

Carta Geológica de Chile

CUADRANGULOS PICA, ALCA,
MATILLA Y CHACARILLA

con un estudio sobre los recursos de agua subterránea.

Provincia de Tarapacá

Escala 1 : 50.000

Carlos Galli Olivier y Robert J. Dingman

Instituto de Investigaciones Geológicas

Chile

Vol. III N.^{os} 2, 3, 4 y 5

1962

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

MAPA GEOLOGICO DE CHILE

1960. Escala 1:1.000.000. Trastelado, E° 25,00; sin trastelar, E° 20,00.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE

(Hojas cuadrangulares)

- Vol. I, N° 1. Cuadrángulo Los Loros, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, 1959, 36 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. 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, 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 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 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 Ruiz F. 1962. 115 pp., 11 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 4,00.
- Vol. III, Nos 2, 3, 4 y 5. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla. Prov. de Tarapacá. 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.

BOLETINES

- N° 1. El Agua Subterránea de Santiago (Informe Preliminar). Robert J. Dingman y Lorenzo Barraza S., 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 B., 1958. 86 pp., 1 cuadro, 2 mapas. E° 2,00.
- N° 3. El Titoniano de Río Leñas (con una revisión del Titoniano y Neocomiano de la parte chilena del Geosinclinal Andino). José Corvalán D., 1959. 65 pp., 8 grabados y 7 láminas. E° 1,65.
- N° 4. Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. Cinna Lomnitz, 1959. 19 pp., 2 mapas, 2 gráficos. E° 0,65.
- N° 5. El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. Octavio Castillo Urrutia, 1960. 107 pp., 3 cuadros, 14 gráficos. E° 2,50.
- N° 6. Observaciones Geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá. Giovanni Ccioni y Floreal García, 1960. 28 pp., 2 gráficos. E° 2,00.
- N° 7. Edades plomo-alfa y marco estratigráfico 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, 26 pp., un mapa. E° 1,00.
- N° 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. E° 3,00.
- N° 9. Geología de los Andes de Chile Central (provincia de Aconcagua). Luis Aguirre Le-Bert, 1960. 68 pp., 6 gráficos, 1 mapa. E° 2,50.
- N° 10. Yacimientos de cobre tipo manto. Su distribución en fajas mineralizadas. Provincia de Aconcagua. Chile Central. Williams D. Carter, 1961, 30 pp., 6 gráficos. E° 1,50.

(Pasa a la última página).

Carta Geológica de Chile
CUADRANGULOS PICA, ALCA,
MATILLA Y CHACARILLA

con un estudio sobre los recursos de agua subterránea.

Provincia de Tarapacá

Escala 1 : 50.000

*Carlos Galli Olivier** y *Robert J. Dingman***

Instituto de Investigaciones Geológicas

Chile

El presente trabajo ha sido ejecutado en colaboración con la
Agency for International Development y el United States
Geological Survey

*Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile.

**U.S. Geological Survey, Santiago, Chile.

2297

Vol. III N.^{os} 2, 3, 4 y 5 · 1962

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

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CONTROL

© Instituto de Investigaciones Geológicas. 1962

Inscripción Nº 24.521



Prensas de

Editorial Universitaria, S. A.

San Francisco 454

Santiago de Chile

Impreso en Chile

Printed in Chile

INDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCION	9
Propósitos y alcance de la investigación	9
Métodos usados en la investigación	12
Agradecimientos	13
Investigaciones anteriores	14
GEOGRAFIA	15
Relieve y drenaje	15
Clima	16
Temperatura	16
Humedad	17
Precipitación	19
Evaporación	20
Aspectos culturales	21
Población	21
Abastecimiento de agua municipal y doméstica	22
Abastecimiento de agua para irrigación	23
Agricultura	24
Ganadería	25
Transporte	25
GEOLOGIA	26
Formaciones de rocas sedimentarias y volcánicas	26
Aspectos generales	26
Formación Longacho	29
Aspectos generales	29
Edad y correlaciones	31
Formación Chacarilla	31
Aspectos generales	31
Edad y correlaciones	36
Formación Cerro Empexa	39
Aspectos generales	39
Miembro 1	40
Miembro 2	41
Miembro 3	42
Edad y correlaciones	43
Formación Altos de Pica	44
Aspectos generales	44
Miembro 1	46
Miembro 2	48
Miembro 3	53
Miembro 4	55
Miembro 5	58
Edad y correlaciones	59

Depósitos cuaternarios	63
Depósitos de calizas	63
Depósitos de las terrazas	64
Depósitos de pie de monte	64
Depósitos de abanicos aluviales	64
Depósitos de los torrentes de fango	65
Depósitos de travertinos	65
Depósitos de arenas	65
Depósitos salinos	67
Rocas intrusivas	69
Aspectos generales	69
Edad y correlaciones	72
Estructura	74
Aspectos generales	74
Las formaciones mesozoicas	74
Formación Longacho	74
Formaciones Chacarilla y Cerro Empexa	75
Las formaciones cenozoicas	76
Geomorfología	79
Historia geológica	86
Geología económica	88
RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA	90
Aspectos generales	90
Recarga	90
Movimiento y descarga	93
El agua subterránea en relación con las formaciones sedimentarias	93
Formación Longacho	93
Formación Chacarilla	94
Formación Cerro Empexa	94
Formación Altos de Pica	95
Recarga	95
Movimiento	96
Descarga	97
Desarrollo y uso	99
Calidad del agua subterránea	104
Conclusiones y recomendaciones	107
ABSTRACT	120
REFERENCIAS	122

TABLAS

Tabla 1. Registro de pozos ubicados en la región de Pica, Tarapacá	111
2. Evaporación diaria en promedio en Pampa Esmeralda, Tarapacá	21
3. Censo pecuario de julio de 1957, en la región de Pica, Tarapacá	25
4. Las formaciones geológicas	27
5. Secuencia de los miembros de la formación Altos de Pica en las localidades tipo	45
6. Petrografía comparada de las rocas piroclásticas del miembro 2 de la formación Altos de Pica	50
7. Petrografía comparada de las rocas piroclásticas del miembro 4 de la formación Altos de Pica	56

8.	Carta cronológica donde se incluyen algunas unidades terciarias y cuaternarias del norte de Chile y regiones adyacentes	60
9.	Descripción petrográfica de las rocas intrusivas	70
10.	Descarga superficial de vertientes, galerías y pozos de la región de Pica	97
11.	Análisis químicos de agua de la región de Pica	105

FIGURAS

Figura 1.	Mapa índice de Chile que indica la provincia de Tarapacá y la situación relativa de los cuadrángulos	9
2.	Croquis de ubicación	10
3.	Promedios mensuales de los registros de temperaturas máximas y mínimas en tres estaciones de la región de Pica	17
4.	Registros de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa en el pozo Nº 4 en Pampa Esmeralda (MOP) durante la semana comprendida entre el 28 de febrero y el 5 de marzo de 1956	18
5.	Relación entre la altura y la precipitación sobre estaciones representativas en la región de Pica	20
6.	Relaciones entre las formaciones sedimentarias y las rocas intrusivas	28
7.	Histogramas obtenidos por análisis mecánico de arenas de un barján y del manto superficial en Pampa Pica	66
8.	Porcentaje de los minerales pesados más abundantes en arenas de un barján y del manto superficial en Pampa Pica	68
9.	Ciclo hidrológico en la zona central de Tarapacá	91
10.	Mapa de Pica con la ubicación de pozos, vertientes y galerías y con las curvas de nivel de la superficie freática	98
11.	Análisis químicos de aguas de la región de Pica, representados por barras verticales de equivalentes por millón	106
12.	Diagrama demostrativo del carácter químico del agua subterránea de la región de Pica, en porcentaje de equivalentes totales por millón . .	107

LAMINAS (Fuera de texto)

Lámina 1.	Discordancia angular entre las formaciones Chacarilla y Altos de Pica, en el faldeo sur de quebrada Chacarilla.
2.	Conjunto de huellas de dinosaurios en la formación Chacarilla, quebrada Chacarilla.
3.	Detalle de huellas grandes mostradas en lámina 2.
4.	Huellas de dinosaurios en una segunda localidad de quebrada Chacarilla.
5.	Detalle de huellas grandes mostradas en lámina 2.
6.	Detalle de huellas curvas mostradas en sección superior de lámina 2.
7.	Detalle de huella individual del rastro mostrado en lámina 4.
8.	Detalle de huella individual del rastro mostrado en lámina 4.
9.	Erosión de cenuglomerados del miembro 1 de la formación Altos de Pica, en la quebrada Chacarilla.
10.	Duna situada en el lado este de Pampa Pica. La duna muestra efectos de vientos opuestos; vientos ascendentes desde el oeste durante el día, descendentes desde el este durante la noche.
11.	En primer plano la máquina Sullivan (CORFO) perforando el pozo 155. En segundo plano la máquina Bucyrus-Erie (Dirección de Riego) perforando el pozo 153, en Pampa Pica.

CUADRÁNGULOS PICA, ALCA, MATILLA Y CHACARILLA

por

CARLOS GALLI OLIVIER Y ROBERT J. DINGMAN

RESUMEN

Esta publicación da a conocer los resultados de una investigación de la geología y los recursos de agua subterránea de cuatro cuadrángulos de 15', que abarcan el oasis de Pica y regiones adyacentes, en la Provincia de Tarapacá, Chile. La región estudiada es de aproximadamente 2.900 Km² y está incluida en los faldeos occidentales de los Andes y en sectores orientales de la Pampa del Tamarugal.

La formación Longacho (Jurásico inferior), está integrada por lutitas fisibles, fangolitas, areniscas finas y calizas grises, de origen marino, estratificación muy regular y con especies de *Arietites*. El espesor mínimo de la unidad es de aproximadamente 120-150 m.

La formación Chacarilla (Jurásico superior), es una unidad de origen marino-terrestre, muy bien estratificada, compuesta por fangolitas, lutitas fisibles, areniscas y lavas traquíticas, gris rojizas y gris verdosas, de un espesor mínimo de 1.127 m. En rocas de esta formación se hallaron *Perisphinctes* sp., probable *Arisphinctes* sp., *Posidonomya* y restos de probable *Exogyra*, entre los fósiles marinos; restos vegetales indeterminables; y huellas de dinosaurios de varios géneros que pueden corresponder a *Tyrannosaurus*, *Iguanodon*, *Allosaurus* y *Stegosaurus*, expuestas espectacularmente. Este es el primer hallazgo informado de huellas de dinosaurios en Chile.

La formación Cerro Empexa (Cretácico), sobreyace en discordancia angular. Se la ha dividido en tres miembros: el inferior y el superior se observan con estratificación indefinida y están formados por conglomerados y brechas oligomícticos, gris rojizos, de clastos que proceden casi exclusivamente de rocas volcánicas, y por traquitas grises y moradas. El miembro intermedio está formado por areniscas finas y fangolitas rojo grisáceas, sin fósiles, bien estratificadas y por yeso en un manto discontinuo. Las rocas son de origen continental y su depósito se efectuó sobre un relieve accidentado. El espesor de la formación es de aproximadamente 600 m.

La formación Altos de Pica (Terciario superior-Pleistoceno), tiene un espesor de 735 m, sumados los espesores en las localidades tipo de los cinco miembros en que se la ha dividido. La unidad se apoya en discordancia angular de hasta 90°. Los miembros 1, 3 y 5 son materiales sedimentarios de

pie de monte y eólicos. Los miembros 2 y 4 están intercalados entre los miembros sedimentarios y están formados por fases de tobas soldadas riolíticas originadas por dos ciclos mayores de nubes ardientes o flujos de ceniza de distribución extraordinaria.

Los depósitos cuaternario-recientes más distribuidos están constituidos por aluvio y arenas eólicas, que contribuyen al relleno de la Pampa del Tamarugal.

Las unidades mesozoicas están atravesadas por rocas intrusivas identificadas como granodioritas, granitos, tonalitas, dioritas, gabros, microsienitas aplíticas, pórfidos graníticos y andesitas. Pórfidos dioríticos anfibólicos y andesitas propilitizadas constituyen las últimas intrusiones, que se han observado alojadas en la formación Cerro Empexa. Las edades de los tres ciclos intrusivos han sido estimadas como jurásico superiores y cretácica. Las mayores intrusiones son las de un segundo ciclo que se estima de una edad jurásica superior.

Dos fuertes discordancias angulares indican dos ciclos orogénicos que se habrían producido al final del Jurásico y en el Cretácico. Este último ciclo ha sido más fuerte y en ambos probablemente ocurrieron compresiones horizontales en sentido este-oeste, que originaron grandes plegamientos. El ascenso epirogénico de la región comenzó por lo menos en el Terciario superior y probablemente continúa en la actualidad. Por este ascenso se originaron fallas tensionales de poca significación regional. La depresión longitudinal del Tamarugal se considera relacionada con el ascenso de la Puna.

Altos de Pica es la única formación que escurre agua subterránea en cantidades moderadas y que puede ser bombeada por medio de pozos. En la actualidad son descargados a la superficie aproximadamente 140 lt/seg. La mayor parte del agua se obtiene de cuatro grandes vertientes artesianas, en Pica y de un pozo surgente, en Chintaguay. El agua subterránea de la región se origina de las precipitaciones sobre los Altos de Pica y escurre hacia el oeste. En Pica, el agua subterránea se escurre verticalmente hacia arriba a través de fracturas en la formación Altos de Pica. El movimiento del agua subterránea en la parte baja está controlado por una falla normal a lo largo del costado oriental de la serranía del Longacho que desvía el escurrimiento hacia el sur. Las rocas sedimentarias de la formación Altos de Pica están cementadas y tienen una permeabilidad relativamente baja. La localización de agua subterránea en las fracturas reduce mucho la posibilidad de obtener pozos con grandes caudales. La historia de las perforaciones en el área demuestra que sólo pudo obtenerse un pozo de gran caudal después de aproximadamente 40 perforaciones.

INTRODUCCION

PROPÓSITOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

El informe se refiere al levantamiento geológico-económico de los cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, a escala 1:50.000, en el cual se ha hecho énfasis en el estudio de los recursos de agua subterránea. Los mapas geológicos tienen el formato de hojas o cuadrángulos de 15 minutos de grado geográfico y continúan la Carta Geológica de Chile, uno de los

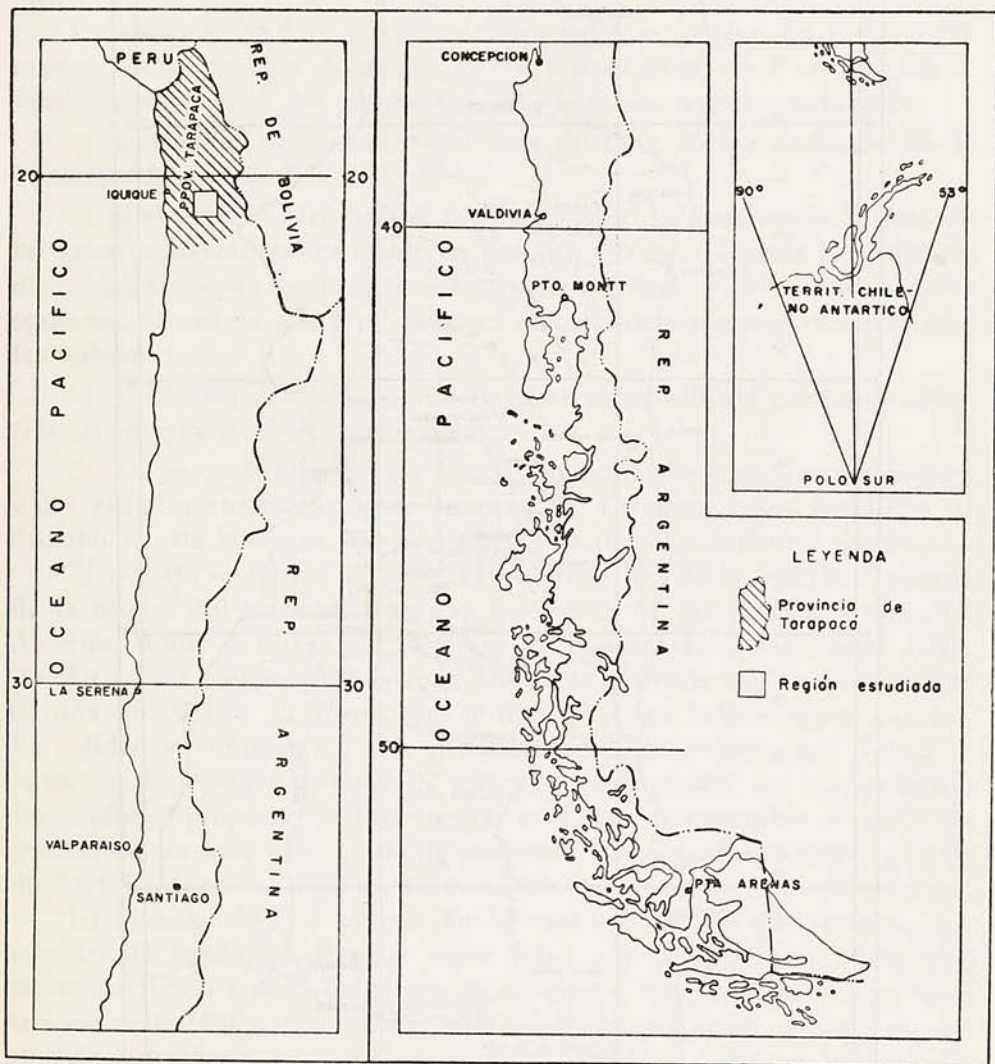


FIGURA 1.- Mapa índice de Chile que indica la provincia de Tarapacá y la situación relativa de los cuadrángulos

objetivos del Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG). Ese objetivo avanza el conocimiento de los recursos naturales de que dispone el territorio nacional, en sus aspectos geológicos, minero-económicos y geográficos.

La región estudiada abarca parte del Departamento Iquique, de la Provincia de Tarapacá (figura 1). Está limitada por los paralelos 20°15' sur y 20°45' sur y por los meridianos 69° oeste y 69°30' oeste. Un croquis de ubicación (figura 2) muestra la situación geográfica de los cuatro cuadrángulos, cuyas superficies comprenden en total 2.900 Km² aproximadamente.

La elección de Pica y regiones adyacentes se originó en un requerimiento de la Sección Geología de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). El estudio comprendería dos aspectos concretos:

1) Las aguas subterráneas del área de Pica. Como resultado de la investigación habría de decidirse:

a) si el subsuelo del oasis es favorable para un incremento del uso de las aguas subterráneas. El resultado práctico del estudio sería la extensión de las plantaciones de Pica y, eventualmente, formar otras comunidades agrícolas, dentro de una faja climática de condiciones extraordinariamente favorables;

b) si la zona debe descartarse para un desarrollo de las aguas subterráneas en gran escala y de alto costo.

2) La geología regional de cuatro cuadrángulos, que daría comienzo a los estudios sistemáticos por sectores en Tarapacá, para investigar la distribución de las rocas, sus relaciones y localizar yacimientos minerales.

