6				
2	Suc. Truffa Quina					
4	César Berguño					
6	Oscar Barrientos					
8	Isidor Andía					
9	Amadeo Carbone					
14	Dirección de Riego					
15	Dirección de Riego					
19	Amadeo Carbone					
24	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
25	Caja Col. Agríc. (J. Noé)	CORFO 372	80	18,87	20	28,28
29	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
30	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
31	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
32	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
33	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
34	Caja Col. Agríc. (J. Noé)					
41	Abel Garibaldi					
42	Antonio Gardilcic					
45	Antonio Gardilcic					
46	Hugo Mozó					
60	Chadid Hassad					
68	Elías Buner	CORFO 389	68	31,01	32	6
70	Esteban Gardilcic					
71	Hugo Mozó					
73	Chadid Hassad					
74	Parceleros de Bella-vista					

Nº	Ubicación o Dueño	Perforador	Profundidad perforada (m)	Nivel de agua (m)	Gasto (l/seg)	Depresión (m)
77	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 49	55	18	24,8	21
78	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 184	82	21	20	9,46
79	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 185	53	20,56	23	10,88
80	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 186	79	24,50	11,5	8,58
81	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 48	55,6	14,20	52,70	8,10
82	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 47	50	15,80	40	9,50
83	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 434	62	21	29	8,58
85	Rafael Defilipies					
97	Olivarera Azapa	CORFO 334				
100	Chinchorro Norte (O. Pérez)	CORFO 414	221			
101	Warrant's América					
103	Hotel Pacífico	Riego (1)	59,6	3,5		
104	Las Violetas	CORFO 378	342	17,34	24	46,66
105	Las Animas (H. Mozó)	CORFO 370	175	31,53	32	37,47
106	Observación Azapa	CORFO 452	96	32,62		
107	R. Defilipies (1)	CORFO 394	81	22,8	6,5	
108	R. Defilipies (2)	CORFO 415	36,8			
109	R. Defilipies (3)	CORFO 416	105	47,74	23	9,66
110	Puente Saucache (D. O. S. 568)	CORFO 406	110	24,75	70	11,65
111	Saucache	D. O. S. 650	85,15	33	50	4,41
112	Saucache (D. O. S. 569)	CORFO 407	110	27,6	55	10,40
113	Observación Saucache	CORFO 434	69,3	26,25		
114	Olivarera Azapa	CORFO 512	83	33,15	20	9,35
115	Estadio Municipal	CORFO 399	67	18,40	25	5,54
116	Retén Estadio Saucache	CORFO 525	136,8	27,93	32	14
117	Cementerio	CORFO 476	34	14,45		
118	Observación Casino	CORFO 471				
119	Regimiento Rancagua	CORFO 363	37	12,67	8	12,33
120	Universidad de Chile	CORFO 475				
121	Chichorro 2	CORFO 472				
122	Central Diesel — EN-DESA	CORFO 386	45	16,65	6	10
123	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 491	105	27,1	22	23,55
124	Planta Agua Potable Azapa	D. O. S. 649	171	30,42	30	14,58

Tabla Nº 4

REGISTRO DE NORIAS
VALLE DE AZAPA

Nº	Ubicación o Dueño	Nº	Ubicación o Dueño
3	Lupo Baluarte	58	Ernesto Lombardi
5	Armando Lombardi	59	Suc. Zavala
7	Suc. Feliz Campos	61	Manuel Yanulache
10	Amadeo Carbone	62	Marcelo Fernández
11	Humberto Andía	63	Suc. Ibarra
12	Luis Lombardi	64	Suc. Díaz
17	Suc. Augusto Salinas	65	Andrés Gorbacho
18	Armando Lombardi	66	Luis Lombardi
20	Evaristo Chong	67	Jorge Ordoñez
21	Amadeo Carbone	69	Suc. Miguel Salinas
22	Andrés Baluarte	72	Antonio Gardilicic
23	Aurelio Noce	75	Chadid Hassad
27	Liendoy Beretta	76	Timoteo Núñez
35	Juan Focasi	84	Chadid Hassad
36	Alberto Salinas	86	Humberto Vergara
37	Miguel Ishihara	87	Sleiman Kabalan
38	Carlos Grignola	88	Kurt Neverman
39	Suc. Gutiérrez de Oviedo	89	Elesvan Andía
40	Amelia V. de Chong	90	Carlos Grinola
43	Manuel Plaza	91	Dgo. Montalvo
44	Eduardo Copaja	92	Gmo. Sánchez
47	Fernando Osorio	93	Dgo. Devotto
48	Jorge Piña	94	Dgo. Devotto
49	Fernando Osorio	95	Dgo. Devotto
52	Arturo Buitano	96	Utatislav Hercek
53	Suc. Thomas	98	Yac. Pet. Bol.
55	Miguel Wong	99	Suc. Petersen
56	Alfredo Buneder	102	Bernardo Paredes
57	Ernesto Lombardi		

REGISTRO DE VERTIENTES
VALLE DE AZAPA

Nº	Ubicación o Dueño	Nº	Ubicación o Dueño
13	La Concepción	50	Media Luna
16	San Miguel	51	Mitachica
26	Del Estanque	54	El Gallito
28	Albarracines		

Tabla Nº 5
ANÁLISIS QUÍMICOS (mg/l) DE AGUA SUBTERRÁNEA
VALLE DE AZAPA

POZO	Sólidos disueltos	Silice	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Bicarbonato	Sulfato	Cloruro	Nitrato	Total No carbonatosa	DUREZA	pH	Temperatura °C
25	498	35	98	5,7	45	3,4	158	147	61	9,2	268	137	7,34	19
68	618	44	109	17	58	5,5	207	186	82	5,6	344	175	7,58	21
97														
104	670	46	104	12	87	5,4	184	212	104	0	308	157	7,32	19,5
105	550	38	97	12	56	5,9	178	170	75	0	290	144	7,22	22,5
114	640	33	124	11	66	4,5	198	195	93	3,2	354	192	7,05	16
115	723	43	123	15	89	8	225	224	100	3,3	366	182	7,24	22,5
119														
122	662	42	127	12	65	4,2	198	196	102	8,8	366	204	7,18	18

Tabla Nº 6

REGISTRO DE NORIAS, CHACA
CHACA - QUEBRADA VITOR

Nº	PROPIETARIO	Nivel estático; metros bajo su- perficie terreno	Profundidad; metros bajo su- perficie terreno	Sólidos disueltos (mg/l). Conduc- tímetro	Instalación equipos bombeo
1	Hacienda "Andacollo" Nº 1	9,50	10,90	1.000	sí
2	Hacienda "Andacollo" Nº 2	12,25	13,70	1.000	sí
3	Herbert Lehmann Nº 1	seco	—	—	no
4	Herbert Lehmann Nº 2	15,60	16,00	900	sí
5	Retén Chaca	9,15	10,00	1.800	no
6	Santiago Zavala	11,20	12,00	1.500	no
7	Oscar Menares Nº 1			1.300	sí
8	Oscar Menares Nº 2	10,78	12,00	1.300	sí
9	Julio Condori	12,30	13,00	1.300	sí
10	Juan Caroca	10,60	13,00	1.300	sí
11	Lorenzo Bavestrello	11,25	12,00	1.300	sí
12	Monte Alegre Nº 1	11,50	12,50	1.300	sí
13	Monte Alegre Nº 2	8,00	8,20	2.600	no
14	Juan Zambrano	8,50	8,50	1.300	no
15	Olga Chambe	9,30	9,50	1.600	no
16	Víctor Ajata Nº 1	7,80		1.300	no
17	Víctor Ajata Nº 2	9,80		1.900	no
18	Pedro Soto	8,00		1.300	no
19	Juan Herrera	8,00		1.300	no
20	Eugenio Bisa	7,60	1	1.300	no
21	Víctor Quenalla	seco	8,50		no
22	Alberto Ragio	8,75		1.300	no
23	Rosendo Flores	11,00	12,50	1.500	sí

Tabla Nº 7

ANÁLISIS QUÍMICOS (mg/l) DE AGUA SUBTERRÁNEA
CHACA - QUEBRADA VITOR

Fecha: 15-3-66

NORIA	Sólidos disueltos	Silice	Calcio	Magne- sio	Sodio	Potasio	DUREZA		pH	
							Bicar- bonatos	Total No carbo- matosa		
Vertiente Vila-Vila	1.241	48	200	32	141	9	225	605	184	7,65
Hda. Andacollo 1	1.222	49	212	28	123	15	221	590	181	7,11
Hda. Andacollo 2	1.168	47	195	26	125	16	218	567	179	7,06
H. Lehman 2	1.129	47	193	27	112	15	198	557	162	7,21
Retén	2.154	49	392	49	199	25	298	1.150	244	7,59
Santiago Zabala	1.868	50	341	44	166	22	267	993	219	7,38
Oscar Menares 1	1.528	48	269	35	152	19	261	769	214	7,47
Oscar Menares 2	1.625	48	290	38	158	20	305	810	247	7,96
Julio Condori	1.420	46	240	33	150	18	251	704	206	7,21
Rosendo Flores	1.933	53	342	44	190	21	253	988	207	7,68

The work conducted in the departamento de Arica by the Instituto de Investigaciones Geológicas in cooperation with the Junta de Adelanto de Arica, has permitted to elaborate a preliminary but comprehensive scheme of the general geology of the region and an inventory and evaluation of its mineral, metallic and nonmetallic resources, as well as a general evaluation of the ground-water characteristics and possibilities of the region. The presentation of these results constitutes the main purpose of this report.

The departamento de Arica corresponds to the northernmost part of the Chilean territory extending from the Chile-Perú border (17°30'S) to parallel 19°10'S. Metamorphic, sedimentary, volcanic and intrusive rocks, make up the geology of this region. The stratified rocks, with a total thickness of about 8.000 m, have been grouped into 9 cartographic units which, from oldest to youngest, are as follows:

Esquistos de Belén Formation (Precambrian?); mostly gneisses and mica schists.

Arica Group (Upper Bajocian-Oxfordian); includes the marine formations Camaraca and Los Tarros.

Vilacollo Group (Neocomian); includes the continental volcanic-sedimentary formations Atajaña and Sausine.

Chapiquiña Group (Upper Cretaceous-Oligocene?); includes the continental volcanic-sedimentary formations Lupica and Putani.

Azapa Formation (Oligocene-Miocene?); clastic continental.

Oxaya Formation (Miocene-Pliocene); mainly volcanic, ignimbritic.

Huaylas Formation (Pleistocene?); volcanic and lacustrine.

Concordia Formation (Quaternary); mostly continental sediments.

Quaternary volcanic rocks.

The intrusive rocks exposed in the region vary from granite to gabbro. On the basis of their contact relationships and radiometric ages, they seem to represent four intrusive cycles, of Middle Jurassic, Late Jurassic, Middle Cretaceous, and Early Tertiary age. The intrusive rocks representing the two latter cycles are closely related to the most important metallic mineralization in the region.

The main structural features of the region are folds, flexures and faults, having a general north-northwest orientation; however, on the Coast Range there is a well developed east trending fault system that affects the Jurassic formations. Differential uplift through the north-northwest trending faults, led to the formation of several tectonic troughs which were partially filled with the clastic materials of the Azapa formation, of possible Miocene age; later movements along the fault planes produced extensive flexures on the ignimbritic cover represented by the Oxaya formation.

On the Coast Range and Precordillera, there are numerous but rather small vein type copper deposits. On the Coast Range, the mineralization consists of copper oxides such as atacamite and malachite with less amount of chrysocolla, almagrado, covellite, and chalcocite; also some pyrite, chalcopyrite and molybdenite; these minerals are generally associated with abundant hematite and limonites in a gangue of quartz, calcite and barite. The same type of copper veins is represented in the Precordillera in the area of Campanani. In the Precordillera there are also veins of sulphide minerals such as those of silver, lead, zinc, antimony, copper, and bismuth, in a gangue of quartz, calcite and barite.