El trabajo se ejecutó en estrecha colaboración de la Sección Geología de la CORFO, del IIG y del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) a través del Instituto de Asuntos Interamericanos (IAI).

La actual economía de la zona estudiada depende casi exclusivamente de una producción de frutas que se distribuye en todo el norte chileno. La calidad y volumen de esta producción tienen importancia debido a la escasez de especies agrícolas de consumo de la región. Esa circunstancia legitimaba el propósito de incrementar un factor de interés en la economía general de esa zona, por medio de un estudio geológico-económico orientado hacia el aprovechamiento de eventuales reservas de agua subterránea.

La investigación de terreno, en la cual está basado este informe, fue completada fundamentalmente entre febrero y diciembre de 1956. Las tareas auxiliares y de preparación en el terreno fueron realizadas en unos tres meses de 1955 y unos dos de 1957. El informe consiste de una descripción de la geología regional, cuatro mapas geológicos, tres secciones geológicas, el inventario de los pozos existentes en la región, el reconocimiento de las vertientes, la preparación de un plano de la superficie freática en Pi-

ca, la ejecución y supervisión de dos perforaciones de exploración en la depresión al norte de Pica y la determinación de la calidad química del agua, como aportes principales.

MÉTODOS USADOS EN LA INVESTIGACIÓN.

El trabajo de campo se realizó con las fotografías aéreas oblicuas a escala aproximada 1:35.000, sistema Hycon a 15° del horizonte, obtenidas en labor conjunta del Interamerican Geodetic Survey (Servicio Geodésico Interamericano), de la us Caribbean Army y del Instituto Geográfico Militar (IGM). Los vuelos fueron realizados por la Hycon-Fairchild en el otoño de 1955. Para una orientación general se usó la Carta Preliminar 2060 "Pica", a escala 1:250.000, del IGM. Sobre las fotografías se marcaron los contactos y otros aspectos geológicos en sistemáticas recorridas del terreno. Por medio de un "sketchmaster", en el laboratorio fueron trasladados a los cuatro mapas topográficos, escala 1:50.000, donde se compiló la geología. Los mapas topográficos fueron confeccionados especialmente para este trabajo.

La medición de las secciones se efectuó con brújula Brunton, huinchas métricas de acero de 30 y de 50 m y altímetro Lufft de una lectura de hasta 5 m de aproximación. En las secciones levantadas en las formaciones Longacho y Chacarilla se midieron las distancias con huincha, los ángulos de los rumbos e inclinaciones de las capas y los verticales y azimutales, con brújula. Los espesores reales de los estratos se obtuvieron por cálculo trigonométrico. En las secciones de la formación Cerro Empexa se empleó la huincha y el altímetro en el miembro 1, cuyo espesor es aproximado; en los miembros 2 y 3, cuyas capas se observan prácticamente horizontales en el sector elegido, se usó el altímetro. En la formación Altos de Pica, cuyos estratos están casi horizontales en cuatro de las localidades tipo, se utilizó el altímetro. En el miembro 2 de esta formación se usaron brújula y huincha y el espesor real se obtuvo trigonométricamente.

La determinación de los colores de las rocas se hizo principalmente por comparación con la Rock-Color Chart ("Carta de colores de las rocas"), preparada por el Rock-Color Chart Committee (segunda edición, 1951).

Tiempo antes de emprenderse el trabajo de terreno, la Dirección de Riego de Tarapacá, del Ministerio de Obras Públicas (MOP), comenzó un programa de perforaciones de gran diámetro en Pampa Esmeralda y áreas adyacentes. Los datos estratigráficos e hidrológicos que aportan las perforaciones son de gran valor porque permiten el conocimiento de la subsuperficie en un sector amplio. Con un programa paralelo se planeó y se ejecutó la construcción de dos pozos de observación (Pampa Pica N.os 1 y 2, CORFO)

de pequeño diámetro, a 100 m al oeste y al norte de la perforación de la Dirección de Riego (Pampa Brüggén N° 1), en la depresión al norte de Pica. De la colaboración con esa Dirección, en caso de hallarse agua subterránea, podría obtenerse información acerca de las características del o de los acuíferos.

Ciento treinta y seis pozos del pueblo de Pica y chacras de sus alrededores fueron inventariados y nivelados (tabla 1). La estadística y controles posteriores, permitieron la confección de un plano de la superficie freática. Como dato adicional se utilizaron los registros de varios meses de un limnógrafo ubicado en un pozo de escaso uso doméstico (Pozo N° 43, tabla 1).

Se registraron todas las vertientes y en la mayor parte de los casos la descarga se midió con un medidor de corriente o con vertederos rectangulares.

En el campamento de perforación de la CORFO se tomaron las temperaturas del aire con un termómetro de máxima y mínima especialmente acondicionado. Los registros serían de eventual utilidad, de habilitarse un nuevo sector agrícola en Pampa Pica.

AGRADECIMIENTOS.

Todos los aspectos de la investigación fueron realizados por los autores. Pero muy especialmente se destaca que la diversidad de campos abordados, inherente a un estudio geológico, requirió la colaboración de otros especialistas: Beatriz Levi estudió en el laboratorio aproximadamente unas 120 muestras de rocas de la superficie, y a ella se deben la mayor parte de las descripciones e identificaciones hechas al microscopio con cortes delgados o a grano suelto y los cuadros petrográficos comparativos; Octavio Castillo asistió a casi todo el levantamiento de la geología y a otros trabajos de terreno y de laboratorio; Alfonso J. Freile colaboró en el levantamiento geológico; José Corvalán, con la colaboración de Ernesto Pérez y Nelson Bravo, estudió e identificó los fósiles coleccionados; Hernán Cusicanqui analizó químicamente muestras de agua y de roca; Sonia Mehech y Adela Aguilar contribuyeron con determinaciones petrográficas; Enrique Froehlich de la estación agrícola experimental de la CORFO, en Canchones, Provincia de Tarapacá, suministró numerosos datos acerca del clima y los suelos; Joseph T. Gregory estudió las huellas de dinosaurios por medio de fotografías; Edgar Koenemann, del IAI, solucionó en el terreno numerosos problemas técnicos originados en el curso de las perforaciones; Gloria Valenzuela y Hugo Henríquez analizaron muestras de arenas; Humberto Fuenzalida, David Baytelman y William D. Carter hicieron muchas sugere-

rencias; Benedicto Urzúa confeccionó los mapas topográficos; Víctor Acuña y Osvaldo Eastman dibujaron los mapas geológicos y otras ilustraciones.

La Dirección Provincial de Riego de Tarapacá y la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), colaboraron en diversas formas en la solución de numerosos problemas materiales y técnicos, suministrando generosamente equipo e información acerca de las perforaciones, reconocimientos geológicos, localidades fosilíferas, correlaciones estratigráficas, etc. A todos ellos, así como a todos aquellos otros que en diversas formas ayudaron a la realización de esta publicación, se dirigen los agradecimientos de los autores.

INVESTIGACIONES ANTERIORES.

Felsch (1917 y años posteriores) estudió la región, arribando a resultados a los cuales, en la mayor parte de los casos, sólo cabe agregar algunos detalles secundarios. Un ejemplo es su sección en la quebrada Guatacondo. Brüggén (1918) publicó un croquis geológico de gran parte de la región, que comprende hasta la zona más al norte de Mamiña, el cerro Juan de Morales y la región vecina a la frontera chileno-boliviana. Es un esquema que muestra la distribución de las "rocas fundamentales", no diferenciadas, su formación Liparítica, las acumulaciones volcánicas más modernas y las arenas y aluvios recientes, en sus eventuales relaciones con el agua subterránea. Ese esbozo geológico que Brüggén completó en sólo tres meses y medio, y el texto adjunto, fueron una guía valiosa, sobre todo en los comienzos de este levantamiento. En trabajos posteriores, Brüggén comentó otros aspectos geológicos regionales. Deben mencionarse también a Bowman (1909, 1916, 1924) por sus investigaciones geográficas, a Taylor (1947) por sus reconocimientos hidrogeológicos y a Niemeyer (1960) por su estudio del proyecto de desviación del agua del río Piga.

Cuando este trabajo ya había comenzado, la ENAP inició (1956) el estudio geológico de Tarapacá. Mucha información científica, que es de gran valor y que se incluye en esta publicación, fue generosamente suministrada en diversas comunicaciones orales y epistolares (1957 y 1958) por los geólogos Sres. Cecioni, García, Marino y Mordojovic.

RELIEVE Y DRENAJE.

La superficie de los cuadrángulos en su mayor parte abarca regiones altas que varían entre 4.500 m al noroeste y 1.000 m al sudoeste. Esa diferencia está relacionada con la particular situación geográfica de la región, que dentro de sus límites comprende el borde occidental de los Andes y a un sector de la Pampa del Tamarugal.

La región de gran altura coincide con el curso del meridiano 69° oeste. En sus sectores septentrional y central, esa región está formada por la meseta de los Altos de Pica, inclinada hacia el poniente y levemente hacia el sur. El perfil de la meseta difiere del de las serranías de más al norte, con el Yarvicoya o Columtuca (5.180 m), y del de las del sur, que agrupan a los cerros Empexa (4.063 m), Alto (4.040 m), Campana (4.270 m) y Cahuisa (4.480).

El terreno tiene menor pendiente, al oeste, aproximadamente a los 69°15' oeste. En el área de Pica y Puquio Núñez se extiende una depresión de un ancho de 6 a 8 Km, que al norte del pueblo es conocida como Pampa Pica o Pampa Brüggén. La serranía del Longacho, con una altura máxima de 1.627 m, limita la depresión por el oeste.

El borde oriental de la Pampa del Tamarugal se extiende en la parte oeste de los cuadrángulos Pica y Matilla y localmente incluye el abanico aluvial de Sagasca, Pampa Esmeralda, y parcialmente el gran abanico de la quebrada Chacarilla, al sur. Estos sectores son llanuras que tienen poca pendiente al oeste y su posición homoclinal se quiebra en los lugares donde asoman bajas serranías alargadas, en medio de materiales detríticos.

La red de drenaje de la región está formada casi totalmente por quebradas secas que se extienden paralelas al oeste y al sudoeste. Las quebradas conducen eventualmente agua y aluviones de fango hacia la Pampa del Tamarugal. La quebrada Chacarilla es la única que tiene agua superficial en toda época del año (10 a 15 lt/seg). El agua de la quebrada escurre subterráneamente en el ápice del abanico aluvial.

La región es drenada por las siguientes quebradas, mencionadas de norte a sur: Tambillo, que forma parte del sistema de las quebradas Sagasca y Juan de Morales. Tambillo entra por algunos kilómetros al cuadrángulo Alca y es bastante profunda donde atraviesa rocas plutónicas. Ancha, Seca y Saguachinca, son quebradas de unos 200 m de hondura que desembocan en Pampa Pica; las dos primeras se unen en las inmediaciones del cerro Longacho y cruzan a través de la serranía homónima a poca distancia

al norte de Matilla, hacia Pampa Esmeralda. La quebrada Quisma, al sur de Pica, es conocida con el nombre de Chintaguay y con sus afluentes dreña un gran sector de los Altos de Pica. En las inmediaciones del Salto Grande sus laderas se hacen abruptas y su fondo se quiebra con saltos. Quisma es la segunda quebrada de la región por su amplia red de drenaje, su cono de deyección y la profundidad de su cauce. Puquio Núñez es una quebrada de menores proporciones que con otra quebrada sin nombre, paralela a poca distancia al sur, desembocan cerca del oasis homónimo.

Chacarilla es la mayor de las quebradas y es la única que atraviesa los Altos de Pica, drenando parcialmente la depresión ubicada al naciente. Chacarilla se forma con las quebradas Chara y Caya, y a lo largo de su recorrido recibe los afluentes Infiernillo, desde el norte y Empexa desde el sur. La profundidad de Chacarilla alcanza los 900 m cerca de Alona. Su valle aluvional tiene bastante amplitud donde atraviesa rocas terciarias friables. El abanico aluvial de esta quebrada es uno de los más extensos de la Pampa del Tamarugal. Las quebradas Higuieritas y Los Tambos nacen al oeste de las serranías Empexa o Chacarilla y pertenecen a la red de la quebrada La Ramada.

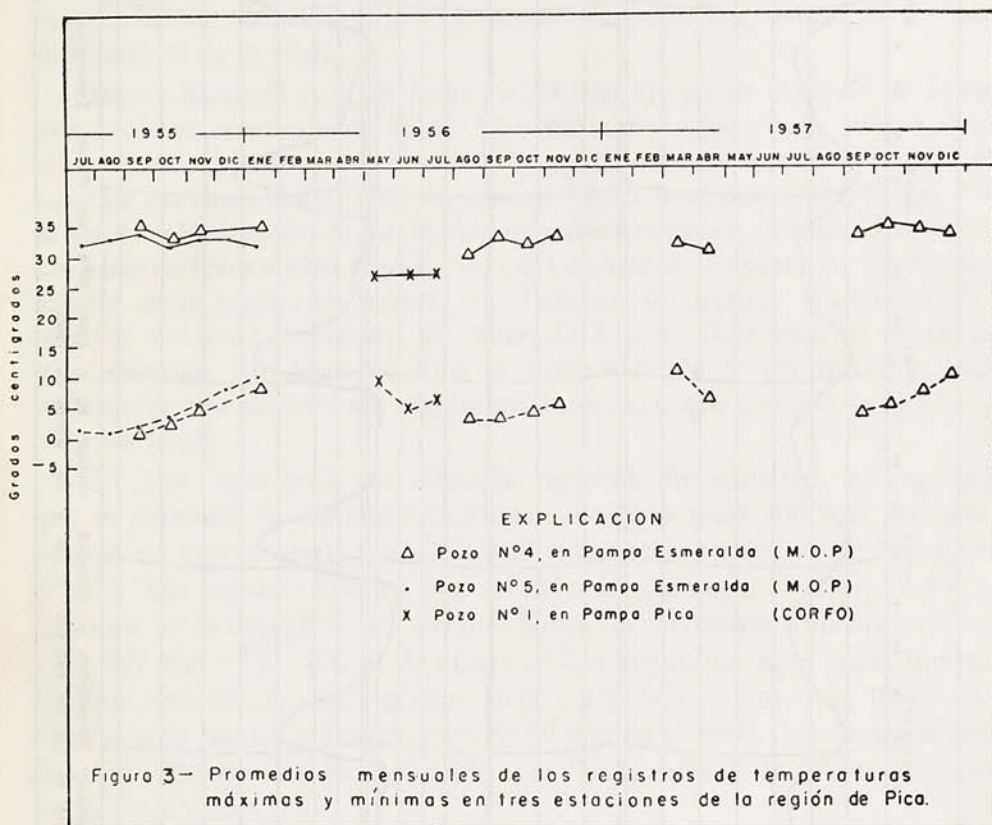
CLIMA.

Los datos sistemáticos del clima deben ser obtenidos por observaciones a lo largo de un período suficiente para extraer de ellos conclusiones específicas que tiendan, en último término, a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. El comentario sobre el clima de Pica se basa en una información escasa que está compuesta por registros de poca amplitud temporal obtenidos en el Campamento Esmeralda (MOP); en el campamento de perforación de la CORFO; en los registros de la estación meteorológica de Canchones, relativamente cercana; en las observaciones personales efectuadas en el corto lapso de trabajo, y en estaciones establecidas dentro de un radio de 100 Km.

TEMPERATURA.

La temperatura fue medida por los autores en el campamento de perforación en Pampa Pica durante aproximadamente tres meses, comprendidos en el período marzo-julio de 1956, y por la Dirección de Riego en el Campamento Esmeralda durante algunos meses de 1955, 1956 y 1957, y en el pozo Pampa Esmeralda N^o 5 (MOP), durante siete meses de 1955. Los registros fueron llevados a cabo con termómetros de máxima y mínima. El

objetivo inmediato era acumular datos acerca de las posibilidades agronómicas de esos sectores. Las investigaciones están a cargo (1958) de los agrónomos Sres. Hernán Crespo y Domingo Lara (MOP). En la figura 3 se presentan los registros absolutos máximos y mínimos de cada mes que informan de las temperaturas moderadas de esas localidades.



H U M E D A D .

Los datos de humedad fueron registrados en el Campamento Esmeralda y han sido facilitados por la Dirección de Riego. En el ambiente del desierto en general hay muy poco cambio en la humedad absoluta del aire, pero como resultado de la gran variación diaria de la temperatura, la humedad relativa puede oscilar eventualmente entre 10 por ciento durante el lapso más caluroso hasta ciento por ciento en la noche. Se adjunta un registro de la semana comprendida entre el 28 de febrero de 1956 y el 5 de marzo de 1956, en el cual se observan la relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa y los registros del barómetro (figura 4).

PRECIPITACIÓN.

El período de máxima precipitación sobre la región investigada se extiende desde diciembre a marzo y es conocido localmente como el "invierno boliviano". Las precipitaciones derivan de los márgenes de masas de aire húmedo que atraviesan el continente sudamericano desde el Atlántico. Estas masas de aire causan gran precipitación sobre las cuencas de los ríos Amazonas y de la Plata.

Según Almeyda A. (sin fecha, p. 39, fig. 8), pasan a través de la región las isoyetas anuales de 10, 25, 50 y 100 mm. La isoyeta de 10 mm atraviesa aproximadamente el centro de la región hacia el noroeste, y hacia el oeste de esa línea está el área sin lluvias. Según Bowman (1924, p. 56) "es la tierra más desprovista de lluvias que conocemos en el mundo actual". Las observaciones de los autores de esta publicación respecto de la geomorfología, de la vegetación natural y del sistema de drenaje, tienen estrecha relación con las conclusiones de Almeyda Arroyo, ilustradas en su mapa pluviométrico. En Altos de Pica la intensidad de la precipitación está indicada por la cubierta de vegetación autóctona, que consiste de pastos y arbustos bajos.

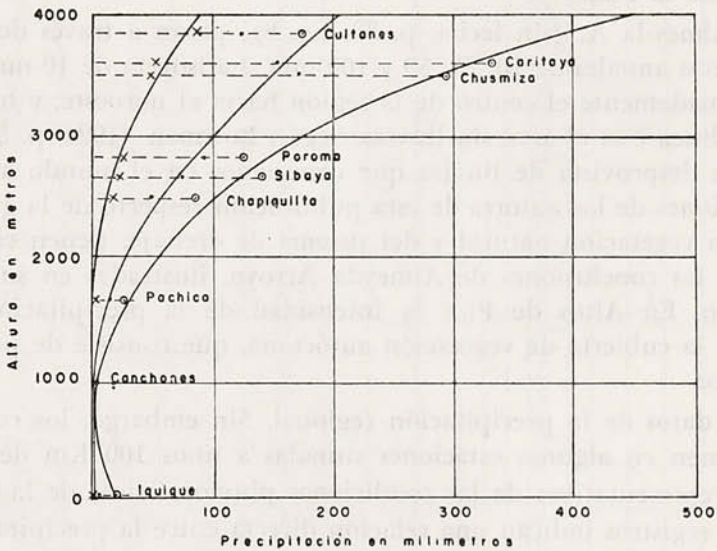
No hay datos de la precipitación regional. Sin embargo, los registros que se obtienen en algunas estaciones situadas a unos 100 Km del área, pueden ser representativos de las condiciones pluviométricas de la región de Pica. Los registros indican una relación directa entre la precipitación y la altura de la superficie del terreno. Sobre las estaciones situadas entre el nivel del mar y los 1.000 m de altura se han registrado muy pocas lluvias. Iquique, con 49 años de registros, tiene un promedio anual de lluvias de sólo 1,9 mm, con un máximo anual de 20 mm en el 1940. Canchones, a una altura de 961 m, sólo ha registrado una lluvia, menor de 2 mm, durante los 22 años controlados.