Manganese deposits exist in the region, and may constitute an important mineral resource of the departamento de Arica. They are either stratified or consist of vein mineralization; the chief mineral appears to be wad.

Nonmetallic deposits are also present in the region. The most important are those of high grade sulphur associated to the Quaternary volcanoes, dolomite beds in the area of the Pampa, kieselguhr, borax, and marble.

Ground-water resources in the departamento de Arica are to be obtained from an unconfined aquifer in the Azapa valley being exploited at the present time, and from a semiartesian aquifer of the La Concordia region.

Unless precautions are taken, the possibilities of obtaining ground water from the aquifer of the Azapa valley will progressively diminish. The aquifer of the La Concordia region is being recharged from the Caplina river in the Peruvian territory, and could provide a large amount of the water for consumption in the town of Arica.

REFERENCIAS

- AHLFELD, F. y BRANISA, L., 1960. *Geología de Bolivia*. La Paz, Instituto Boliviano del Petróleo, 245 p., 1 mapa geol.
- CECIONI, G. y GARCÍA, F., 1960. *Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá*. Santiago, Inst. Invest. Geol., Bol. 6, 28 p., 1 mapa, 1 cuadro de correlaciones.
- DINGMAN, R. J. and LOHMAN, K. E., 1963. *Late Pleistocene diatoms from the Arica area, Chile*. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 475-C, p. 69-72.
- FUENZALIDA V., H., 1950. *Clima*, in *Geografía Económica de Chile*. Santiago, Corp. Fomento Producción, t. 1, capítulo 4, p. 188-257.
- GALLI O. C., 1957. *Las formaciones geológicas en el Borde Occidental de la Puna de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá*. Santiago, Rev. Minerales, N° 56, p. 14-26, 2 fig.
- GALLI O., C. y DINGMAN, R. J., 1962. *Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, con un estudio sobre los recursos de agua subterránea; provincia de Tarapacá*. Santiago, Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile, v. 3, N.os 2, 3, 4 y 5, 125 p., 11 lám., 4 mapas geol.
- HENRÍQUEZ A., H., 1963. *Reconocimiento geológico del extremo norte del departamento de Arica*. Santiago, Univ. Chile, Escuela Geología, Memoria de Prueba, 56 p.
- HOFFSTEITER, R. y RIVERA, R., 1956. *Lexique Stratigraphique International, Amérique Latine, Fascicule 5 b, Perú*. París, 131 p., 1 mapa.
- JENKS, W. F. 1948. *Geología de la Hoja de Arequipa*. Lima, Dirección Minas y Petróleo, Bol. 9.
- KELLER R. C., 1946. *El Departamento de Arica*. Santiago, Ministerio Economía y Comercio, 334 p.
- KLEINMANN, P. y TORRES, J., 1961. *El agua subterránea del valle de Azapa*. Santiago, Ministerio Obras Públicas, Dirección de Riego, informe inédito.
- LEIDING, BENJAMÍN, 1935. *Estudio sobre las azufreras de Tacora*. Santiago, informe inédito.
- LEVI, B., MEHECH, S. y MUNIZAGA, F., 1963. *Edades radiométricas y petrografía de granitos chilenos; Muestras Chile 13 a Chile 36*. Santiago, Inst. Invest. Geol., Bol. 12, 42 p.
- MONTECINOS P., F., 1963. *Observaciones de Geología en el Cuadrángulo Campanani, departamento de Arica-Provincia de Tarapacá*. Santiago, Univ. Chile, Escuela Geología, Memoria de Prueba, 109 p.
- MUÑOZ C., J., 1950. *Geología*, in *Geografía Económica de Chile*. Santiago, Corp. Fomento Producción, t. 1, capítulo 3, p. 55-187.
- OJEDA, SERGIO, 1945. *Estudio regadío de la quebrada de Chaca*. Santiago, Ministerio Obras Públicas, Dirección de Riego, informe inédito.
- SEGERSTROM, K., y PARKER, R. L., 1959. *Cuadrángulo Cerrillos; Provincia de Atacama*. Santiago, Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile, v. 1, N° 2, 33 p., 1 mapa geol.
- VILA, TOMÁS, 1939. *La industria del azufre en Chile*. Santiago, Depto. Minas y Petróleo, 127 p.
- WILSON, J. y GARCÍA, W., 1962. *Geología de los Cuadrángulos de Pacha y Palca*. Lima, Comisión Carta Geológica Nacional, v. 2, N° 4, 81 p., 2 mapas geol.

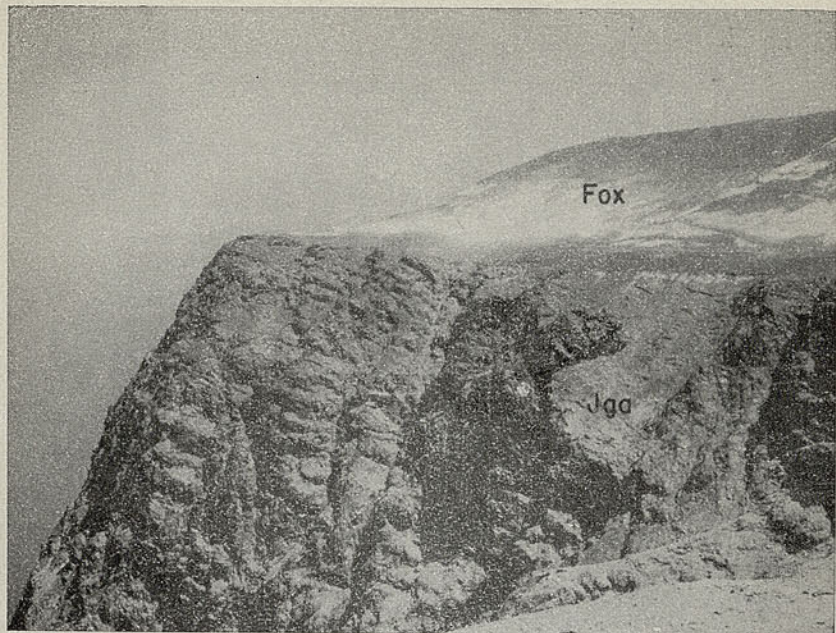


Foto 1. Afloramientos característicos del grupo Arica (Jga). Cortados por el abrupto acantilado de la costa, se observan las lavas de la formación Camaraca, cubiertas discordantemente por estratos de la formación Oxaya (Fox). Area de la mina Casa Grande, vista hacia el norte.

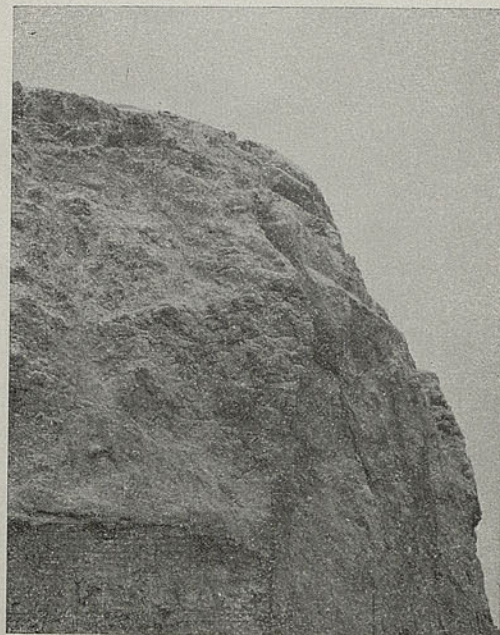


Foto 2. Pillow lavas de la formación Camaraca intercaladas en sedimentos marinos de la misma unidad. Flanco norte del Morro de Arica.

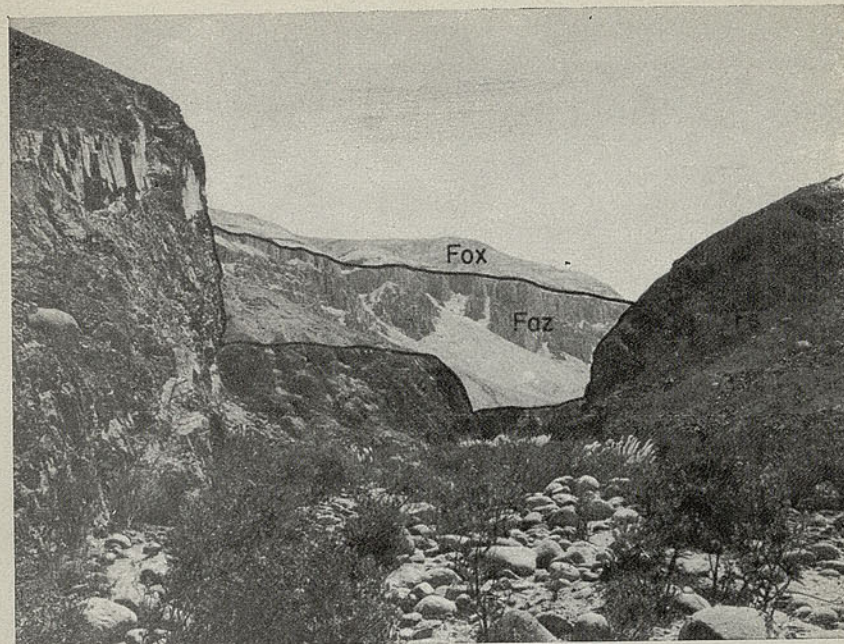


Foto 3. Rocas volcánicas y clásticas de la formación Sausine (Fs) cubiertas discordantemente por las formaciones Azapa (Faz) y Oxaya (Fox). Area de Taltape, vista hacia el este.

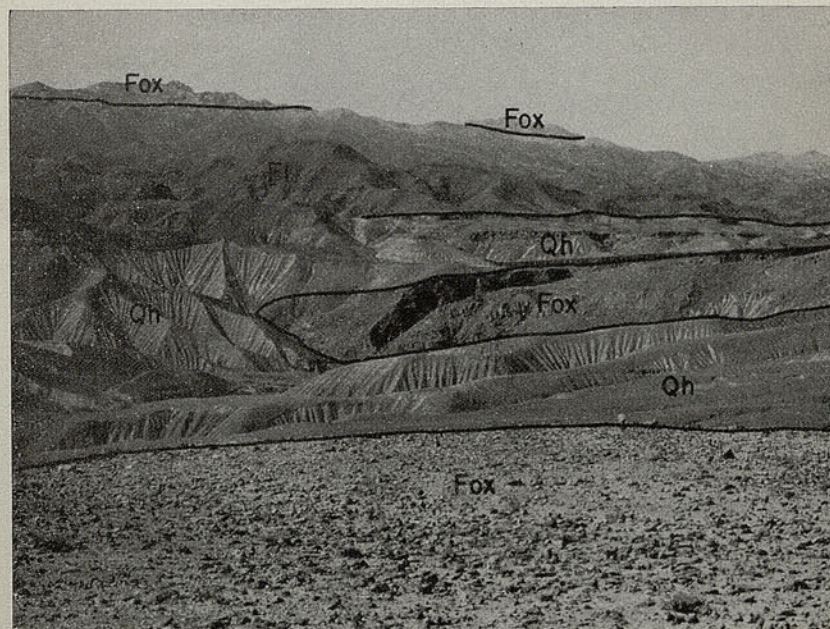


Foto 4. Area del Alto de Copaquilla, vista hacia el sureste. Fox, ignimbritas de la formación Oxaya; Qh, sedimentos finos, poco consolidados, de la formación Huaylas; Fl, estratos volcánico-sedimentarios de la formación Lupica, conforman la Cadena Occidental de los Andes en esa región.