La precipitación aumenta rápidamente sobre los 1.000 m de altura. Pica, a una altura de 1.300 m, tiene ocasionalmente lluvias muy ligeras. Aunque no hay registros al respecto, según las informaciones obtenidas de los pobladores, es probable que el promedio anual de precipitaciones sobre Pica sea alrededor de 10 ó 20 mm.

La precipitación a los 3.000 m alcanzaría a un promedio de 100 mm por año y a los 4.000 m aproximadamente unos 200 mm por año, de acuerdo con los datos ilustrados en la figura 5.

La curva basada en la máxima precipitación anual es de gran interés desde el punto de vista de la recarga del agua subterránea. La curva indica un aumento rápido de la precipitación con la altura hasta que la extra-

polación de la curva alcanza aproximadamente 500 mm de precipitación a una altura poco superior a los 4.000 m.



- x Precipitación mínima anual
- o Precipitación máxima anual
- . Precipitación promedio anual

Figura. 5 - Relación entre la altura y la precipitación sobre estaciones representativas en la región de Pico

EVAPORACIÓN.

En el Campamento Esmeralda se registró la evaporación con un evaporímetro Wenzel durante los meses de agosto a noviembre de 1956 y de marzo, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 1957.

Los datos registrados, que fueran suministrados por la Dirección de Riego, se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Evaporación diaria en promedio en Pampa Esmeralda, Tarapacá

Agosto	1956	6,3 mm
Septiembre	"	6,9 "
Octubre	"	6,9 "
Noviembre	"	6,6 "
Marzo	1957	5,2 "
Abril	"	4,9 "
Septiembre	"	8,1 "
Octubre	"	8,2 "
Noviembre	"	9,2 "
Diciembre	"	5,8 "

La máxima absoluta diaria es del mes de noviembre de 1957 con 14,2 mm y la mínima es de agosto de 1956 con 2 mm.

Los registros que obtuvo Froehlich (comunicación oral, 1958) en Canchones, arrojaron 11,2 mm como mínimo y 34 mm como máximo, diarios. Estos valores son más altos que los obtenidos por la Compañía Anglo-Lautaro en Pedro de Valdivia, Provincia de Antofagasta (aproximadamente 22°30' sur, 69°45' oeste, en el área del salitre de la Pampa del Tamarugal), en piletas de evaporación de 200 x 220 m. Las cifras diarias son de 1 mm como mínimo y 12 mm como máximo, con un promedio de 6 mm. Los valores se diferencian mucho y ello se debe probablemente a las técnicas adoptadas, pero demuestran la intensidad con que se produce la evaporación en el ambiente del desierto.

ASPECTOS CULTURALES.

POBLACIÓN.

La excepcional aridez de la región determina un agrupamiento humano condicionado a las localidades con vertientes naturales, con galerías de recolección de agua freática o con agua de bombeo. Los habitantes se concentran como pueblo únicamente en Pica y Matilla.

Pica tiene una población fluctuante de unos 1.800 habitantes. La economía de Pica es exclusivamente agrícola y todas las actividades son de-

pendientes de las plantaciones frutales. El agrupamiento humano en Pica es muy antiguo y hay indicios etnológicos de que la historia del lugar se remonta a tiempos prehispánicos. En 1958 fue creada la comuna autónoma de Pica.

Matilla está situada a unos 4 Km al sudoeste de Pica y agrupa a una población estimada en unas 100 personas. La población de Matilla se componía de unas 400 personas en 1930. Este pueblo tuvo anteriormente mayor importancia económica que en la actualidad al beneficiarse con las vertientes de la quebrada Chintaguay.

Otras localidades estaban habitadas en 1957 en la siguiente forma: Jucuma, una familia; Alca, una familia; La Calera, uno a tres trabajadores; pozo N^o 5 de Pampa Esmeralda, unos diez trabajadores y sus familias; Chintaguay, una familia; Puquio Núñez, uno a tres trabajadores, y Chacarilla, una familia.

La población total de la región estudiada puede estimarse en alrededor de 2.000 personas.

ABASTECIMIENTO DE AGUA MUNICIPAL Y DOMÉSTICA.

En Pica existen tres fuentes de agua potable que abastecen el pueblo:

- 1) Las vertientes de Concova, que proporcionan agua para regadío y para bebida.
- 2) Las captaciones para el servicio de Agua Potable.
- 3) Los pozos domésticos dentro de las quintas y casas del pueblo (tabla 1).

Solamente 140 jefes de familia, que reciben el nombre de accionistas, tienen derecho a agua. Esto representaría el abastecimiento de una población de 700 a 1.000 habitantes. La captación está dentro de la chacra de Concova y consiste en una galería hacia el este del pueblo. La aducción se efectúa por una cañería de acero de 2 pulgadas y otra de hierro galvanizado de 1½ pulgadas, las que terminan en un estanque de palastro de 12,5 m³. La matriz recorre las calles principales y consiste en cañerías metálicas, tendidas en sectores a flor de tierra, que se conectan a las casas que tienen el servicio. No hay plano de esta distribución. Cada casa tiene en su interior un estanque de 100 lt que se llena cada dos días, de donde los habitantes sacan el agua por medio de jarras y otros recipientes. Existe la prohibición de hacer conexiones a una instalación interna. El consumo de agua de las cañerías es de aproximadamente 7 lt por persona (1957).

En Pica no existe alcantarillado, y casi todos los domicilios tienen pozos negros. Algunos domicilios tienen instalación con fosa séptica y pozo absorbente. La posibilidad de contaminación bacteriológica de los pozos negros con los pozos domésticos es muy grande.

En Matilla también existen tres fuentes de agua potable:

1) El socavón de agua potable.

2) El excedente de la galería El Sauque. Por ley, el pueblo tiene derecho a 400 m³ por día, aunque recibe alrededor de 600 m³ por día. El agua se usa para regadío.

3) El rebalse de la cañería de Chintaguay. El volumen de agua es de alrededor de 150 m³ por día y se emplea también en regadío.

El agua potable es captada del socavón y abastece a unas 20 familias aproximadamente, con un suministro mayor que el que reciben las de Pica. El resto de la población consume agua de regadío o de pozos domiciliarios. Un detalle curioso es que el agua potable que se usa para bebida, no se clora ni se analiza bacteriológicamente; pero el agua de regadío está clorada, con un exceso de más o menos 0,5 partes por millón de cloro. Esto se debe a que los excedentes de agua de El Sauque y de la aducción de Chintaguay, se reúnen en un estanque y se les agrega cloro, con lo que se alcanza al exceso anotado.

El resto de la población, fuera de Pica y Matilla, consume agua de vertientes (en Jucuma, Alca y Chacarilla), de galerías (en puquios entre Pica y Matilla, Puquio Núñez, La Calera y algunos sectores de Pica como Miraflores), o de la cañería matriz que conduce agua de Chintaguay a Iquique (Chintaguay y pozo Pampa Esmeralda N^o 5 de la Dirección de Riego).

ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA IRRIGACIÓN.

El área plantada de Pica, Matilla, Puquio Núñez y La Calera se irriga con agua de vertientes y de galerías que se acumula en piletas o "cochas", como se las llama localmente. El agua se reparte por turnos a los propietarios cuando las "cochas" están llenas. El sistema de regadío es único y es usado por todos los habitantes, que anegan parcelas plantadas de una superficie de alrededor de 50 a 100 m². El agua se conduce por canales que en parte están revestidos por cemento. En los últimos años (1958) la sociedad agrícola SOCAPI y los Sres. Cervellino bombean agua subterránea del acuífero superior, con la que irrigan terrenos situados al oeste del pueblo de Pica.

Alrededor del pozo N^o 5 Pampa Esmeralda de la Dirección de Riego, se está irrigando un área experimental. La supervisión está a cargo de agrónomos del mop.

En Chacarilla y Jucuma se irriga con agua de vertientes, que también se acumula previamente en "cochas" o primitivos embalses de tierra. Los canales no están impermeabilizados. La irrigación con agua de la quebrada Chacarilla de pequeñas áreas cerca de Chacarilla y El Algarrobal, se abandonó hace muchos años.

A G R I C U L T U R A

La principal actividad económica de los oasis de la región es la agricultura. El área plantada de Pica tiene una superficie total de cerca de 90 hectáreas, que se distribuyen aproximadamente en 45 de naranjos, 30 de limoneros, 10 de mangos y 5 de guayabos. Esa producción está orientada hacia el máximo aprovechamiento económico de la escasa agua disponible. La tasa de riego, que es de alrededor de 0,5 lt/seg/hect. para los árboles adultos, es muy baja a pesar de la alta permeabilidad de los suelos regionales. La baja tasa de riego puede explicarse porque en el suelo de Pica se ha producido una humificación local que ha acrecentado su capacidad de campo y porque el desarrollo del follaje atenúa los efectos de la fuerte evaporación. En Pica existen unos 32.000 árboles frutales.

En Puquio Núñez, de poco más de 3 hectáreas, hay principalmente naranjos, limoneros, guayabos y pomelos. En este oasis se están haciendo (1957) trabajos para incrementar el área de cultivos, ya que nuevas labores en su galería han aumentado el caudal de las aguas.

En otros oasis, las plantaciones ocupan áreas menores. En La Calera (2 a 3 hectáreas) se cosechan especialmente legumbres. En la quebrada Chintaguay (1/2 hectárea), los únicos árboles en producción actual son principalmente los mangos, que están alrededor de las instalaciones del pozo surgente N^o 143 de Agua Potable. En Chacarilla (menos de una hectárea) se producen peras, ajíes y choclos. En Jucuma (1 hectárea) se cosechan, sobre todo, peras, manzanas, membrillos, ajíes y alfalfa.

La producción agrícola de los oasis ha variado mucho por diversas causas. Puelma (1855, p. 670) comenta que en Pica se cultivaban "la parrá, la higuera y el granado que se producen perfectamente, hai allí también huallabas, pacayes y algunas verduras". La reducción del agua de riego en Matilla (Ojeda, 1945, p. 8) hizo descender la producción de 3.807.500 pesos en 1924, a 708.650 pesos en 1944. En Matilla existían en 1924 unas 32.000 parras, 2.200 naranjos, 1.200 granados, 1.500 guayabos,

etc., que en total sumaban 39.700 plantas frutales. En 1944 había sólo 3.320 plantas.

GANADERÍA

Las posibilidades del desarrollo ganadero son casi nulas en una región tan árida. Los datos pecuarios suministrados por Carabineros de Pica, al 28 de julio de 1957, se indican en la tabla 3.

Tabla 3. Censo pecuario de julio de 1957, en la región de Pica, Tarapacá

	Caballos	Mulas	Asnos	Ovejas	Llamas	Cerdos	Cabros
PICA *	9	13	35	400	70	110	30
MATILLA	1	—	15	30	15	25	15
LA CALERA	—	—	5	10	—	—	—
JUCUMA	—	1	10	70	50	—	—
ALCA	—	—	30	250	150	—	90
CHACARILLA	—	—	10	50	20	—	5
EL HUASCO **	—	—	20	180	110	—	20
CAYA **	—	1	50	20	300	—	10

* Se incluyen los caballos y mulas de la Tenencia de Carabineros.

** Localidades fuera de los cuadrángulos; sin embargo animales de estos puntos suelen pastar en la región de los cuadrángulos.

TRANSPORTE

Los habitantes de Pica y Matilla se trasladan (1958) por medio de tres líneas de ómnibus que unen Pica con algunas oficinas salitreras, estaciones de ferrocarril e Iquique. Numerosos camiones transportan la producción frutera hacia Iquique, Victoria, Quillagua, Tocopilla, Antofagasta, Chuquicamata, Calama, María Elena y otros puntos intermedios. Entre localidades dentro de la región, las personas y la producción se transportan en camiones y en asnos. Hacia Bolivia hay una huella, en partes algo mejorada, que puede transitarse con vehículos a motor; pero el mayor movimiento hacia ese país es a pie, por diversas huellas. Las cargas van sobre lomo de asnos o de llamos.

Los caminos para automóviles están (1958) en mal estado. El mejor camino es el que une Matilla con Pintados, sobre la ruta Panamericana. La huella que une Matilla-Canchones-La Tirana con la Panamericana e Iquique (130 Km) sólo en partes está bien acondicionada, pero en muchos tramos es la vieja huella de carretas, algo mejorada. El resto de las vías de comunicación son primitivas huellas de vehículos a motor y sendas de animales. La pista de aterrizaje local la utilizan aviones de la base aérea "Los Cóndores", establecida a unos 10 Km al sudeste de Iquique.

GEOLOGIA

FORMACIONES DE ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS.

ASPECTOS GENERALES.

Las rocas sedimentarias y volcánicas se agruparon en cuatro formaciones: Longacho, Chacarilla, Cerro Empexa y Altos de Pica.

La formación Longacho, de edad jurásica inferior, es de origen marino, fosilífera y está poco distribuida en la región (tabla 4). La formación Chacarilla, de edad jurásica superior, de origen marino y continental, con huellas de dinosaurios, aflora en el área sudoriental de la región. En Guatacondo, la secuencia de las rocas de la formación puede estar completa.

La formación Cerro Empexa, de edad cretácica, cubre a la formación Chacarilla, en discordancia angular. La formación está integrada por materiales clásticos de origen volcánico en su mayor parte, depositados en ambiente terrestre. Por consideraciones litogenéticas se la dividió en tres miembros. La formación Altos de Pica (Terciario superior-Pleistoceno) sobreyace con una discordia angular de hasta 90 grados. La formación es una unidad híbrida compuesta por tres miembros sedimentarios y dos piroclásticos. La formación Altos de Pica es la más ampliamente distribuida regionalmente y la de más interés hidrogeológico. Los depósitos cuaternario-recientes son gruesas e irregulares acumulaciones de materiales aluviales y eólicos, que ocupan, sobre todo, los sectores occidentales de la región.

En la tabla 4 se muestran las formaciones reconocidas, con un espesor total aproximado de 2.700 m. El espesor del abanico aluvial de Chacarilla, que se presume es muy grande, debe agregarse a esa cifra.

En el curso del trabajo se visitaron otras áreas adyacentes de interés. En la quebrada Guatacondo se observan rocas sedimentarias parecidas a las de Chacarilla pero con más desarrollo. En los afloramientos de Guatacondo se observan la parte inferior de la formación Chacarilla y la unidad que la precede.

En la sierra de Juan de Morales, a poca distancia al norte del cuadrángulo Pica y a unos 15 Km al sudoeste del pueblo de Mamiña, se descubrieron estratos paleozoicos que fueron comentados brevemente (Galli, 1956, p. 30-31; 1957, p. 16-18).

En la figura 6 se exponen gráficamente las relaciones entre las formaciones sedimentarias y las rocas intrusivas de la región de Pica.

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	RESTOS FOSILES	FORMACIONES REGIONALES	ROCAS INTRUSIVAS QUE PENETRAN UNIDADES LITOGENETICAS	LAS ROCAS Y SUS RELACIONES	AMBIENTE DE SEDIMENTACION	ESPESORES EN METROS	APTITUD HIDROGEOLOGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO						Arena Ceniza Conglomerado Fanglomerado Sales de cloruros y sulfatos	Continental	Muy variables	En la quebrada Chacarilla escurre agua pero probablemente la permeabilidad es baja. En otras areas los sedimentos cuaternarios permiten un moderado suministro de agua donde estan saturados
		PLEISTOCENO								
	TERCIARIO	SUPERIOR			ALTOS DE PICA		Ripio Arena Conglomerado Toba Toba soldada Arenisco Fanglomerado	Continental	735 (1)	Los miembros sedimentarios escurren agua pero su permeabilidad esta muy reducida por cementacion. Los miembros piroclasticos escurren agua en las fracturas.
MESOZOICO	CRETACICO		BERRIASIANO A SANTONIANO?		CERRO EMPESA	Porfido diorítico anfibólico Andesito	DISCORDANCIA ANGULAR Troquita Fangolita Arenisco Yaso Conglomerado Brecho	Continental	600 (1)	Muy pobre
	JURASICO	MALM	EN PARTE OXFORDIANO?	Posidonomya sp. Exogyra sp. Fragmentos de plantas Perisphinctes y probablemente Atrypinictes Restros de dinosaurios	CHACARILLA	Granito Porfido granítico Gronodiorita Microgranito de soda Diorita Andesito Anfibolita	DISCORDANCIA ANGULAR Fangolita Arenisco Lutita friable Ortocuarcita Conglomerado Troquita	Marino y continental	1127 (1)	Muy pobre
		LIAS	LOTHARINGIANO SINEMURIANO	Arietifera spp Nucula (?) sp Oxytoma sp.	LONGACHO	Riolita Dacita Andesito Diorita Gebro Porfido granítico	Lutita friable Fangolita Arenisco Diorita Ceniza Toba	Marino	120-150 (2)	Muy pobre

(1) Espesores en las localidades tipo.

(2) Espesores mínimos estimados.