Foto 5. Zona del Altiplano y Volcán Tacora (6.000 m s.n.m.). Vista desde Villa Industrial hacia el noroeste.

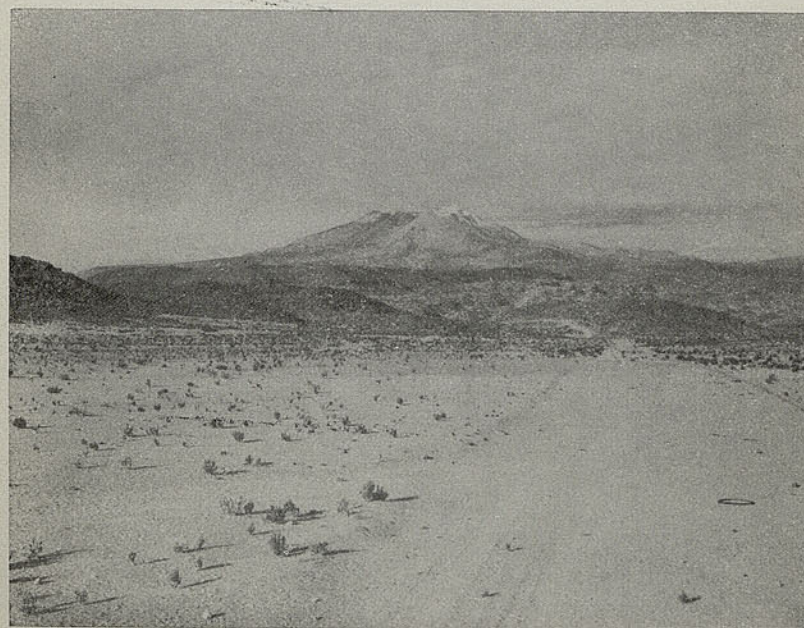


Foto 6. Zona del Altiplano y Volcán Taapaca (5.815 m s.n.m.). En primer plano, ignimbritas de la formación Oxaya, de diferentes colores. Vista desde Puquios hacia el este.

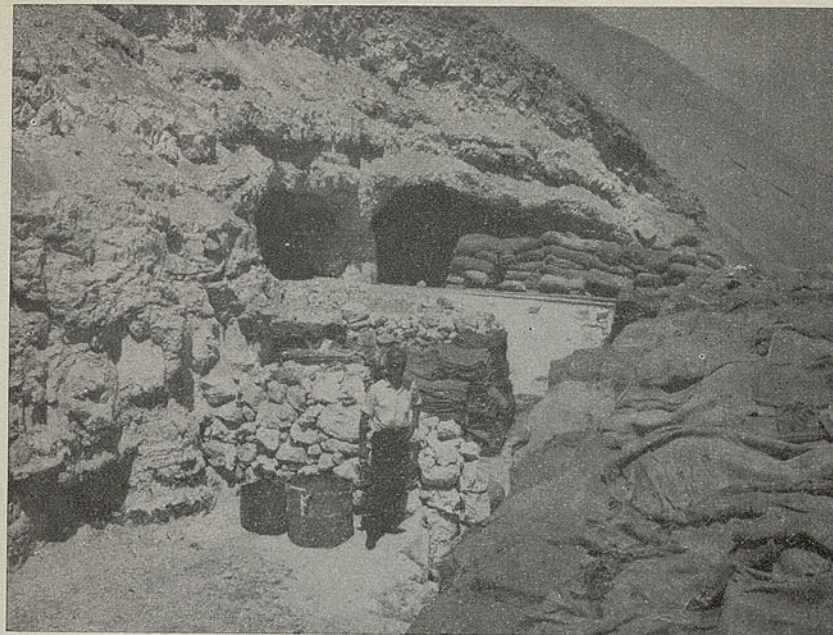


Foto 7. Mina Dolomita. Socavón principal de la mina y acopio de material

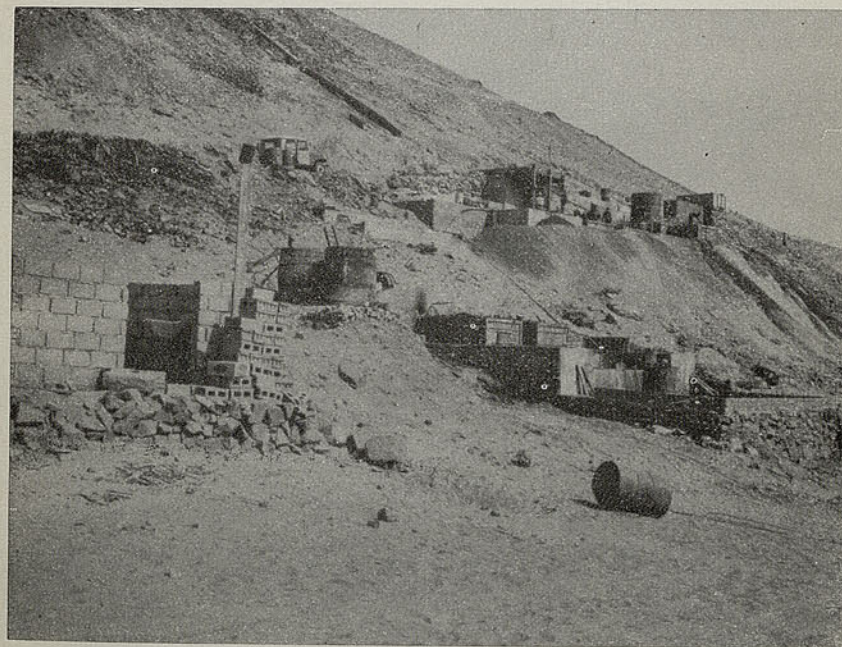


Foto 8. Mina Fortuna y pequeña planta de lixiviación. Quebrada Acha, a 9 km. al sureste de Arica

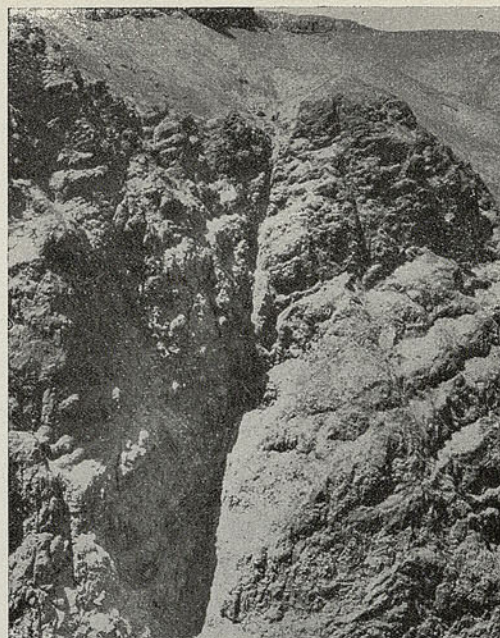


Foto 9. Mina Casa Grande. Consiste en una veta de las rocas volcánicas del grupo Arica, en la cual se han desarrollado varios socavones

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

(de la tapa 2)

BOLETINES

- Nº 4. Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. Cinna Lomnitz, 1959. 19 pp., 2 mapas, 2 gráficos. Eº 0,65.
- Nº 5. El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. Octavio Castillo Urrutia, 1960. 107 pp., 3 cuadros, 14 gráficos. Eº 2,50.
- Nº 6. Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá. Giovanni Cecioni y Floreal García, 1960. 28 pp., 2 gráficos. Eº 2,00.
- Nº 7. Edades plomo-alfa y marco stratigráfico de granitos chilenos, Con una discusión acerca de su relación con la orogénesis. Carlos Ruiz, Kenneth Segerstrom, Luis Aguirre, José Corvalán, H. J. Rose Jr. y T. W. Stern, 1960. 36 pp., un mapa. Eº 1,00.
- Nº 8. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Carlos Klohn Giehm, 1960. 95 pp., 3 gráficos, 1 mapa. Eº 3,00.
- Nº 9. Geología de los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. Luis Aguirre Le-Bert, 1960. 68 pp., 6 gráficos, 1 mapa. Eº 2,50.
- Nº 10. Yacimientos de cobre tipo manto, Su distribución en fajas mineralizadas, Provincia de Aconcagua. William D. Carter, 1961. 30 pp., 6 gráficos. Eº 1,50.
- Nº 11. Contribución de la Corporación de Fomento al desarrollo del agua subterránea en Chile. Jaime Donoso Rojas y Robert J. Dingman, 1962. 43 pp., 2 grabados. Eº 2,00.
- Nº 12. Edades radiométricas y petrografía de granitos chilenos, Muestras Chile 13 a Chile 36. Beatriz Levi, Sonia Mehech y Fernando Munizaga, 1963. 42 pp., 5 grabados. Eº 2,00.
- Nº 13. Investigaciones de geología aplicada a la ingeniería, Provincia de Concepción. Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemké, 1963. 82 pp., 10 grabados. Eº 3,50.
- Nº 14. Geología de los distritos mineros Checo de Cobre, Pampa Larga y Cabeza de Vaca, Provincia de Atacama. Raymond L. Parker, Raúl Salas O. y Gabriel Pérez R., 1963. 46 pp., 12 grabados y 1 mapa. Eº 3,00.
- Nº 15. El agua subterránea de Santiago, Segundo Informe 1958-1962. Octavio Castillo Urrutia, Eduardo Falcón Moreno, William W. Doyel y Manuel Valenzuela Muñoz (Con un apéndice sobre calidad química del agua, por Hernán Cusicanqui Ribera), 1963. 65 pp., 5 planos, 16 figs., 11 tablas. Eº 4,00.
- Nº 16. El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar. Kurt Grimme y Leonardo Alvarez Sch. Geología del área Valparaíso y Viña del Mar. Leonardo Alvarez Sch., 1964. 58 pp., 8 grabados, 4 mapas, 1 anexo con perfiles litológicos. Eº 4,00.
- Nº 17. Geología de la Cordillera de los Andes de las provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue. Luis Aguirre Le-Bert y Beatriz Levi Dresner, 1964. 37 pp., 2 mapas. Eº 2,50.
- Nº 18. Exploración de minerales radiactivos en Chile, Primera Parte, Provincias de Tarapacá y Antofagasta. Paul H. Knowles, William A. Bowes, Mario Serrano C., Erik Klohn H., Rodolfo Gruenwald S. y Aldo Moraga B., 1964. 78 pp., 7 mapas, 11 bosquejos geológicos. Eº 4,00.
- Nº 19. Reconocimiento geológico en las provincias de Llanquihue y Chiloé. Beatriz Levi D., Adela Aguilar M. y Ricardo Fuenzalida P., 1966. 45 pp., 1 grabado, 1 bosquejo geológico, 5 láminas. Eº 5,00.
- Nº 20. Efectos del sismo de marzo de 1965, Provincias de Aconcagua y Valparaíso. Nelson Aliste Torres, Aldo Moraga Brito y Leonardo Alvarez Schultz, 1966. 72 pp. 1 tabla, 16 figuras, 63 fotografías. Eº 8,00.
- Nº 21. Geología y recursos minerales del departamento de Arica. R. Salas O., René F. Kast, Francisco Montecinos e Iván Salas Y. 1966. 114 pp. 19 figuras, 7 tablas, 9 fotografías, 1 mapa. Eº 15,00.

MANUALES

- *Nº 1. Fósiles guías chilenos, Titoniano-Neocomiano. José Corvalán D. y Ernesto Pérez D., 1958. 48 pp., 16 láminas. Eº 0,65.

*Publicación agotada.