TABLA 4. Las Formaciones Geológicas

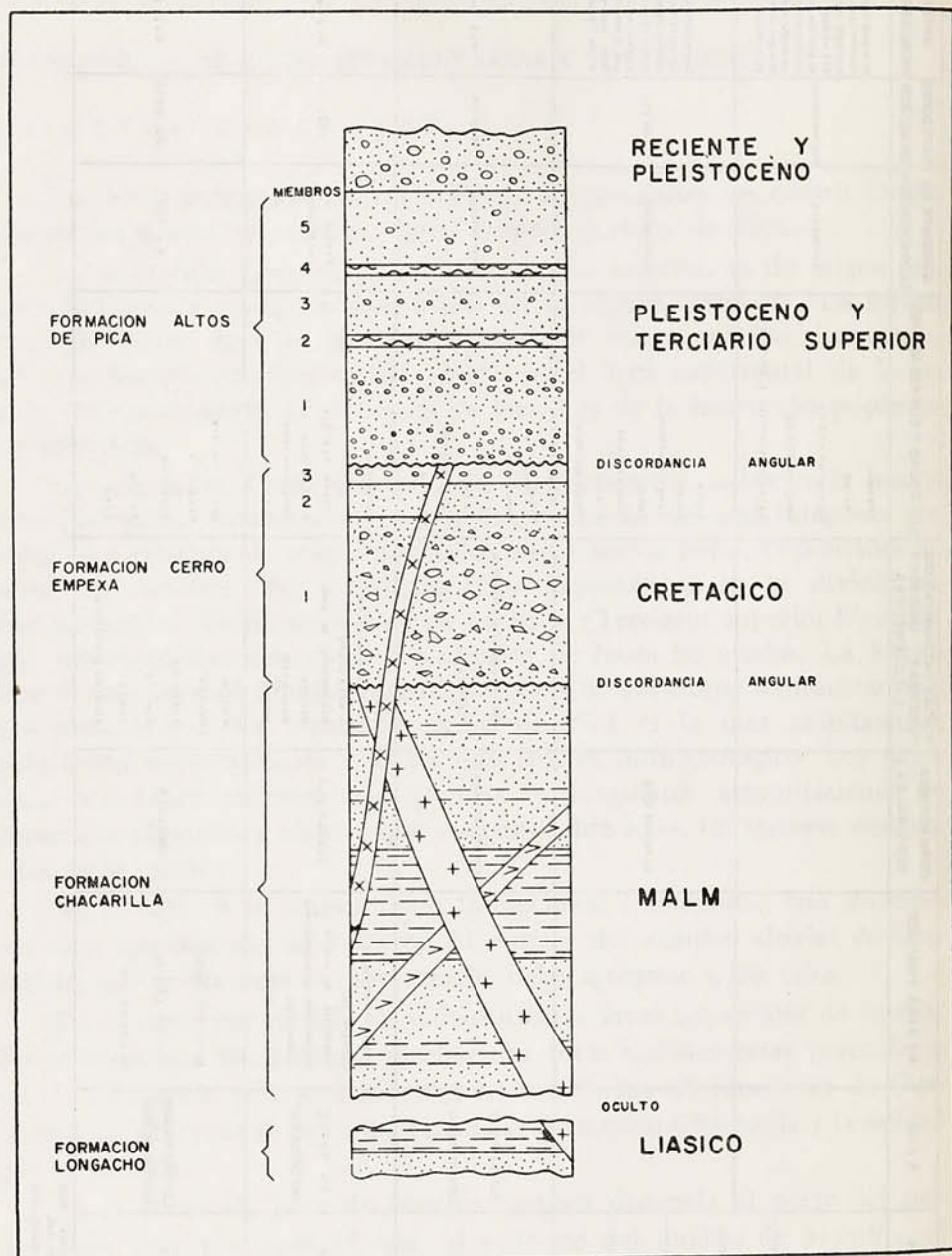


FIGURA 6.- Relaciones entre las formaciones sedimentarias y las rocas intrusivas.

FORMACIÓN LONGACHO

ASPECTOS GENERALES.

El nombre de la formación se ha tomado del cerro Longacho, localidad donde la unidad aflora. La formación Longacho fue así denominada y descrita brevemente por Galli (1957). La unidad está muy poco expuesta en la región; es de edad liásica y está formada por lutitas fisibles, fangolitas, areniscas finas y calizas, generalmente grises, que se depositaron en ambiente marino. Las rocas son fosilíferas. La estructura es anticlinal asimétrica y en un sector está complicada por el empuje de rocas intrusivas.

Brüggen (1918, p. 9) y Felsch (1920, p. 470), hacen breve mención de estas rocas.

Los afloramientos de la formación ocupan unos 3 Km², distribuidos en el cerrito principal y los alrededores de la sierra del Longacho. Afloramientos tan reducidos no permitieron hacer observaciones satisfactorias sobre el espesor total, que se calcula en 120 a 150 m como mínimo.

La formación sobre la cual se apoya, sus mutuas relaciones de campo, y la unidad que eventualmente le sucedió en el tiempo, son desconocidas. En el cuadrángulo Pica se observa que la formación Longacho aparece como islas de rocas que asoman entre depósitos terciarios y cuaternarios que las sobremontan con fuerte discordancia angular.

La unidad muestra una definida estratificación de capas que probablemente fueron depositadas en aguas moderadamente profundas. Las rocas sedimentarias que la integran son en general pelitas y psammitas de grano fino. En muchas partes las rocas de esta formación están intensamente silicificadas sobre todo al norte del cerro Longacho.

Las fangolitas silicificadas y las lutitas fisibles, son las rocas de grano fino más distribuidas. Son rocas castaño amarillentas, grisáceas y verdosas, aunque en ciertas localidades están enrojecidas por limonitización. Las lutitas se observan con fisilidad en láminas de 1 mm. Las fracturas son concoidales y los clastos del regolito presentan aristas agudas debido al alto contenido de sílice.

Las areniscas finas están asimismo muy distribuidas. La matriz es calcárea y arcillosa, con un cemento formado por un agregado microgranular muy calcitizado; entre los fenoclastos predominan los de cuarzo. Otras rocas psammíticas representativas tienen fina estratificación y en ciertas partes son fuertemente rojizas por los óxidos de hierro.

Las pequeñas lomas al noroeste del cerro Longacho están formadas por caliza, jaspe y diorita de textura fina. Las calizas son gris castañas, de textura microcristalina y contienen espículas de esponjas. No hay seguri-

dad acerca de la edad de las calizas, pero tentativamente se las incluye en la formación Longacho.

Mantos de tobas están intercalados en los estratos de la formación, en muchos sectores. En partes, las tobas están de tal modo silicificadas que en el campo se dificulta el reconocimiento entre las de piroclastos muy finos y las fangolitas.

En un amplio sector al sur del cerrito principal, las rocas de la formación Longacho fueron invadidas por clorita hidrotermal. La estratificación está en gran parte enmascarada, aunque algunos bancos pelíticos silicificados y areniscas conservan su individualidad. La clorita está esparcida en la roca o en pintas que alcanzan hasta 3 ó 4 mm. Se observan concreciones silicificadas gris oscuras, con formas diversas y tamaños que pueden variar desde pocos centímetros hasta un metro.

La estratificación regular y uniforme, la ausencia de ondulitas y estratificación cruzada, el predominio de fangos y arenas finas y el conjunto faunístico, en los depósitos originales de la formación Longacho, permiten estimar que el medio ambiente de sedimentación fue moderadamente profundo. Las areniscas medianas y bivalvos, sugieren un ambiente sublitoral en algunos niveles de la secuencia.

La formación Longacho está penetrada por cuellos y diques intrusivos de andesita, dacita, diorita, pórfido granítico, pórfido sienítico y gabro. Poco al norte del cerrito principal se observaron cuarcitas gris claras de grano grueso, en el contacto con el cuerpo andesítico.

La sección realizada en una pequeña quebrada al noreste del cerrito principal, comprende sólo una parte del espesor total de las sedimentitas. En esa quebrada la estructura es muy clara y las rocas constituyentes son representativas de la unidad.

Localidad : 500 m al noreste del cerro Longacho (1.627 m).

Techo : formación Altos de Pica (miembro 2).

Discordancia angular.

Formación Longacho:

	Metros
—Areniscas finas y lutitas fisibles gris claras, con algunos estratos enrojecidos por óxidos de hierro; acentuada silicificación; capas muy regulares y uniformes de un espesor máximo de 8 cm y mínimo en láminas de 1 mm. Se intercalan tobas	7
—Arenisca gris clara, con pátina rosada, muy tenaz	0,6
—Lutitas fisibles y fangolitas gris claras, en partes muy silicificadas	4
—Arenisca grisácea, con pátina rosada, muy tenaz	0,8
—Lutitas fisibles y fangolitas gris claras, con intercalación de capas de 50 cm de areniscas finas, grises, muy duras. Hacia la base se observan tobas gris verdosas	54
—Areniscas rojizas, con laminación, estratificadas en capas de 50 cm.	15
—Fangolitas, areniscas y tobas, abigarradas, finamente estratificadas	5
—Arenisca grisácea fina	1
—Fangolitas gris claras, estratificación definida	5
	Total: 92,4

Base: oculta.

EDAD Y CORRELACIONES.

El hallazgo de tres especies de *Arietites* ubica estratigráficamente a esta unidad en los pisos Lotharingiano y Sinemuriano, de la época liásica. Los fósiles fueron recogidos en tres localidades diferentes y dispersas en los reducidos afloramientos de la unidad. Corvalán identificó, en base a moldes de conchas, los siguientes individuos:

PELECYPODA.

Oxytoma sp. Son cinco ejemplares incompletos que concuerdan bastante bien con las características de este subgénero de *Pteria* (= *Avicula*); cuatro de ellos corresponden a una misma especie y el quinto es un molde de la valva derecha de un individuo, tal vez de una especie distinta.

Nucula (?) sp. Un molde mal conservado.

CEPHALOPODA.

Arietites sp. 1. Un ejemplar bien conservado y ocho fragmentos pequeños de moldes.

Arietites sp. 2. Ocho fragmentos de moldes.

Arietites sp. 3. Un fragmento de molde.

La edad jurásica de estas rocas ya había sido adelantada por Brüggén (1918, p. 6) y por Felsch (1920, p. 470), por el hallazgo de fósiles, pero ninguno de ellos se extendió en mayores consideraciones cronológicas.

En la Cordillera de la Costa han sido estudiados estratos del geosinclinal mesozoico (Brüggén, 1950; Biese, 1954a, 1954b, 1954c, 1955; Cecioni y García, 1960). Las recientes investigaciones de Cecioni y García indican que en la Cordillera de la Costa no se han hallado rocas liásicas. En esa cordillera las rocas más antiguas son de edad bajociana.

Es posible que investigaciones futuras puedan correlacionar la formación Longacho con los estratos que García (comunicación oral, 1957) agrupó en su formación Aquiuno. Esta formación marina aflora cerca de la chacra de Ygua, en Guatacondo (= Jura inferior en Copaquire, de Felsch, 1917, p. 322; 1921). Es muy probable que un ejemplar de *Gryphaea schulzei* Ph. que recibió Philippi (1899, p. 14) para su identificación, provenga de rocas de la formación Aquiuno.

FORMACIÓN CHACARILLA

ASPECTOS GENERALES.

El nombre de esta unidad deriva de la localidad de Chacarilla, que está ubicada sobre el faldeo septentrional de la quebrada homónima. La

formación fue así denominada y descrita brevemente por Galli (1957). Un kilómetro y medio al sudoeste de ese punto se midió una sección que se tomó como tipo.

La formación Chacarilla es un potente conjunto del Jurásico superior (Malm), bien estratificado, compuesto por fangolitas, fangolitas fibsibles, areniscas, ortocarcitas (Pettijohn, 1957, p. 295) y algunos mantos de traquita, generalmente de color gris rojizo o gris verdoso, sedimentado en ambiente marino en su parte inferior y en ambiente continental en la superior, muy plegado, con fósiles.

El único antecedente publicado sobre rocas de esta formación es el de Felsch (1917), con observaciones muy valiosas, aunque breves. Posteriormente Decat (1931, p. 9) menciona las rocas de la formación en un informe inédito. En 1957 García (comunicación oral, 1957) midió la misma sección que estudiara Felsch en la quebrada Guatacondo, arribando a resultados parecidos, con novedades estratigráficas, estructurales y paleontológicas.

Rocas de la formación Chacarilla constituyen la montaña compleja desde la quebrada Chacarilla hacia el sur. En el este la unidad está flanqueada por afloramientos de la formación Cerro Empexa, y en el oeste por rocas de la formación Altos de Pica; en el área intermedia está muy bien expuesta y la cubren relictos conglomerádicos o tobíferos de la formación Altos de Pica en algunas localidades.

El espesor de las capas en la sección, de 1.127 m no es el máximo de la formación; es la potencia de la sección medida en su localidad tipo. Según García, que pudo estudiar una secuencia más completa en Guatacondo, tiene un espesor de 3.650 m.

Las relaciones de la base no pudieron observarse en la región de los cuadrángulos. Felsch (*op. cit.*, p. 322), por otra parte, observó que en Guatacondo "sus margas multicolores con areniscas grises", que corresponden a la formación Chacarilla, están en concordancia y hiatus original sobre "pizarras" negras bituminosas con areniscas cuarcíticas. En Copaquire, según Felsch, estas "pizarras" y areniscas contienen ammonites mal conservados del Jurásico inferior.

La formación Chacarilla subyace en algunas áreas a la formación Cerro Empexa, en discordancia angular, como puede observarse cerca de las chacras de Chacarilla y en el sinclinal Higuieritas. En otras localidades está cubierta por la formación Altos de Pica con una discordancia angular de hasta 90° (lámina 1).

En general los estratos son uniformes y no cambian lateralmente. Al parecer se sedimentaron en un ambiente palustre de aguas dulces o de lagunas costaneras, en la parte superior, y en un ambiente litoral y sub-

litoral marino en la parte inferior. Se observan algunas discordancias intraformacionales.

Las rocas sedimentarias son de clastos más bien finos y de mediana a excelente clasificación. Son gris rojizas o gris verdosas y granulométricamente pueden variar entre areniscas medianas y lutitas. En una localidad se observó, como excepción, un conglomerado polimíctico de 3 m de espesor.

Las areniscas finas gris rojizas están muy distribuidas. Microscópicamente se observa cemento hematítico, en partes concentrado en formas irregulares y partículas generalmente subangulares de cuarzo con extinción ondulosa.

Las ortocuarzitas se observan al microscopio con cemento de granos de cuarzo recristalizado y sericita; la cantidad de hematita es muy variable pero abundante.

Algunos estratos están compuestos por lutitas fisibles calcáreas gris oscuras, con alto porcentaje de materia orgánica.

El conglomerado tiene matriz arenosa gruesa muy cementada por carbonato de calcio; los fenoclastos son redondeados y heterogéneos, de cuarzo con extinción ondulosa, pórfidos cuarcíferos con una masa fundamental microgranular y fenocristales de cuarzo, feldespatos alcalinos, pederal, caliza con probables impresiones de algas, cuarcita sericítica, epidota bien redondeada, etc.

Traquitas contemporáneas con la sedimentación, en mantos de un espesor de unos 20 m, se observan a unos 3 Km al este de las chacras. Macroscópicamente la traquita es gris verdosa oscura, con textura porfírica y fenocristales feldespáticos.

En ciertas localidades se observa en la aureola en contacto inmediato con los cuerpos intrusivos, que las rocas de la formación están brechizadas y sin estratificación; las fangolitas tienen colores anormalmente claros y la estratificación original está enmascarada; las ortocuarzitas están litológicamente inalteradas pero quebradas en trozos subangulosos. En las rocas de caja cerca de los cuerpos magmáticos se observa silicificación, epidotización y piritización.

Se observan estructuras primarias en las rocas sedimentarias en muchos sectores. Algunos estratos de areniscas finas teñidas por hematita, exhiben ondulitas de oscilación, paralelas, de un largo de onda de 3 cm y una amplitud de 3 mm. Se observan asimismo marcas de corrientes de agua. La estratificación entrecruzada se observa en las areniscas. La estructura de la estratificación es de tipo deltaico e indica un cuerpo de agua en movimiento lento. Las capas se disponen en bancos de forma tabular. La orientación al oeste indica sedimentación hacia un nivel base, tal vez el mar, hacia occidente.

Las rocas sedimentarias de la formación Chacarilla contienen diversos restos fósiles. Un banco con restos fragmentarios muy desgastados de pelecípodos fue observado por García (comunicación oral, 1957) a 1,5 Km al oeste de Guatacondo, en la parte inferior de su formación Majala. Los restos pueden corresponder a pequeñas formas de *Exogyra*. Hay seguridad acerca del origen marino de los fósiles, a pesar del mal estado de conservación.

En el último salto de la quebrada Empexa antes de su desembocadura en la quebrada Chacarilla, Marino y García (ENAP), hallaron la impresión de un ammonite. El fósil se conserva con escasos detalles de su ornamento, en lutitas muy silicificadas y mineralizadas por piritita. Las rocas de las inmediaciones están muy penetradas por pórfidos graníticos. Cecioni (comunicación oral, 1961) informó que éste y otros ammonites, hallados por geólogos de la ENAP, son *Perisphinctes* y probablemente *Arisphinctes*.

En bancos de lutitas gris oscuras, los autores y García observaron restos de *Posidonomya*. La localidad se halla a unos 2 Km al sur de las chacras de Chacarilla, a unos 50 m aguas abajo del primer salto de la quebrada del Carbón, desde su desembocadura en la quebrada Chacarilla.

En las areniscas finas gris rojizas se hallaron huellas de dinosaurios por primera vez en el país, en cinco localidades ubicadas en el área de drenaje de la quebrada Chacarilla. Una de las localidades fue descubierta por García con posterioridad al levantamiento de los autores. El conjunto de huellas más espectacular está expuesto en capas fuertemente inclinadas entre 40 y 60° E, a unos 4 ó 5 Km al este de las chacras de Chacarilla. En esta localidad, en el faldeo sur de la quebrada Chacarilla, se exponen centenares de huellas, algunas ubicadas hasta 500 m sobre el fondo del valle. Otras localidades están situadas en la quebrada del Carbón, unos 50 a 100 m aguas arriba del primer salto y en una pequeña quebrada tributaria desde el lado sur, de la quebrada Chacarilla, situada 1 Km al este del límite del cuadrángulo Chacarilla. Se efectuó una búsqueda intensa por restos orgánicos, sin resultados.

Se hallaron restos vegetales muy mal conservados e inidentificables, cerca de Chacarilla y Alona.

La formación Chacarilla está penetrada por cuellos intrusivos de dioritas diferenciadas hacia los bordes a granodioritas, microgranitos de soda y pórfidos graníticos; cuellos intrusivos de granitos aplíticos; y diques de pórfidos graníticos, andesitas y pórfidos dioríticos anfibólicos.

A poca distancia al oeste de Ygua (en la quebrada Guatacondo, y más al sur de los cuadrángulos) las rocas de la parte inferior de la formación Chacarilla, se componen únicamente de areniscas por muchos centenares de metros de espesor. Las rocas constituyentes están muy cementadas por sílice y se disponen en capas con estratificación bien definida. Se obser-

van cubiertas por una pátina grisácea muy homogénea. En la parte inferior, unos 20 m de lutitas encierran impresiones de plantas inidentificables descubiertas por García, recolectadas por los autores y examinadas por Fuenzalida. Pocos centenares de metros desde esas lutitas plantíferas hacia la base se observa en concordancia la formación Aquiuño.

La sección realizada en la localidad tipo se midió desde el contacto con la formación Cerro Empexa, en el punto en que atraviesa a la quebrada Chacarilla con rumbo N 34° E, hasta el interior de la quebrada del Carbón:

Techo: formación Cerro Empexa (miembro 1).

Discordancia angular.

Formación Chacarilla:

Metros

	Metros
—Arenisca gris oscura, pátina castaño rojiza, fina, uniforme en todo su espesor, en partes con laminación, más resistente a la erosión que las brechas suprayacentes; hacia abajo se observa una transición gradual a limolitas y lutitas fisibles friables rojo grisáceas, cubiertas por un regolito de fragmentos angulares multifacéticos	19
—Arenisca rojo grisácea, muy fina, uniforme, en capas de 40 a 50 cm, dura y bien cementada, en partes penetrada por diques porfíricos con fenocristales de feldspato de unos 2 mm	98
—Ortocuarcita grisácea clara, pátina rojo grisácea, fina, masiva y muy resistente a la erosión	24
—Arenisca rojo grisácea, fina, meteorizada, con intercalación de lentes de lutita fisible	21
—Arenisca rojo grisácea, fina, con intercalación de estratos de lutita y limolita fisibles de igual color. La arenisca constituye capas desde 20 cm hasta 5 m, algunas con estratificación entrecruzada. Ciertas capas de arenisca son duras y están bien cementadas; otras son friables. Se observan estructuras primarias de corrientes de agua	300
—Lutita fisible verde grisácea, muy friable, con intercalación de capas duras de arenisca rojo grisácea. El color verde grisáceo de las lutitas puede ser el resultado de alteración secundaria porque cambia a rojo grisáceo a lo largo del rumbo de las capas. Contiene restos muy mal conservados de vegetales fósiles	96
—Lutita fisible verde grisácea, muy friable, con intercalaciones de arenisca dura en capas de 1 a 2 m de espesor y una capa de 10 cm de lutita fisible gris oscura carbonosa y calcárea. Penetra un dique andesítico de rumbo N 65° W e inclinación 60° N, de 1,5 m de espesor	128
—Lutita fisible gris oscura, carbonosa y calcárea, meteorizada, con intercalaciones de arenisca rojo grisácea, dura y masiva	79
—Arenisca (80 por ciento) rojo grisácea, dura y masiva, con intercalaciones de lutita fisible (20 por ciento) gris oscura, carbonosa y calcárea, en general en láminas de 0,5 mm. Algunos estratos de lutita tienen un espesor de hasta 4 m. Las capas pelíticas encierran restos de <i>Posidonomya</i> sp.	99

—Pórfido granítico intrusivo, filón manto, gris muy claro, pátina castaño amarillenta muy pálida, con zonas alteradas dispuestas en vetas castañas. Las superficies de contacto con las rocas sedimentarias son muy irregulares y de contornos redondeados. Rumbo N 30° E, inclinación 76° W	—
—Arenisca verde grisácea, fina, con estratificación entrecruzada, con intercalaciones de lutita fisible verde grisácea y un estrato de ortocuarcita de 1 m de espesor	40
—Zona cubierta por conglomerado del miembro 1 de la formación Altos de Pica, probablemente en fuerte discordancia angular. Aproximadamente 125 m de la formación están ocultos	125
—Fangolita rojo grisácea, con intercalaciones de arenisca, ortocuarcita, lutita fisible gris oscura, carbonosa y calcárea y lutita fisible gris clara	48
—Fangolita rojo grisácea, penetrada por diques de pórfido diorítico anfibólico y de anfibolita (ver tabla 9, muestra 12)	22
—Ortocuarcita, fina, con intercalaciones de lutita fisible verde grisácea	28
—Arenisca y sedimentitas pelíticas plegadas en las inmediaciones de un cuerpo intrusivo de grandes proporciones	?

Total: 1.127

Base: rocas intrusivas.

EDAD Y CORRELACIONES.

En su perfil de Guatacondo, Felsch (1917, p. 322) describe rocas que corresponden a la formación Chacarilla, de la región de Chacarilla. Sin pruebas fosilíferas locales (en concordancia y tal vez hiatus subyacen capas bituminosas con ammonites del Jurásico inferior), Felsch las atribuye al "Jura i en parte, quizás, también, al Cretáceo". Decat (1931, p. 9) visitó la quebrada Chacarilla y sugiere que rocas que corresponden a la formación Chacarilla son de edad mesozoica.

Los restos vegetales de las localidades de Chacarilla, Alona y de poca distancia al este de Ygua, no tienen valor cronológico. En los primeros meses de 1961, uno de los autores (C. G. O.) hizo una recolección de plantas fósiles en afloramientos de la formación Chacarilla en la quebrada Juan de Morales, que serán estudiadas próximamente. Las huellas de dinosaurios permiten sólo estimar una ambigua edad jurásico-cretácica, porque con ellas no pudieron identificarse fósiles característicos. Se llega a resultados parecidos con los ejemplares de *Exogyra* (?) de Guatacondo, género longevo que existió entre el Lías y el Cretácico superior.

Los fósiles de la región de Pica que sugieren la edad jurásica de la formación Chacarilla son los ammonites mal conservados hallados por geólogos de la ENAP (*Perisphinctes* y probablemente *Arisphinctes*) que Cecioni atribuye al Jurásico superior y los ejemplares de *Posidonomya*. El ejemplar de probable *Arisphinctes* indicaría una edad oxfordiana.

De las lutitas fisibles gris oscuras descritas en la sección tipo se separaron en el laboratorio del IIG numerosas impresiones de valvas, moldes internos y restos de conchas de muy pequeño tamaño. Los fósiles corresponden a *Posidonomya*, un pelecípodo disodonte que existió entre el Paleozoico y el Jurásico. En el sistema jurásico *Posidonomya* es un fósil de gran importancia cronológica. Las valvas estudiadas se han deformado y desaparecido en la mayoría de los ejemplares, y ha sido imposible establecer la identidad específica de los fósiles. No obstante, se observaron ciertas afinidades con formas jurásicas chilenas, argentinas y europeas (*Posidonomya alpina* Grass, *P. buchii* Roemer, *P. ornata* Quenstedt). Los ejemplares tienen variaciones en la forma de la concha pero con la misma ornamentación, por lo que parecen ser de una misma especie. La ornamentación consiste en estrías concéntricas redondeadas, notablemente más anchas que los espacios que las separan. La concha es muy pequeña en todos los ejemplares y las dimensiones no exceden los 3 mm de largo y 2 mm de alto. Estas dimensiones se consideran un rasgo particular de los individuos estudiados. Con *Posidonomya* grupo *P. alpina* Grass (Weaver, 1931, p. 216), del Bajociano más inferior (zona de *Leioceras opalinum*) del Neuquén central (Argentina), se asemejan en la forma suboval algo alargada que presentan algunos ejemplares y en la ornamentación. Sin embargo, las valvas de los fósiles de Chacarilla son mucho más equiláteras y tienen un tamaño cuatro veces menor que en *P. alpina*. Estas mismas semejanzas y diferencias se han establecido con respecto a *P. buchii* Roemer y *P. ornata* Quenstedt que Philippi (1899, p. 41) describe e indica como provenientes de Caracoles, Provincia de Antofagasta. Las formas de Chacarilla se asemejan más bien a *P. ornata* Quenstedt. Esta especie, según Weaver, estaría comprendida en el grupo de *P. alpina* Grass. Según Groeber (1918), *P. alpina* se encuentra en capas desde bajociano inferiores hasta calovianas. Si bien se puede afirmar que la *Posidonomya* de las lutitas de la formación Chacarilla constituye una forma jurásica, hay escasos elementos de juicio para determinar una ubicación cronológica más restringida dentro del Jurásico. No obstante, pueden vincularse a formas de ese género descritas como provenientes de estratos del Jurásico medio a la base del Jurásico superior.

Se obtuvieron muchas fotografías de las huellas de dinosaurios y varios tipos representativos se muestran en las láminas 2 a 8. Una serie completa de fotografías fue enviada al Dr. Joseph T. Gregory, Curador del Departamento de Paleontología Vertebrados del Peabody Museum of Natural History, Yale University. El Dr. Gregory estudió las fotografías e hizo los comentarios siguientes en una comunicación epistolar de septiembre de 1958 (traducción): "Las dos huellas que aparecen en vuestras foto-

grafías numeradas desde 1 a 11 (láminas 4, 7 y 8), parecen corresponder a un gran dinosaurio de tres dedos. La mayoría de estas huellas parece tener angostas y filudas marcas de garras, propias de un terópodo carnívoro como el *Allosaurus* o el *Tyrannosaurus*. La fotografía número 2 (lámina 7), indica dedos más bien cortos y redondeados. Esta huella parece ser la mejor conservada de todas. ¿Es posible que esta huella haya estado en un sedimento más firme que las otras y que la estrechez de las marcas de los dedos en otras fotografías sea el resultado del derrumbe del sedimento que en parte rellenó la huella después que el animal hubo pasado? Más bien asociaría una huella del tipo de la que aparece en la fotografía 2 con un dinosaurio ornitópodo como *Iguanodon*, que con un terópodo. Si la huella es parte del mismo conjunto de huellas, debe haber sido hecha por el mismo animal, el cual obviamente no puede ser terópodo y ornitópodo al mismo tiempo”.

“Las interesantes huellas que aparecen en vuestras fotografías 12, 13, 16 y 17 (láminas 3 y 5), parecen ser las de una gran forma cuadrúpeda. De la morfología del pie es muy poco lo que se puede apreciar, excepto que parece haber constituido una depresión más bien redondeada como un plato. Esas huellas pueden corresponder a un gran dinosaurio saurópodo. El gran tamaño de las huellas es otro carácter que sugiere esa posibilidad”.

“Son para mí un enigma las huellas más bien alargadas probablemente con tres dedos en la parte anterior, que se muestran en vuestras fotografías 14 y 15 (lámina 6). Esta última fotografía las muestra cerca de las huellas más redondeadas del tipo de saurópodos que acabo de comentar. La forma de los pies sugiere que pueden pertenecer a un dinosaurio cuadrúpedo, tal vez un *Stegosaurus*. Sin embargo, el tamaño parece ser muy grande para ese grupo de dinosaurios”.

“Aunque estas identificaciones son muy inseguras, puedo afirmar que este conjunto de huellas tiene aspecto de ser de edad jurásica superior o cretácica inferior. Aun, si fuese posible hacer mejores identificaciones de las formas, sería poco factible distinguir formaciones de estas edades en base a las huellas únicamente. Las faunas de dinosaurios del Jurásico superior y Cretácico inferior son muy similares en su composición”.

Según una comunicación oral de Muñoz C. (1958), Tavera identificó en el año 1941 diversos fósiles que le fueron entregados por el Instituto de Fomento Minero de Tarapacá. Estos fósiles, que tienen una enorme importancia cronológica en la discusión de la estratigrafía de la región de Pica, se recogieron en estratos que afloran en las quebradas de Piscala y Maní, al sur de la Provincia de Tarapacá. Estos estratos pertenecen a

la formación Chacarilla, según García (comunicación oral), quien ha estudiado la región pero de cuyas rocas no ha podido recolectar fósiles. Los fósiles identificados por Tavera son los ammonites:

Perisphinctes andium Steinmann (1 ejemplar).

P. roubianus Fontan. (fragmentos).

P. sp. (impresión).

La primera de las especies se había hallado anteriormente en el piso oxfordiano (Jurásico) de la localidad de Caracoles, Provincia de Antofagasta.

El plano de denudación y la discordancia angular que se observan sobre la formación Chacarilla son resultados del ciclo orogénico del Jurásico superior, al final del Titoniano (Ruiz *et al.*, 1960). Los geólogos de la ENAP (Cecioni y García, 1960) han observado esa discordancia angular en muchas otras localidades de la Provincia de Tarapacá y han informado que debajo de ella no han hallado capas más jóvenes que jurásico superiores. Estas relaciones estratigráficas concuerdan con los datos paleontológicos y la posición relativa de la formación Chacarilla, que en el actual estado de su conocimiento tiene indicaciones suficientes para ser considerada jurásica superior y aún más probablemente oxfordiana, por lo menos en parte.

FORMACIÓN CERRO EMPEXA.

ASPECTOS GENERALES.

El nombre de la formación Cerro Empexa proviene del cerro Empexa, de 4.063 m. El cerro está situado en el cordón montañoso del área de Chacarilla y está constituido por rocas de esta unidad. La formación fue así denominada y descrita brevemente por Galli (1957). La sección tipo de la formación se estudió en el sinclinal de Higuieritas, a unos 13 Km al sudeste de las chacras de Chacarilla.

La formación Cerro Empexa es muy probablemente de edad cretácica, de ambiente continental y ha sido dividida en tres unidades litogénicas o miembros denominados 1, 2 y 3, desde el más antiguo al más moderno. Los miembros 1 y 3 están compuestos por brechas y conglomerados gris rojizos y traquitas grises y moradas, con estratificación indefinida. El miembro 2 está formado por areniscas finas y fangolitas rojo grisáceas con estratificación definida y yeso irregularmente intercalado.

Felsch (1917) estudió rocas que se incluyen en la formación Cerro Empexa y sus observaciones sobre ellas están expuestas brevemente. En 1957 García hizo referencias a rocas de esta formación en comunicaciones orales.

Esta unidad participa con otras formaciones preterciarias del conjunto de "rocas fundamentales" de la montaña. Las rocas de la formación Cerro Empexa afloran en cinco áreas reducidas, a 1 Km al oeste y 4 Km al este de las chacras de Chacarilla; en el límite oriental del cuadrángulo Chacarilla; en el sinclinal cerrado de Higuieritas, a unos 13 Km al sudeste de Chacarilla; y probablemente en la localidad de Jucuma. Las rocas de Jucuma están muy invadidas por óxidos de hierro y muy tectonizadas, pero su aspecto sugiere que pueden pertenecer al miembro 2 de la formación Cerro Empexa. El espesor de la formación Cerro Empexa es de aproximadamente 600 m. En su contacto basal con la formación Chacarilla se observa una discordancia angular. En la parte superior de la unidad se observa una superficie irregular denudada, cubierta parcialmente por materiales terciario-pleistocenos que sobreyacen en discordancia angular de hasta 90°.

La formación está intruida por cuerpos ígneos de poca distribución y de efectos reducidos de metamorfismo de contacto. Esos cuerpos se disponen como diques, compuestos por pórfido diorítico anfibólico y filones columnares, formados por andesitas propilitizadas.

MIEMBRO 1.

Los afloramientos del miembro 1 son los más distribuidos, y se observan en las proximidades de las chacras de Chacarilla, en las cercanías de Alona y en el sinclinal de Higuieritas. El contacto inferior del miembro 1 es con la formación Chacarilla, en discordancia angular. El contacto superior es con el miembro 2 de la formación Cerro Empexa, en concordancia. La litología del miembro 1 sugiere que sus rocas se depositaron sobre una morfología abrupta porque las rocas se observan con materiales efusivos y piroclásticos que en partes fueron muy erosionados y en otras redepositados sin mayor transporte ni clasificación.

Las rocas del miembro 1 se componen de materiales clásticos gruesos de origen ígneo y de rocas volcánicas. Los materiales clásticos en partes están redepositados hidrodinámicamente y pueden observarse con cierta clasificación y con estratificación torrencial. Los fenoclastos son oligomíticos, angulosos y pueden variar desde relativamente finos a muy gruesos. El origen de los fenoclastos puede relacionarse con materiales volcánicos coetáneos. En algunas localidades los fenoclastos están mezclados con otros de origen sedimentario de la subyacente formación Chacarilla. La matriz de las rocas clásticas es arenítica y está constituida por fragmentos de plagioclasa maclada, rocas porfíricas, augita y vidrio pardo, castaño rojizo o negro. Las cavidades de las rocas están en partes rellenadas por clorita.

En los alrededores de Alona, cerca del límite oriental del cuadrán-

gulo Chacarilla, en el miembro 1 se observan casi únicamente rocas volcánicas. Son traquitas de soda porfíricas, con masa fundamental feldespática con abundante magnetita y augita y fenocristales de probable albita-oligoclasa, alterados a arcilla, de hasta 5 mm y de augita de hasta 0,5 mm. Las traquitas son macizas y en muchas localidades son brechosas, con trozos de rocas de ligeramente distinto color pero de igual composición litológica. En general, las rocas se observan con colores verdoso-grisáceo oscuros a violáceo oscuros. La estratificación está poco definida y en algunos sectores no se reconoce.

La sección tipo del miembro 1 es la siguiente:

Techo: formación Cerro Empexa (miembro 2)

Formación Cerro Empexa (miembro 1):

	Metros
—Conglomerado gris rojizo, fino, oligomíctico, con intercalaciones de mantos de tobas o tufitas arenosas y bancos pelíticos; los fenoclastos miden hasta 16 mm y se destacan poco en una matriz tufítica arenosa	20
—Brecha gris rojiza, media, oligomíctica, con fragmentos de traquitas desde angulosos a subredondeados, cuyos colores poco se diferencian del de la matriz; en algunas fracturas los fenoclastos no sobresalen de la superficie; el tamaño de los fenoclastos aumenta notablemente en ciertos espesores; la matriz está bien cementada y se observa predominio de la fracción arenosa. La mayor parte de los clastos es de origen volcánico. En transición pasa al conjunto inferior	280
—Brecha gris rojiza, gruesa, polimíctica, con fenoclastos desde gravilla a bloques, sin clasificación, con escaso transporte, de formas angulosas a subredondeadas, provenientes de rocas sedimentarias de la formación subyacente y de efusivas coetáneas; la matriz es rojiza, cementada, sin clasificación de los clastos, con predominio de la fracción arena gruesa, con trozos blanquecinos de plagioclasas caolinizadas; la estratificación está poco definida; hacia la parte superior de este conjunto el tamaño de los clastos disminuye	150
Total:	450

Discordancia angular

Base: formación Chacarilla.

MIEMBRO 2.

El miembro 2 se observa en la localidad típica, en posición concordante con los miembros 1 y 3 y probablemente en la localidad de Jucuma. Las rocas son fangolitas rojo grisáceas, friables, de matriz arcilloso-ferruginosa y clastos de cuarzo y plagioclasa, principalmente; están intercaladas areniscas finas rojo grisáceas friables. No se observan rocas ígneas. Las rocas del miembro 2 son de grano fino, presentan buena clasificación y se dispo-

nen con gran regularidad en capas poco tenaces de 20 a 30 cm, en todo el espesor de 102 m. En la base del tercio superior en Higueritas se observa un manto discontinuo y lenticular de yeso. Las rocas sedimentarias del miembro 2 sugieren una estabilización en el eventual ascenso, o tal vez un ambiente de sedimentación restringido.

La sección estudiada es como sigue:

Techo: formación Cerro Empexa (miembro 3)

Formación Cerro Empexa (miembro 2):

	Metros
—Fangolitas y areniscas finas, rojo grisáceas, alteradas, friables, en capas de 20 a 30 cm	30
—Yeso en mantos discontinuos y lenticulares; secundariamente penetró las diaclasas de las rocas del yacente	2
—Fangolitas y areniscas similares a las anteriores	70
	Total: 102

Base: formación Cerro Empexa (miembro 1).

MIEMBRO 3.