APARTADOS (Tirada reducida)

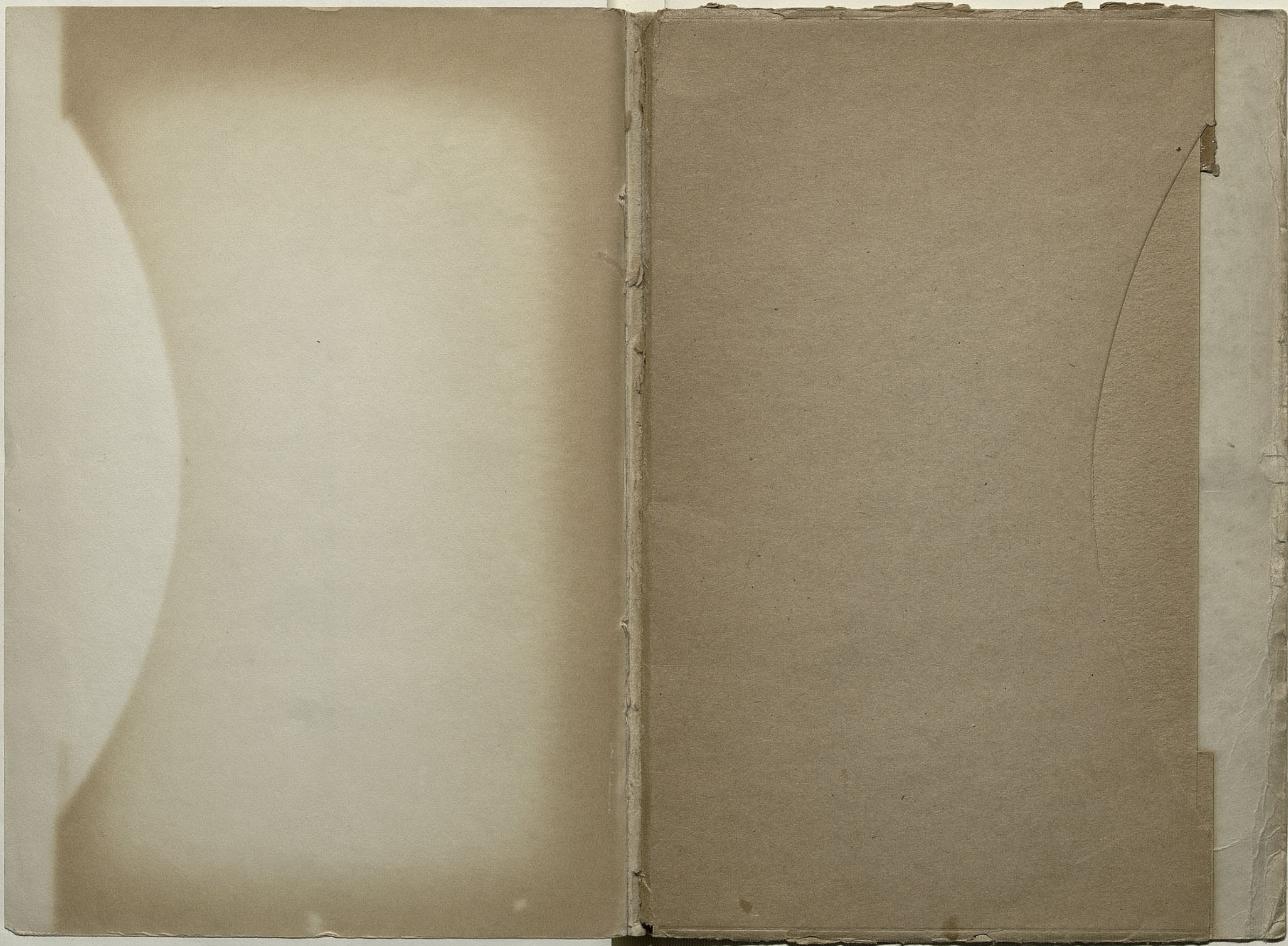
- Nº 1. Galli O., C., 1956.
Nota sobre el hallazgo del Paleozoico Superior en la provincia de Tarapacá. *Revista Minerale*s, Año xi, N.os 53-54, pp. 30-31, Santiago de Chile.
- Nº 2. Klohn G., C., 1956.
Estado actual del estudio geológico de la "Formación Porfírica". *Revista Minerale*s, Año xi, Nº 55, pp. 49-60, Santiago de Chile.
- Nº 3. Corvalán D., J., 1956.
Über Marine Sedimente des Tithon und Neocom der Gegend von Santiago. *Geologischen Rundschau*, Band 45, Heft 3, pp. 919-926, Stuttgart, Alemania.
- Nº 4. Galli O., C., 1957.
Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá. *Revista Minerale*s, Año xii, Nº 56, pp. 14-26, Santiago de Chile.
- Nº 5. Aliste T., N.; Pérez d'A., E. y Carter, W. D., 1960.
Definición y edad de la formación Patagua, provincia de Aconcagua, Chile. *Revista Minerale*s, Año xv, Nº 71, pp. 40-51, Santiago de Chile.
- Nº 6. Carter, W. D., 1960.
Origin of "Manto-Type" copper deposits of the Cabildo mining district, Central Chile. *Reports XXI International Geological Congress*, Part xvi, pp. 17-28, Copenhagen, Dinamarca.
- Nº 7. Segerstrom, Kenneth, 1960.
Structural geology of an area east of Copiapó, Atacama Province, Chile. *Reports XXI International Geological Congress*, Part xviii, pp. 14-20, Copenhagen, Dinamarca.
- Nº 8. Dedios A., P., 1961.
Fluorita en la región de Paihuano, provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año xvi, Nº 73, pp. 23-32, Santiago de Chile.
- Nº 9. Pérez d'A., E. y Levi de Valenzuela, B., 1961.
Relación estratigráfica entre la formación Moctezuma y el granito subyacente, Calama, provincia de Antofagasta. *Revista Minerale*s, Año xvi, Nº 74, pp. 39-48, Santiago de Chile.
- Nº 10. Ruiz F., C., Aguirre L-B., L., Corvalán D., J., Rose, H. J., Segerstrom Kenneth and Stern, T. W., 1961.
Ages of Batholithic Intrusions of Northern and Central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, pp. 1551-1559, EE. UU.
- Nº 11. Ruiz F., C., 1961.
Exploración por métodos geofísicos, aéreos y terrestres de las anomalías ubicadas en la región de cerro Chañar-Boquerón, con una discusión sobre las génesis de los yacimientos de hierro de Atacama. *Revista Minerale*s, Año xvi, Nº 75, pp. 23-30, Santiago de Chile.
- Nº 12. Ruiz F., C. and Saint-Amand, Pierre, ed., 1961.
Observations concerning the Chilean earthquakes of May 1960. *Reports XXI International Geological Congress*, Part xxvi, pp. 116-133, Copenhagen, Dinamarca.
- Nº 13. Aguirre L-B. y Egert R., E., 1962.
Las formaciones manganesíferas de la región de quebrada Marquesa, provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año xviii, Nº 76, pp. 25-37, Santiago de Chile.
- Nº 14. Ruiz F., C. and Ericksen, G. E., 1962.
Metallogenetic provinces of Chile, S. A. *Economic Geology*, v. 57, pp. 91-106, EE. UU.
- Nº 15. Segerstrom, Kenneth, 1962.
Geología de la Precordillera de Copiapó. *Revista Minerale*s, Año xvii, Nº 76, pp. 11-16, Santiago de Chile.
- Nº 16. García A., F., Pérez d'A., E. y Ceballos S., E., 1962.
El Ordovícico de Aguada de la Perdiz, Puna de Atacama, provincia de Antofagasta. *Revista Minerale*s, Año xvii, Nº 77, pp. 52-61, Santiago de Chile.
- Nº 17. Levi de Valenzuela, B. y Aguirre L-B., L., 1960.