El miembro 3 se observó únicamente en el sinclinal de Higueritas. Está concordante sobre el miembro 2, y en la parte superior se observa una superficie de denudación. Las rocas son lavas traquíticas y brechas volcánicas de 40 m de espesor. Las traquitas se observan con textura porfírica, con masa fundamental granular y fenocristales de albita, ortoclasa y cuarzo que constituye menos del 5 por ciento de los cristales; se observa calcita secundaria en grandes manchas. Las traquitas son rocas grises y moradas con pátina rosada, con estratificación masiva y están muy descompuestas. Las rocas del miembro 3 alcanzan el máximo espesor hacia el sur y fuera del cuadrángulo Chacarilla, donde se desarrolla un sinclinal cerrado con rocas del miembro en su cubeta. El miembro 3 se observa constituido como sigue:

Techo: superficie de erosión.

Formación Cerro Empexa (miembro 3):

	Metros
—Traquitas grises y moradas, con pátina rosada, en general muy descompuestas, con brechas volcánicas intercaladas; los mantos se observan con estratificación poco definida	40

Base: formación Cerro Empexa (miembro 2).

EDAD Y CORRELACIONES.

La edad de la formación Cerro Empexa es muy probablemente cretácica. En rocas de esta formación hasta ahora no se han hallado fósiles que permitan conocer con cierta seguridad la edad de su depósito. Sin embargo, las correlaciones que proponen los geólogos de la ENAP y una determinación de la edad de rocas intrusivas, permiten estimar que la formación Cerro Empexa puede ubicarse en el Cretácico y probablemente entre el Berriasiano y el Santoniano. Se destaca que estos argumentos cronológicos son indirectos y que la única observación concreta acerca de la edad de la formación es que está sobre la formación Chacarilla, de probable edad oxfordiana, por lo menos en parte, y debajo de la formación Altos de Pica, de una edad que se estima terciaria superior a pleistocena.

Felsch (1917, p. 322), cuando estudió la quebrada Guatacondo reconoció la unidad que en este trabajo se denomina formación Cerro Empexa, pero no opinó acerca de la edad de su depósito.

Klohn (1956, p. 58) menciona la formación Cerro Empexa y la correlaciona con el Chilense de Chile Central. Según su opinión, la formación Cerro Empexa es del Cretácico superior y la discordancia angular de su base intersenoniana.

Los geólogos de la ENAP (García, comunicación epistolar, 1957) correlacionan a la formación Cerro Empexa con las formaciones neocomianas Atajaña y Blanco (Cecioni y García, 1960, p. 17) expuestas en la Cordillera de la Costa a unos 5 Km al sudeste del cerro Atajaña (1.575 m), situado al oeste de Pampa Tana, Provincia de Tarapacá. Basan su correlación en varios aspectos comunes de esas formaciones con la formación Cerro Empexa: la posición sobre la superficie de denudación que separa a Atajaña, Blanco y Cerro Empexa, de las rocas jurásicas; la similitud litológica entre la formación Atajaña y el miembro 2 de la formación Cerro Empexa; y la ausencia de grandes cuerpos de rocas intrusivas en las tres formaciones. Cecioni y García (*op. cit.*, p. 19) extienden la correlación citada hasta la formación Caleta Coloso, situada a unos 20 Km al sur de la ciudad de Antofagasta. La formación Caleta Coloso está debajo de calizas con fósiles neocomianos.

Uno de los autores (C. G. O.) está levantando la geología del cuadrángulo Juan de Morales, adyacente y al norte del cuadrángulo Pica. En esa región ha podido comprobar que hay grandes afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias que hasta ahora correlaciona con la formación Cerro Empexa de la región de Pica. Esas rocas volcánicas y sedimentarias de Juan de Morales se observan atravesadas por granitos en numerosas localidades. De una de estas localidades (Ruiz *et al.*, 1960, p. 17), situada en la pendiente occidental del cerro Juan de Morales, se

tomó una muestra de microgranito porfírico cuya edad plomo-alfa determinada fue de 95 ± 10 millones de años. Aunque una sola determinación por este método radiométrico no basta para considerar como segura la edad de estas rocas intrusivas, sugiere que el emplazamiento de los granitos se produjo entre el Cenomaniano y el Santoniano. Por consiguiente, las rocas volcánicas y sedimentarias de Juan de Morales, que se han observado en discordancia angular sobre la formación Chacarilla, tendrían una edad que puede variar entre el Berriasiano y el Santoniano.

FORMACIÓN ALTOS DE PICA.

ASPECTOS GENERALES.

Los Altos de Pica son el aspecto morfológico más conspicuo de la región, por su altura —hasta 4.500 m— y por su contrastante estructura simple que los distingue del resto de la montaña. Están íntegramente formados por miembros de la unidad, especialmente por el 4. Estas fueron las razones por las que se consideró conveniente utilizar el nombre Altos de Pica para designar a la formación, que en la región de Pica reemplaza a los nombres Traquítica, usado por Bertrand (1885) y Liparítica y Riolítica, empleados por Brügger (1918 en adelante). La formación fue así denominada y descrita brevemente por Galli (1957).

Los nombres Liparítica y Riolítica fueron propuestos por Brügger para designar a afloramientos que en Pica y, según él, en otras regiones cordilleranas del Norte Grande, se observan con aspectos litológicos y estructurales comparables a los aquí descritos. Consideraciones estratigráficas modernas sugieren una designación adecuada a normas de nomenclatura, con la inclusión de un nombre geográfico local representativo. En esta forma se evita un nombre colectivo para afloramientos de una asociación litológica como la formación Riolítica que al no estar bien estudiada, no puede correlacionarse con absoluta seguridad. Liparítica y Riolítica han sido nombres sumamente útiles en trabajos de reconocimientos preliminares, pero en levantamientos de cierto detalle como el de esta publicación es conveniente reemplazarlos por nombres locales. Por otra parte, en lo posible debe ser evitado el empleo de términos petrográficos en la nominación de formaciones. Estos términos han sido abundantes en la literatura geológica chilena y algunos se mantienen como herencia de una etapa de esforzados trabajos de reconocimiento. Por estas razones, que se estimaron justificadas para la introducción de un cambio de nombre en el léxico estratigráfico del país, se propuso el de formación Altos de Pica para la unidad que se describe en la región de Pica (Galli, 1957).

Tabla 5. Secuencia de los miembros de la formación Altos de Pica en las localidades tipo.

Miembro	Espesor en metros en la localidad tipo	Litología (localidades tipo) y relaciones estratigráficas
5	200	Arena gris oscura a gris verdosa, media a fina, con estratificación entrecruzada, con ventifactos; en la superficie rodados polígenos, redondeados.
4	23	Toba riolítica rosado-anaranjado gris a blanca, porosa, con fenoclastos de pumicita y cristalinos visibles a ojo desnudo (fase lateral).
3	173	Arenisca amarillenta media a gruesa, uniforme, con estratificación entrecruzada, con concreciones y ventifactos; conglomerado polimíctico, torrencial.
2	17	Toba soldada riolítica, rosado-anaranjada, gris oscura, etc.; pasa hacia abajo a tobas poco consolidadas.
1	322	Conglomerado pardo amarillento, medio, polimíctico, torrencial; arenisca pardo amarillenta, media a gruesa, con estratificación entrecruzada; toba y tufita. discordancia angular

La unidad es probablemente de edad terciaria superior a pleistocena y ha sido dividida por los autores en tres miembros continentales sedimentarios distinguidos con los números 1, 3 y 5, y dos miembros integrados principalmente por tobas soldadas, el 2 y el 4 (ver tabla 5). Las rocas sedimentarias, que pueden considerarse como una facies postorogénica, constituyen la acumulación de materiales clásticos gruesos en el pie de monte de una montaña en ascenso, en un ambiente de oxidación. Las rocas piroclásticas riolíticas (tobas soldadas) de los miembros 2 y 4 son fases de unidades ignimbríticas formadas por avalanchas incandescentes de *nueés ardentes* o flujos de ceniza.

La formación Altos de Pica se observa en discordancia angular con las rocas del yacente. Los conocimientos actuales de la geología regional indican que el yacente se integra en la región con la unidad litogenética todavía sin nombre del Carbónico superior (en Juan de Morales) y con las formaciones locales Longacho, Chacarilla y Cerro Empexa, y las rocas intrusivas. Se observan numerosas discordancias de erosión en los contactos entre los miembros de la formación y en su interior.

La unidad abarca la mayor parte de la superficie de los cuadrángulos. Excluyendo el área de Chacarilla, la zona alta está cubierta por la formación Altos de Pica con sus diferentes miembros. Sus rocas rebasan hacia el sur de los cuadrángulos y con mayor continuidad hacia el norte y el este, con gran distribución.

Sumados los espesores parciales de los cinco miembros medidos en lugares distintos, el total es de aproximadamente 735 m. El total es teórico y no representa la potencia real y máxima de la formación, sino la suma de los espesores en aquellas localidades favorables para el estudio de una sección tipo. Esa cifra es muy inferior a las que Brüggén (1950, p. 123) informa respecto de secuencias similares en las quebradas Tarapacá y Aroma (1.000 a 1.500 m). Los miembros sedimentarios tienen espesores crecientes hacia el oeste y los piroclásticos hacia el este.

Los antecedentes más completos acerca de las rocas de la formación Altos de Pica se encuentran en publicaciones de Brüggén (1918, 1950). Sus aspectos morfológicos destacados fueron comentados por Bowman (1909, 1916).

MIEMBRO 1.

Los conglomerados del miembro 1 son depósitos postorogénicos que rellenaron originalmente las partes más bajas de la superficie montañosa antigua en proceso de denudación. Por tal razón no se observan en la serranía del Longacho o en el curso superior de la quebrada Chacarilla, que eran áreas prominentes del relieve pre-Altos de Pica. Hacia el este el miembro 1 se acuña y desaparece a alturas variables y como máximo a los 3.250 m. Las secuencias más completas de estas rocas se observan en el área de drenaje de la quebrada Chacarilla en sus cursos medio e inferior, y en los saltos Chico y Grande de la quebrada Quisma-Chintaguay.

El miembro 1 se apoya en discordancia angular sobre la superficie plegada y erosionada de las rocas más antiguas, en partes hasta de 90°. La relación con el miembro 2 es de concordancia. En el interior del miembro la estratificación en general es definida y lenticular, con rellenos de cauce y que indica una sedimentación hidrodinámica sin pendiente pronunciada. Las rocas que afloran en los 100 m de la parte inferior, sugieren depósitos de fango de torrentes o cenuglomerados (Harrington, 1946, p. 156).

En el miembro 1 se observan mantos lenticulares de rocas piroclásticas. En las inmediaciones de Chacarilla, la parte inferior del miembro es una cinerita blanquecina riolítica en un manto de varios metros de espesor. Otros mantos lenticulares, muy notables por sus colores claros, se destacan

entre las sedimentitas pardas. Las rocas piroclásticas de composición riolítica se observan en los cinco miembros de la formación Altos de Pica.

La sección tipo del miembro 1 se estudió en la ladera sur de la quebrada Chacarilla, 7 Km al noreste de El Algarrobal.

Techo: formación Altos de Pica (miembro 2)

Formación Altos de Pica (miembro 1):

	Metros
—Conglomerado pardo amarillento, medio, polimíctico, torrencial, con fenoclastos de acentuada angularidad y otros muy redondeados, poca clasificación, muchos epidotizados, algunos de rocas desconocidas en la región; la matriz está en menor proporción, poco cementada, con predominio de la fracción arena. Los conglomerados alternan con capas de arenisca pardo amarillenta, media a gruesa, estratificación entrecruzada, uniforme, con fragmentos de micas, ortoclasa y plagioclasa, con rocas en trozos subangulosos dispersos. En algunos niveles se observan concreciones elipsoidales de 5 cm como máximo, del mismo material de la arenisca, con 6 ó 7 capitas concéntricas; se observan discordancias paralelas y rellenos de cauce	160
—Tufita arenosa amarillenta pálida	10
—Conglomerado similar al anterior	20
—Tufita riolítica, arenosa, blanquecina, abundantes fragmentos de micas, rodados subangulosos esparcidos	1
—Conglomerado similar a los anteriores	28
—Tufita riolítica, arenosa, blanquecina, abundantes fragmentos de micas, rodados polígenos esparcidos	3
—Cenoglomerado, estratificación muy poco definida y gran proporción de rodados angulosos y subangulosos	100
	Total: 322

Discordancia angular.

Base: formación Chacarilla.

En el Salto Chico de Chintaguay, se estudió una sección que describiera Brüggén (1918, p. 22), de la parte superior del miembro 1. La identificación de las muestras de la parte inferior del miembro, obtenidas del sondeo N^o C, que hiciera Felsch en el año 1917 y que Brüggén transcribe (*op. cit.*, p. 23), agregan información acerca de la composición litológica del subsuelo. Felsch identificó entre 133 m y 140 m y entre 216 m y 245 m, "liparita de estructura vidriosa" y "liparita dura". Las muestras estudiadas por Felsch se han perdido y con ellas la oportunidad de examinarlas para comprobar si son lavas o tobas soldadas. Los mantos de liparita no han sido observados en la superficie de ninguno de los cortes naturales del miembro 1 en la región de Pica. Pero su identificación insinúa la posibilidad de que en el subsuelo del Salto Chico haya tobas soldadas más antiguas

que las de los miembros 2 y 4 pero genéticamente relacionadas. De ser así, las tufitas riolíticas del miembro 1 en Chacarilla tal vez representen fases cineríticas laterales redepositadas.

La sección observada en el Salto Chico de Chintaguay es la siguiente:

Techo: formación Altos de Pica (miembro 2)

Formación Altos de Pica (miembro 1):

	Metros
—Arenisca amarillento-grisácea, en partes muy limonitizada; en la parte inferior con granos más gruesos y estratificación menos definida	17
—Arenisca gris, poco seleccionada, con trozos de rocas volcánicas y rodados de cinerita rosada	2
—Toba gris clara, fina, poco coherente, con fenoclastos de rocas sedimentarias	0,1
—Arenisca amarillento-grisácea, poco seleccionada, con material volcánico y rodados de pumicita y de vulcanitas	1
—Conglomerado pardo amarillento, polimíctico, torrencial, con fenoclastos de hasta 20 cm, en general subredondeados a subangulares; matriz muy cementada; interstratificación con areniscas grises, lenticulares	23
—Tufita gris clara, arenosa, con capitas de limo de 2 a 3 mm de espesor, en lentes	1
—Tufita pardo grisácea clara, arenosa, con escasos rodados de rocas volcánicas antiguas, muy finamente estratificada en láminas de 5 mm de espesor . . .	1
—Arenisca pardo grisácea, fina a gruesa con granos constituidos especialmente por sanidina, albita y vidrio, en partes maciza o con intercalaciones de cineritas con rodados de pumicita, en capas de 5 cm de espesor	6
—Conglomerado pardo amarillento, polimíctico, torrencial, con fenoclastos de todo tamaño, más redondeados los más pequeños, algunos con abrasión eólica; matriz arenosa pardo amarillenta, poco cementada, con horizontes limoníticos de pocos centímetros	3
—Arenisca amarillenta, media, con granos de cuarzo opacos y de mica y feldspatos, estratificación entrecruzada en partes, en capas de 12 a 2 cm, poco cementada, con concreciones elipsoidales de 5 cm, como máximo, del mismo material dispuesto en 6 a 7 capitas concéntricas, con banquitos de pocos centímetros de cineritas rosado-anaranjadas muy claras que se separan en láminas, lentes de rodados de pumicita de hasta 30 cm y capas finas de limo . . .	10
Total:	64,1

Base: oculta,

MIEMBRO 2.

Las rocas del miembro 2 afloran en numerosas localidades y han sido atravesadas en las perforaciones profundas. Su distribución sugiere que originalmente cubrieron íntegramente la región estudiada. En grandes sectores del área de Chacarilla, estas rocas fueron denudadas posteriormente, junto con los otros miembros de la formación Altos de Pica.

Las relaciones con los miembros 1 y 3, son de concordancia. Donde se apoya directamente sobre las rocas mesozoicas, se observa la discordancia angular basal de la formación Altos de Pica. Los extendidos depósitos del miembro 2 habían sido considerados lavas por autores anteriores (Brüggen, 1918, p. 13; 1950, p. 269; Felsch, 1920, p. 471; Decat, 1931, p. 4). Es probable que mantos de origen parecido, de la pendiente occidental de la cordillera de Domeyko, llamaran la atención de Sundt (1909, p. 118), quien en una frase llena de sugerencias planteó lo que en esos años y más tarde se desarrolló como concepto petrológico: "Estamos aquí delante del mismo enigma que se nos ha presentado tantas veces: una roca traquítica, que por su carácter petrográfico parece haber venido al lugar que ocupa en estado líquido, mientras que por su situación parece que hubiera caído como ceniza". La mayoría de estas rocas son productos de dos o tal vez tres flujos de ceniza (= tobas soldadas, Iddings, 1909, p. 331; = ignimbritas, Marshall, 1935, p. 323), que "se cree son debidas a erupciones de gases sobrecalentados, muy cargados con ceniza y arena volcánica incandescentes, que fueron llamadas *nueés ardentes*, o nubes ardientes, por Lacroix (1904, p. 203). Este material no es precipitado como en una lluvia de cenizas sino que desciende de los faldeos de la montaña como una avalancha caliente. Tanto es el material sólido suspendido en la nube, que ella se hace demasiado densa para sobremontar obstáculos, comportándose más bien como líquido" (Enlows, 1955, p. 1.239).

En el Salto Chico de la quebrada Chintaguay, elegido como localidad tipo del miembro, hay una secuencia (tabla 6) que se observa formada por dos erupciones, separadas por una brecha de unos 30 cm. Las rocas correspondientes al flujo de ceniza más moderno (a y b) se observan con los aspectos que Enlows (*op. cit.*, p. 1.243) considera típicos para las unidades de tobas soldadas. Enlows efectuó un estudio de los aspectos diagnósticos de las tobas soldadas descritos en la literatura mundial. Pero en el Salto Chico no se observó la fase cinerítica superior.

La fase cinerítica superior, sin embargo, se observa en numerosas otras localidades, formada por cinerita y toba riolítica blanquecina o gris clara, friable, porosa, muy liviana, con trozos de pumicita, fragmentos de cuarzo, sanidina y biotita destacados, xenolitos irregulares de vulcanitas, estratificación poco definida y pátina rosada. No se observa textura eutaxítica. Sus espesores son muy variables, tal vez por erosión más que por falta de deposición. Las cineritas de la fase superior en todas las localidades pasan en gradación hacia abajo a tobas soldadas coherentes, de marcada textura eutaxítica. Un ejemplo de ello es el Salto Grande, donde a 1,50 m de la superficie de erosión, el aspecto de la cinerita cambia gradualmente. Microscópicamente se observa una base hipohialina que compone el 70 a 80 por ciento de la

Tabla 6. Petrografía comparada de las rocas piroclásticas del miembro 2 de la formación Altos de Pica.

Muestra del conjunto	ROCA		MASA FUNDAMENTAL		Textura eutaxítica	Engolfamiento	Plagioclasa	Fragmentos alargados paralelos	VIDRIO	
	Coherencia	Color	Porcentaje en la roca	Diferenciación					Índice de refracción	Color
a	Elevada	Gris rosado	60	Tiene	Tiene especialmente alrededor de los fenocristales	Tiene	Oligoclasa sódica	Tiene	1,501	Por transparencia, castaño claro. Por reflexión, castaño claro.
b	Elevada	Rojo pálido	60	Tiene	Tiene	Tiene	Oligoclasa sódica	Tiene	1,515	Idem
c	Elevada	Gris oscuro	70	No tiene	Tiene muy acentuada	Tiene	Oligoclasa sódica	Tiene	1,495	Idem
d	Mediana	Castaño rojizo	80	No tiene	Tiene	No tiene	Oligoclasa sódica	No tiene	1,491	Por transparencia, castaño claro. Por reflexión, rojizo.
e	Escasa	Rosado anaranjado	80	No tiene	No tiene	Tiene	Oligoclasa sódica	No tiene	1,498	Por transparencia, castaño claro. Por reflexión, castaño claro.
f	Escasa	Anaranjado muy pálido	95	No tiene	No tiene	No tiene	Oligoclasa sódica	No tiene	1,490	Idem.

roca, formada por axiolitas microlitas de feldespato y cuarzo, y pigmento vítreo; la atraviesan venillas de calcedonia y cuarzo; los fenoclastos son principalmente de cuarzo y riolita de base vítrea castaño rojiza, con fenocristales de cuarzo, sanidina y plagioclasa. La cinerita consolidada o toba es relativamente poco resistente al golpe de martillo y tiene más bien un aspecto macroscópico de toba de ceniza volcánica no ignimbrítica, aunque microscópicamente es muy parecida a verdaderas tobas soldadas del conjunto. Hacia abajo las cineritas gradan a tobas completamente soldadas, que afloran por algunas decenas de metros en una suave estructura anticlinal.

En el Salto Chico los mantos superiores son tobas notablemente soldadas (conjunto a) de la sección tipo) cuya superficie se observa fuertemente erosionada. Con b) hay concordancia y el contacto es claro. El conjunto b) es macizo y uniforme, con huecos deprimidos, paralelos al plano de la base, de 80 cm de largo como máximo y la mayor parte es de 10 a 20 cm. La base del conjunto b) está formada por una brecha oligomítica de 30 cm. La brecha, uno de los caracteres típicos que anota Enlows, podría haberse originado por el movimiento de arrastre de la avalancha ardiente sobre la superficie del terreno. Las unidades a) y b) se consideran contemporáneas ya que su intervalo de depositación puede haber sido de minutos o tal vez de horas. Si se acepta la sugerencia de Enlows (*op. cit.*) para explicar un fenómeno similar en la formación Rhyolite Canyon, la segunda erupción del miembro 2 en el Salto Chico debe haber seguido tan rápido a la primera que no hubo tiempo para el depósito del material más fino. Esto explicaría la ausencia de la fase cinerítica superior en la unidad c).

Hacia abajo del contacto brechoso se desarrolla una sucesión ignimbrítica cuya secuencia es inversa a la establecida como tipo, por Enlows. En la parte superior de la secuencia se observa una toba soldada gris oscura (conjunto c), tal vez debido a magnetita muy finamente diseminada en el vidrio. La magnetita no se observó al microscopio. Megascópicamente la textura eutaxítica no es tan evidente como en las tobas del conjunto b) pero al microscopio es reconocible. Al golpe del martillo la roca también suena, pero es más quebradiza. En transición la toba gris oscura grada hacia abajo a las tobas soldadas del conjunto d) y éstas a las tobas poco coherentes y sin textura eutaxítica de la parte inferior. No existe brecha basal. Se puede explicar de dos maneras el carácter tobáceo de la parte inferior del miembro. Dicha parte pudo originarse por una nube ardiente sin calor suficiente para soldarse, siendo posteriormente cubierta por otra nube ardiente que transmitió calor hacia abajo, consolidando y soldando parcialmente las tobas inferiores. Por otra parte, Enlows (*op. cit.*, p. 1.242) considera que una base tobácea e incoherente puede deberse al depósito del material piroclástico sobre una superficie fría o saturada de agua.

Esta secuencia litológica es la que, con eventuales diferencias locales, se observa en toda la región. El lugar de origen de las tobas soldadas de los miembros 2 y 4 no se conoce, pero los autores creen que las erupciones han sido de carácter explosivo a través de fisuras que no se han localizado en el terreno. Se adelanta la hipótesis que las fisuras pueden estar en Altos de Pica, ocultas por sus propios depósitos. La magnitud regional de los afloramientos correlacionables en Chile y los países limítrofes, sugiere la existencia de otras fisuras que arrojaron materiales incandescentes en un ciclo efusivo de extraordinarias características.

Los cerrillos al norte de Pampa Esmeralda están compuestos por riolitas brechosas que tal vez correspondan a rocas equivalentes al conjunto b). Microscópicamente aparecen con bandeamiento caracterizado por zonas en las que abunda el cemento calcítico y se observan fragmentos pequeños de cuarzo, sanidina y albita. No hay textura fluidal bien marcada. El total de los fenoclastos es de aproximadamente 30 por ciento.

La sección tipo fue estudiada en el Salto Chico de la quebrada Chintaguay, ubicado a unos 4 Km al sudeste de las vertientes de Concova.

Techo: formación Altos de Pica (miembro 3).

Formación Altos de Pica (miembro 2):

Metros

- | | |
|---|-------------------|
| <p>—a) Toba soldada riolítica, porfirica, con particular estructura en mantos alternados de distinta coherencia, de 10 cm o más; la roca de los mantos menos tenaces es rosado-anaranjado-grisácea, con masa fundamental de aspecto cinerítico, y fragmentos dispuestos con clara tendencia fluidal, de cuarzo, sanidina y plagioclasa de hasta 2 mm y biotita de hasta 1 mm; los mantos más coherentes son gris rosados, tienen textura eutaxítica, brillo córneo, masa fundamental vítrea (63 por ciento del total de la roca) con señales de desvitrificación, aglutinación, fragmentos de vidrio achatados, diferenciado a esferolitas de hasta 1 cm, margaritas de vidrio rojizo; fenoclastos de aproximadamente 3 mm, fragmentales o idiomorfos (37 por ciento del total), de cuarzo (45 por ciento), sanidina (39 por ciento), oligoclasa sódica (14 por ciento) y biotita (2 por ciento). Algunos fenoclastos muestran engolfamientos</p> <p>—b) Toba soldada riolítica, rosado-anaranjado-grisácea a rojo pálida, petrográficamente idéntica a las más coherentes del conjunto anterior; estructuralmente uniforme, de estratificación poco definida; caracterizada por huecos deprimidos en bandas paralelas concordantes con la textura eutaxítica, con largos variables generalmente de 10 a 20 cm, pero que llegan a 80 cm, algunos formando drusas con cristales de cuarzo. La base está constituida por 30 cm de toba soldada similar a las descritas aunque con estructura notablemente brechosa, de fragmentos oligomícticos de menor tenacidad, con algunos fragmentos subangulosos gris oscuros y rojizos, atravesados por venas de sílice amorfa</p> <p>—c) Toba soldada riolítica, gris oscura, muy brillante, muy coherente, porfirica, textura eutaxítica, masa fundamental (70 por ciento del total de la roca)</p> | <p>3</p> <p>6</p> |
|---|-------------------|

	compuesta por vidrio en formas axiolíticas, no diferenciado, índice de refracción = 1,495 (73 por ciento de SiO_2 , según George, 1924), con textura fluidal y amoldamiento alrededor de los fenoclastos; éstos (30 por ciento del total) muestran engolfamientos. Se componen de sanidina de forma tabular de hasta 1 mm, cuarzo hasta 2 mm, oligoclasa sódica muy escasa hasta 1,5 mm, biotita en cristales alargados hasta 2 mm y magnetita. Estructuralmente la toba soldada es uniforme; el cambio de roca en el contacto superior es marcado y en el inferior es gradual; hacia arriba se observan drusas de hasta 20 cm de diámetro, revestidas de cuarzo	3
—d)	Toba soldada riolítica, castaño rojiza, coherente, porfírica, textura eutaxítica, con fragmentos vítreos negruzcos, alargados, paralelos, de hasta 1 cm, muy brillantes, masa fundamental (80 por ciento del total de la roca) compuesta de vidrio en formas axiolíticas, y de pumicita, de $n = 1,491$ (75 por ciento de SiO_2 en el vidrio), con luz reflejada en el microscopio muestra tonalidades rojizas; los fenoclastos (20 por ciento del total) son de cuarzo de hasta 2 mm, oligoclasa sódica maclada de hasta 1 mm, sanidina hasta 2 mm, biotita de hasta 1 mm; se observan xenolitos angulosos esparcidos en la masa. En transición pasa al conjunto inferior	2
—e)	Toba riolítica, rosado-anaranjada, poca coherencia que disminuye hacia abajo, porfírica, liviana, porosa, masa fundamental (80 por ciento del total), compuesta por vidrio, en axiolitas y pumicita, no diferenciado, $n = 1,498$ (72 por ciento de SiO_2 en el vidrio), sin textura fluidal, con amoldamiento sólo alrededor de algunos fenoclastos; éstos (20 por ciento del total) son de sanidina (30 por ciento) de hasta 2 mm, cuarzo (30 por ciento) redondeado y con engolfamientos, de hasta 3 mm, oligoclasa sódica (40 por ciento) maclada de hasta 2 mm, escasa biotita en jirones de hasta 5 mm; abundan xenolitos de pumicita y riolita, alargados paralelamente a los contactos del manto; en transición pasa al conjunto inferior	1
—f)	Toba riolítica, anaranjada muy pálida, poco coherente, porfírica, liviana, porosa, masa fundamental (95 por ciento del total) compuesta por vidrio no diferenciado, con forma de axiolitas, $n = 1,490$ (75 por ciento de SiO_2 en el vidrio), sin textura fluidal, sin amoldamiento alrededor de los fenoclastos; éstos (5 por ciento del total) son de oligoclasa sódica traslúcida y maclada de hasta 1 mm, de cuarzo de hasta 4 mm, de sanidina de hasta 1 mm, y jirones de biotita de hasta 0,5 mm; la roca está limonitizada, con estratificación en láminas y aparente clasificación de sus piroclastos	2
	Total:	17

Base: formación Altos de Pica (miembro 1).

MIEMBRO 3.

La distribución de los afloramientos del miembro 3 es similar a la del miembro 1. Los afloramientos están ausentes de los faldeos altos y en muchas partes hacia abajo de aproximadamente 3.000 m aumenta en espesor.

Al oeste de la falla del Longacho, estaría oculto por los sedimentos más recientes de la Pampa del Tamarugal.

En las localidades observadas el miembro 3 se apoya sobre las ignimbritas del miembro 2 y está cubierto por los miembros 5 ó 4 según falten o no las tobas de este último miembro. La estratificación interna, como en el miembro 1, se observa en muchas partes con rellenos de cauce.

Las rocas de la unidad han sido depositadas por el viento y el agua. En el Salto Grande de Quisma se observan dunas fósiles expuestas en los paredones, entre potentes conglomerados fluviales. Las areniscas de las dunas son amarillento-rojizas, con excelente estratificación entrecruzada de estructura acuñada, gran uniformidad textural y numerosos ventifactos con pátina del desierto y abrasión eólica, idénticos a los del desierto actual.

Los sedimentos fluviales predominan en la parte superior. Contienen concreciones similares a las descritas y están acumuladas, sobre todo, en los rellenos de cauce. Las areniscas y las concreciones se observan con cementación calcárea y silícea.

El espesor en la localidad en que se midió la sección tipo, la ladera sur de la quebrada Chacarilla en El Algarrobal, es de 173 m. En el Salto Grande se midieron 170 m. El miembro 3 se observa con espesores crecientes hacia el oeste.

La sección tipo que se describe a continuación es, litológicamente, comparable a las de otras regiones.

Techo: formación Altos de Pica, miembro 5 (falta el miembro 4 en la localidad).
Formación Altos de Pica (miembro 3):

	Metros
—Conglomerado amarillento-rojizo, polígono, torrencial, de rodados de hasta 40 cm, subredondeados a subangulares, en lentes y bancos como relleno de cauce; intercalado con arenisca amarillenta, en parte limosa, media a gruesa, uniforme, con algunos ventifactos, estratificación muy entrecruzada, de origen eólico, en ciertos niveles con textura laminar y concreciones de idéntico color, que abundan en este miembro, de 2 a 3 cm de diámetro, con núcleo revestido por granos uniformes, cementados por carbonato de calcio	40
—Arenisca amarillento-rojiza, de aspectos generales similares a las anteriores, con clastos angulosos de la fracción gravilla dispersos y capitas de pocos milímetros de tufita limosa blanquecina; se intercala un banco de 50 cm de conglomerado	43
—Conglomerado amarillento-rojizo, polígono, similar a los anteriores, en lentes de origen torrencial separados por areniscas amarillentas	25
—Arenisca amarillento-rojiza, similar a las anteriores, muy uniforme, hacia abajo grada a las tobas superiores del miembro 2. La parte superior de las tobas ha sido redepositada con estratificación poco definida y con la incorporación de ventifactos oscuros	65
	Total: 173

Base: formación Altos de Pica (miembro 2).

MIEMBRO 4.

Los mantos del miembro 4 cubren sin interrupción los Altos de Pica, desde el límite norte del cuadrángulo Alca, hasta la quebrada Chacarilla. El miembro 4 es una de las unidades más extensas en la región estudiada. Fuera del límite de los cuadrángulos, sus afloramientos continúan al este, al norte y al sur, de acuerdo a observaciones de los autores y a otros antecedentes (Ahlfeld, 1946, mapa geológico; IG, 1960, mapa geológico). Hacia el oeste se extiende aproximadamente hasta la curva de nivel de 2.000 m de altitud, donde desaparece por acuñaamiento.

Los espesores máximos del miembro 4 fueron observados por Felsch (1920, p. 472), quien informa de un espesor de 460 m en Alona y hacia el norte de esa localidad, de 500 y 600 m. En las cercanías de Alona los autores observaron unos 250 m de espesor. Es probable que la parte inferior del manto en Alona esté formada por rocas del miembro 2. Con los otros miembros, el 4 está relacionado concordantemente. Localmente se observan algunas discordancias de erosión.

Las fases del miembro 4 están bien diferenciadas y muestran el mismo aspecto que las observadas en el miembro 2. En el Salto Grande, a menos de 1 Km al este del límite occidental de estas rocas piroclásticas, en fase lateral tipo, se observa la sección siguiente:

Techo: formación Altos de Pica (miembro 5)
Formación Altos de Pica (miembro 4):

	Metros
—Toba riolítica rosado-anaranjado-grisácea, porfírica, porosa, liviana, pátina rosada; masa fundamental (70 por ciento del total de la roca) totalmente isotropa formada por vidrio de formas características, de $n = 1,492$ (74 por ciento SiO_2); los fenoclastos (30 por ciento del total), algunos con engolfamientos, son de cuarzo hipidiomorfo o redondeado, de hasta 2 cm, biotita en jirones alargados hasta de 2 cm, oligoclasa sódica de hasta 1 mm, sanidina de hasta 2 mm, magnetita de hasta 0,3 mm y escasa anfíbola; la textura eutaxítica es incipiente	20
—Cinerita riolítica blanquecina, en transición a la superior, porfírica, poco coherente, porosa, liviana, sin textura eutaxítica; aparente estratificación en láminas paralelas (1 cm o menos), con trozos de pumicita algo seleccionados del tamaño lapilli (2 a 3 cm)	3
	Total: 23

Base: formación Altos de Pica (miembro 3).

La parte de más altitud en los Altos de Pica no muestra depósitos de sedimentos de antiguos pie de montes que separen las unidades volcánicas. La ubicación del contacto entre las tobas soldadas de los miembros 2 y 4

Tabla 7. Petrografía comparada de las rocas piroclásticas del miembro 4 de la formación Altos de Pica.

Muestra del conjunto	R O C A		MASA FUNDAMENTAL		Textura eutaxítica	Engolfamiento	Plagioclasa	Fragmentos alargados paralelos	V I D R I O	
	Coherencia	Color	Porcentaje en la roca	Diferenciación					Índice de refracción	Color
a	Escasa	Anaranjado muy pálido	75	Escasa	No tiene	Tiene	Oligoclasa sódica	No hay	1,507	Por transparencia castaño claro
b	Mediana	Rosado anaranjado claro	65	Escasa	Escasa	Tiene	Oligoclasa intermedia	Muy escaso	1,507	Por transparencia castaño claro
c	Mediana	Gris rosado claro	45	No tiene	Tiene	Tiene	Oligoclasa intermedia	Muy escaso	1,495	Incoloro
d	Mediana	Gris oscuro	70	No tiene	Tiene	Tiene	Oligoclasa intermedia	Escaso	1,507	Incoloro
e	Elevada	Castaño grisáceo claro	85	Tiene	Tiene	Tiene	Oligoclasa sódica	No hay	1,515	Por transparencia castaño claro. Por reflexión ídem.

se hace difícil porque las rocas de ambos miembros son genética y litológicamente idénticas. Por otra parte, la extraordinaria ubicuidad del miembro 2 sugiere que en la meseta de los Altos de Pica está debajo del miembro 4. En la meseta, sólo en las quebradas Tambillo y Chacarilla la erosión llegó hasta las rocas más antiguas y puede o no comprobarse su presencia. Pero en otras localidades, sin grandes cortes naturales, ello es imposible.

En la quebrada Quisma, sobre la huella que conduce a Bolivia, a una altura de 3.800 m, se tomaron muestras que pertenecen a las fases superior y basal (tabla 7). Una descripción macro y microscópica de muestras representativas de cada uno de los mantos ignimbríticos, puede resumirse así:

Techo: descubierto en la localidad.

Formación Altos de Pica (miembro 4):

Metros

- a) Toba riolítica de la fase de ceniza volcánica superior, anaranjada muy pálida, poco coherente, porfirica, porosa, liviana, masa fundamental (75 por ciento del total), compuesta por vidrio ($n = 1,507$; 68 por ciento SiO_2), con forma de axiolitas muy poco diferenciadas, escasa textura fluidal; fenoclastos de cuarzo de hasta 2,5 mm, con engolfamientos; sanidina de hasta 2 mm, oligoclasa sódica, biotita y magnetita.
- b) Toba soldada riolítica rosado-anaranjada clara, poco coherente, $n = 1,507$ (68 por ciento SiO_2), masa fundamental (65 por ciento del total); textura eutaxítica incipiente; los aspectos microscópicos restantes son idénticos a los de la toba anterior.
- c) Toba soldada riolítica gris rosada clara, porfirica, poco coherente, masa fundamental (45 por ciento del total), compuesta por vidrio (axiolitas) no diferenciado, $n = 1,495$ (73 por ciento SiO_2), con textura fluidal marcada; fragmentos de oligoclasa intermedia de hasta 2,5 mm, cuarzo de hasta 2 mm, sanidina de hasta 1,5 mm, biotita, magnetita y muy escasos de anfíbola y zircón.
- d) Toba soldada riolítica gris oscura, porfirica, poco coherente, masa fundamental (70 por ciento del total), compuesta por vidrio (axiolitas), sin desvitrificación, $n = 1,507$ (68 por ciento SiO_2), con textura fluidal marcada; fenoclastos de oligoclasa intermedia de hasta 2,5 mm, cuarzo de hasta 2 mm, sanidina de hasta 1,5 mm, biotita, magnetita y muy escasos de anfíbola y zircón.
- e) Toba soldada riolítica castaño grisácea clara, porfirica, muy coherente, masa fundamental (85 por ciento del total), compuesta por vidrio (especialmente esferulitas) bastante desvitrificado con marcada textura fluidal, sobre todo alrededor de los fenoclastos; éstos son de oligoclasa sódica de hasta 6 mm, cuarzo de hasta 4 mm, sanidina hasta 3 mm, biotita y magnetita . . . ± 25

Base: oculta.