El conglomerado de Algarrobo y su relación con las formaciones del Cretácico Superior de Chile Central. *Anales de las Primeras Jornadas Geológicas Argentinas*. T. II, pp. 417-431, Buenos Aires, Argentina.
- Nº 18. Segerstrom, Kenneth, 1962.
Regional geology of the Chañarcillo silver mining district and adjacent areas, Chile. *Economic Geology*, v. 57, pp. 1247-1261, EE. UU.
- Nº 19. Segerstrom, Kenneth, 1962.
Paisaje maduro que se extiende al sur de la Pampa del norte de Chile y su relación con depósitos minerales. *Revista Minerale*s, Año xvii, Nº 79, pp. 46-53, Santiago de Chile.
- Nº 20. Segerstrom, Kenneth, 1963.
Matureland of Northern Chile and its relationship to ore deposits. *Geological Society of America Bulletin*, v. 74, pp. 513-518, EE. UU.
- Nº 21. Segerstrom, Kenneth, 1964.
Quaternary geology of Chile: Brief Outline. *Geological Society of America Bulletin*, v. 75, pp. 157-169, EE. UU.
- Nº 22. Aguirre L-B., Luis y Thomas B., H., 1964.
El contacto discordante entre las formaciones cretácicas Quebrada Marquesa y Viñita en la provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año xix, Nº 84, pp. 30-37, Santiago de Chile.
- Nº 23. Mehech N., S. y Corvalán D., J., 1964.
Undulatory extinction in quartz grains of some Chilean granitic rocks of different ages. *Geological Society of America Bulletin*, v. 75, pp. 363-366, EE. UU.
- Nº 24. Aguirre L-B., Luis y Mehech N., S., 1964.
Stratigraphy and mineralogy of the manganese sedimentary deposits of Coquimbo province, Chile. *Economic Geology*, v. 59, pp. 428-442, EE. UU.
- Nº 25. Levi D., B. y Corvalán D., J., 1964.
Metamorfismo regional en las rocas volcánicas del Geosinclinal Andino. *Revista Minerale*s, Año xix, Nº 86, pp. 6-15, Santiago de Chile.
- Nº 26. Ruiz F., C., 1965.
Distribución y origen de la mineralización en Chile. *Revista Minerale*s, Año xx, Nº 90, pp. 46-54, Santiago de Chile.
- Nº 27. Carter, W. D. y Aguirre L-B., L., 1965.
Structural geology of Aconcagua province and its relationship to the Central valley grabben, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, v. 76, pp. 651-664, EE. UU.
- Nº 28. Carter, W. D. y Aliste T., N., 1964.
Paleo-channels at the Guayacán copper mine, Cabildo district, Aconcagua province, Chile. *Economic Geology*, v. 59, pp. 1283-1292, EE. UU.
- Nº 29. Galli O., C. y Sánchez R., J., 1963.
Effects of the earthquakes of May 1960 in Concepción and vicinity. *Bulletin Seismological Society of America*, v. 53, pp. 1281-1297, EE. UU.

- Nº 30. Galli O., C. y Sánchez R., J., 1963.
Relation between the geology and the effects of the earthquakes of May 1960 in the city of Ancud and vicinity. Chiloé. *Bulletin Seismological Society of America*, v. 53, pp. 1273-1280, EE. UU.
- Nº 31. Galli O., C. y Sánchez R., J., 1963.
relation between geology and the effects of the earthquakes of May 1960 in the city of Castro vicinity, Chiloé. *Bulletin Seismological Society of America*, v. 52, pp. 1263-1271, EE. UU.

PUBLICACIONES ESPECIALES

Informe geológico del distrito minero de Punta del Cobre. Francisco J. Ortiz O., Roberto Araya A., Francisco Franquesa R., Aldo Moraga B. y Marcos Zentilli van K., 1966. 4 tomos. E° 200,00.

Estas publicaciones se pueden obtener en el Instituto: Agustinas 785, 5º piso, Casilla 10465. Santiago, Chile.



EDITORIAL UNIVERSITARIA, S. A.