MIEMBRO 5.

Los sedimentos del miembro 5 concluyen un ciclo erosivo acumulativo sobre la montaña compleja en ascenso. Sus afloramientos se observan desde aproximadamente los 3.000 m de altura hasta la Pampa del Tamarugal, donde constituyen las terrazas más antiguas del pie de monte de los Andes.

El miembro 5 se apoya concordantemente sobre las tobas riolíticas del miembro 4. Hacia el oeste, bajo 2.000 m, el miembro 5 está en contacto con el miembro 3. En su interior se observan discordancias de erosión. Es el miembro de mayor variación lateral. En la localidad tipo de El Algarrobal y cerca de Matilla, tiene aspectos eólicos, muy definidos, color gris oscuro, poca coherencia y resaltante uniformidad. En las quebradas Quisma, Seca o en La Calera, se observa una arenisca amarillenta clara muy uniforme, con algo de grava, con las concreciones características, muy entrecruzada, con conglomerados fluviales en la parte inferior, localizados en partes en los rellenos de cauce elaborados en las tobas del yacente. Estos aspectos son idénticos a los del miembro 3.

En la constitución litológica del miembro 5 participan eyectos volcánicos. El manto basal que se observa en la quebrada Infiernillo está formado por una cinerita riolítica blanquecina, friable, con muchos piroclastos redepositados del tamaño lapili. En la región al este de Pica, las cenizas volcánicas blanquecinas que forman una de las capas más altas del miembro, son visibles en muchos cortes naturales.

Los espesores son muy irregulares. En los Altos de Pica, más o menos a los 3.000 m y en la serranía del Longacho, no se observaron depósitos del miembro 5. En sección este-oeste, y como se observa en los otros miembros sedimentarios, el miembro 5 tiene forma de cuña abierta hacia el oeste.

La superficie del miembro 5 está cubierta por rodados y rocas sueltas cuya composición petrográfica y aspecto varían mucho según las regiones. Por factores morfológicos el regolito está aislado sobre amplias divisorias de aguas de la meseta, fuera del alcance de las corrientes efímeras de agua y fango que a altitudes inferiores transportan y erosionan activamente en las quebradas durante cortos lapsos del verano. Con la excepción de algunas superficies del miembro 5 en la depresión Pica-Puquío Núñez, que están en continuidad topográfica con formaciones recientes, es un hecho general la inmovilidad de estos rodados y otras acumulaciones del miembro, por razones climáticas y topográficas. Desde poca distancia al norte de la quebrada Ancha hasta la quebrada Chacarilla, los rodados y rocas sueltas son exclusivamente de riolitas de diversos tipos, que afloran en los Altos de Pica. Muchos de ellos son ventifactos y cantos facetados con brillante pátina del desierto.

Más al norte de la quebrada Ancha y de Pampa Esmeralda se extiende el "cono de las areniscas i conglomerados modernos de La Calera" de Felsch (1920, p. 588). Los autores creen que esa región no constituye un cono moderno sino que es un aspecto contemporáneo y en estrecha relación genética y morfológica con los depósitos del miembro 5. El aspecto de cono aluvial que se observa desde Pampa Pica al norte, es el resultado del hundimiento tectónico del área comprendida entre la falla del Longacho, el monoclinal al este de Pica, la quebrada Seca y la zona de Puquío Núñez. Los rodados y fragmentos de rocas no riolíticas que lo componen tienen su origen en la montaña compleja de Yarvicoya. La erosión de esa montaña dio origen a la composición polimíctica de los sedimentos de la zona septentrional de los Altos de Pica.

La sección tipo del miembro 5, medida en El Algarrobal, ladera sur de la quebrada Chacarilla, es la siguiente:

Techo: descubierto.

Formación Altos de Pica (miembro 5):

	Metros
—Rodados polígenos, redondeados, con pátina del desierto	—
—Arena gris oscura, media a fina, con capitas de yeso y ventifactos esparcidos; de origen eólico. En la parte inferior arenisca gris blanquecina, con cemento calcáreo	112
—Arena gris oscura, media a fina, friable, con cemento de yeso que localmente aumenta la tenacidad, con ventifactos	60
—Arenisca amarillenta, media a fina, estratificación entrecruzada	1
—Arena gris verdosa, media a fina, friable, uniforme, entrecruzada, con intercalación de capas de escasos centímetros de yeso, algunos ventifactos; hacia abajo el color cambia a gris oscuro	27
	Total: 200

Base: formación Altos de Pica, miembro 3 (falta el miembro 4 en la localidad).

EDAD Y CORRELACIONES.

En la formación Altos de Pica no se han hallado hasta ahora fósiles que permitiesen adjudicar edad a sus rocas. Sin embargo, del conocimiento general de la geología cordillerana y de los antecedentes bibliográficos (tabla 8), se desprende que esta formación puede haberse depositado en un lapso comprendido entre el Terciario superior y el Pleistoceno.

PERIODO	EPOCA	AHLFELD (BOLIVIA 1946)	BRÜGGEN (CHILE 1950)	DOUGLAS (BOLIVIA 1914)	FRENGUELLI (ARGENTINA 1936)	GROEBER (ARGENTINA 1937)	JENKS (PERU 1948)	VILELA (ARGENTINA 1953)	GALLI-DINGMAN (CHILE 1961)
T E R C I A R I O	CUATERNARIO					FORMACION RIOLITICA (CHILE) (1)			DE PICA
	PLEISTOCENO								
	PLIOCENO	ESTRATOS DEL RIO MAURI			PUNENSE ARAUCIANO	ARAUCIANO		PUNENSE ANDESITAS Y TOBAS	ALTOS DE PICA
	MIOCENO	SISTEMA DE COROCORO	FORMACION RIOLITICA (1)	THE MAURI VOLCANIC SERIES	CALCHAQUENSE			DACITAS Y TOBAS (CALCHAQUENO)	FORMACION
	OLIGOCENO						?		
	EOCENO						↑ VOLCANICO DE CHACHANI ↓		
T E R C I A R I O	PALEOCENO		FORMACION SAN PEDRO					ESTRATOS DEL CERRO MORADO	

(1) Estratigráfica y litológicamente equivalentes a la formación Altos de Pica

TABLA 8 - Carta cronológica donde se incluyen algunas unidades terciarias y cuaternarias del norte de Chile y regiones adyacentes

Brüggen (1918, p. 9) y Felsch (1920, p. 470), han sostenido la edad miocena de la formación Altos de Pica. Sin embargo, este último autor (1917, p. 322) al comentar acerca de la edad de rocas de esta formación, observadas en su sección en la quebrada Guatacondo, sugiere que se depositó en el Terciario más moderno y tal vez en los comienzos de la época glacial. Más tarde, Felsch (1933, p. 412), sostiene una edad pliocena. En uno de sus últimos trabajos, Brüggen (1950, p. 118) expresa lo siguiente: "La edad de las riolitas está determinada, por un lado, por sus relaciones con las capas rojas de la Formación de San Pedro del terciario inferior, sobre las cuales las riolitas yacen con una discordancia tectónica muy pronunciada. Por otra parte, las riolitas son más antiguas que las dislocaciones del terciario superior que dieron origen a las fosas de los grandes valles longitudinales del norte. Por esto tendrán edad miocénica". No obstante la ambigüedad del juicio y ante la falta de otras comprobaciones de campo más aproximadas, esta edad es la que se ha aceptado (Fuenzalida, en Hoffstetter *et al.*, 1957, p. 193).

De acuerdo con lo expresado por diversos autores, la distribución de rocas correlacionables es notable en los Andes del Norte Grande, en la Puna chileno-boliviano-argentina, en el norte argentino y en el sur peruano. En los mapas geológicos generales, se observa que esas rocas son de las más distribuidas en Sudamérica.

Ahlfeld (1946, p. 247), sugiere la correlación entre los Estratos del Río Mauri en Bolivia, y "la 'Formación Liparítica' de Brüggen que ocupa gran extensión y potencia en el faldeo Oeste de la Cordillera Occidental". La posición subhorizontal de los Estratos del Río Mauri sobre estratos de Corocoro plegados, le sugiere una edad pliocena, que corroboró hace pocos años (Ahlfeld, 1954, p. 19) pero que no siempre sostuvo (Ahlfeld, 1941, tabla N° 1). El espesor de los Estratos del Mauri es de aproximadamente 500 m (*op. cit.*, p. 248). Muñoz Reyes (1950, p. 11) estima un espesor de 600 m como mínimo, más 10 a 40 m de tobas riolíticas.

Douglas (1914) halló en los estratos del Mauri una sínfisis de una mandíbula de *Nesodon*, que según lo señala C. W. Andrews (Douglas, *op. cit.*), es casi idéntica con especímenes de las capas de Santa Cruz*, del Mioceno argentino. En esos estratos, que Douglas llama "The Mauri Volcanic Series", también encontró un tronco que según N. Bancroft (Douglas, *op. cit.*) es de una dicotiledónea, parecida a una Laurácea. El primer fósil es de mucho interés y al parecer es el único característico aportado por capas que se ha sugerido son coetáneas con la formación Altos de Pica.

Hausen (1939, p. 166) considera de edad miocena rocas que él estu-

*Colloncurencense + Santacrucense = Santacruciano (Vindoboniano-Burdigaliano)

dió en la Cordillera de Lipez y que correlaciona con la formación Liparítica de Brügger. La correlación la extiende hasta los mantos riolíticos de Douglas de Tacna-Arica. Vilela (1953, p. 26) cree que esas rocas volcánicas de Argentina y de Chile, se correlacionan con sus "Dacitas y tobas de dacita viejas" del norte argentino, de probable edad miocena. Vilela (*op. cit.*, p. 16), sin embargo, no es concluyente al atribuir edad a la formación calchaqueña, en la cual están incluidas esas dacitas y sus tobas, porque reconoce que los elementos de juicio para la ubicación cronológica de la unidad en la región de la Puna argentina que él estudió no son fósiles, sino la discordancia que se observa en la base y las dacitas del tercio superior.

Frenguelli (1936, p. 477) cree que el Araucaniano (Plioceno) del valle de Santa María, en Salta, Argentina, es correlacionable con los Estratos Jujeños.

Por otra parte Ahlfeld (1956, p. 181), correlaciona los Estratos Jujeños con sus Estratos del Río Mauri que corresponden, según él (1946, p. 248), a las capas de la formación Altos de Pica.

Jenks (1945, p. 13-15; 1948, p. 51-56), describe su Volcánico de Chachani, en la Hoja Arequipa, del sur del Perú, que presenta semejanzas con los miembros piroclásticos de la formación Altos de Pica, especialmente la segunda etapa o "tufo compacto". El "tufo compacto" es de composición dacítica o riolítica, de aspecto ignimbrítico y Jenks lo atribuye al Terciario medio. El origen de las tobas por flujos de cenizas, fue propuesto por Fenner (1940, 1948).

Varios de los autores referidos están de acuerdo en colocar a la formación Altos de Pica o unidades correlacionables, como los Estratos del Río Mauri y tal vez la secuencia que cubre los faldeos al este del Salar de Atacama (Brügger, 1946, p. 74), dentro del Terciario superior.

Groeber (Hoffstetter *et al.*, 1957, p. 195) discrepa con estas opiniones al sugerir que la formación Liparítica de Brügger es cuaternaria (Tilhuelitense = glaciación Mindel). Harrington (1961, p. 178) en un trabajo reciente expresa que "los grandes mantos de lavas y tobas riolíticas expuestas directamente al este de la depresión Atacama-Punta Negra-Pedernales y a lo largo del borde oeste de la Puna, parecen principalmente de edad pleistocena inferior".

El mejor argumento para atribuir la formación Altos de Pica al Mioceno, es la sínfisis de la mandíbula de *Nesodon*. Se considera que la sínfisis es "casi idéntica" con otras del Santacruciano de la Patagonia, formación de edad miocena bien definida. Por otra parte, la atribución al Plioceno está sugerida por la correlación Altos de Pica = Estratos del Río Mauri = Estratos Jujeños = Araucaniano, de los diversos autores. Estos

conjuntos litogenéticos se eslabonan hasta llegar a este último, bien definido en su edad pliocena y comparable litológicamente con la formación Altos de Pica.

Los autores de esta publicación consideran que los argumentos actuales no son suficientes para estimar la edad de la formación Altos de Pica. Consideran que la sedimentación de la unidad puede haber comenzado en el Terciario superior hasta terminar en el Pleistoceno porque se ha observado que la superficie del miembro 5 de la formación Altos de Pica integra el pie de monte más reciente de los Andes en forma de terrazas. Estas terrazas, aunque aisladas del drenaje actual, denotan un origen que puede ser considerado más reciente que Plioceno.

DEPÓSITOS CUATERNARIOS.

Las acumulaciones de sedimentos cuaternarios se originaron durante definidos períodos de depósito y erosión. Las calizas, los sedimentos de terrazas y de pie de monte, el aluvio de los conos de deyección, los depósitos salinos, la arena en mantos y en dunas, se distinguieron por rastras especiales en los mapas. El fango de torrentes y los travertinos no se indican por razones de escala pero en ciertas localidades se observan con buen desarrollo.

DEPÓSITOS DE CALIZAS.

Las calizas de Chacarilla están sedimentadas a unos 200 m sobre el fondo del curso superior de la quebrada homónima. Sus afloramientos están distribuidos debajo de un nivel aterrazado del faldeo norte de la quebrada, que en dirección este-oeste se extiende por más de 3 Km. Las capas de caliza están subhorizontales y tienen unos 20 m de espesor. Los afloramientos se apoyan en discordancia angular de hasta 90 grados sobre la formación Chacarilla. La parte superior de la terraza está oculta en partes por derrubios de tobas soldadas de la formación Altos de Pica. Acerca del depósito de las calizas Muñoz M. (1953, p. 4) escribe que "parece corresponder a una formación lacustre en que soluciones saturadas de carbonato de calcio se evaporaron y cristalizaron en un ambiente estacionario". Los autores de esta publicación creen que es improbable que su depósito tenga un origen lacustre y sugieren un origen similar al de los travertinos que actualmente precipitan de las aguas superficiales en el fondo de la quebrada Chacarilla.

La caliza de Chacarilla es gris muy clara y de granulación muy fina. Microscópicamente es un agregado de granos de calcita de un tamaño

medio de 0,2 mm. En escasísima proporción se observan cristales de plagioclasa, cuarzo y magnetita, y material arcilloso.

DEPÓSITOS DE LAS TERRAZAS.

Las terrazas aluviales se observan a distintas alturas sobre los lechos modernos. Están distribuidos en el pie de la montaña y forman los bordes de los conos aluviales de las quebradas Sagasca y Chacarilla. Los sedimentos son de origen híbrido y se observan con variaciones locales dependientes de diferentes condiciones geológicas y topográficas. El fango consolidado de los torrentes o cenuglomerado es proporcionalmente el material que más se observa entre los sedimentos de las terrazas. En las quebradas Saguachinca y Quisma, donde las terrazas no son alcanzadas por los efímeros torrentes de fango y corrientes de agua, las superficies aterrazadas han sido invadidas casi totalmente por arenas eólicas.

DEPÓSITOS DE PIE DE MONTE.

Los depósitos de pie de monte integran la bajada de la serranía del Longacho donde forman numerosos y pequeños conos coligados desarrollados hacia el este y oeste. Los clastos de los sedimentos de los conos provienen de afloramientos de esta serranía, desde donde han sido arrastrados por aluviones.

DEPÓSITOS DE LOS ABANICOS ALUVIALES.

Los abanicos aluviales tienen un desarrollo notable sobre todo hacia el oeste de las salidas de la montaña de las quebradas Chacarilla, Sagasca y Quisma-Chintaguay. El abanico de Chacarilla cubre unos 350 Km² del cuadrángulo Matilla desde el borde occidental de los Andes hasta la cordillera de la Costa, a unos 35 Km al oeste. En el ápice el abanico está formado por fanglomerados y cenuglomerados. En la estación Pintados, cerca de la Cordillera de la Costa, los sedimentos son muy arcillosos, salinos e impermeables. Sin embargo, algunos pozos perforados en esta área occidental de la Pampa del Tamarugal, han atravesado capas de clastos muy gruesos. El cono aluvial de la quebrada Sagasca se observa con aspectos litológicos y morfológicos similares. El cono cubre menos de 20 Km² del sector noroccidental del cuadrángulo Pica y en muchas localidades está invadido por dunas en movimiento. El abanico aluvial de Quisma-Chintaguay no tiene gran desarrollo y rebasa los límites de los cuadrángulos Pica y Matilla, hacia el oeste. Sus sedimentos llegan hasta las proximida-

des de Canchones y constituyen la mayor parte de Pampa Esmeralda. En este sector los depósitos aluviales están cubiertos en casi todas partes por arenas modernas.

DEPÓSITOS DE LOS TORRENTES DE FANGO.

Los torrentes de fango son característicos de regiones montañosas desérticas y semidesérticas. En la región estudiada los fangos consolidados están distribuidos desde las cabeceras de algunas áreas de drenaje locales en plena montaña, hasta muy al interior de la Pampa del Tamarugal. Los colores de los cenuglomerados de los torrentes pueden variar de acuerdo a las rocas de los cuales derivan. En Chacarilla provienen de rocas de la formación Chacarilla y son rojizos. En Quisma derivan de rocas terciarias y son pardo amarillentos. Los fenoclastos englobados en los cenuglomerados son de todo tamaño y provienen de rocas locales sobre todo pórfidos graníticos, traquitas, areniscas y tobas soldadas riolíticas. Los fenoclastos se observan generalmente angulosos y con formas irregulares controladas por aspectos predesarrollados de depósito y diaclasamiento. Los cenuglomerados no se observan estratificados, sus clastos no están clasificados y los fenoclastos están distribuidos caóticamente. En los bordes de los derrames recientes sobre las terrazas bajas de la quebrada Chacarilla, se observó, sin embargo, una disposición marginal de los fenoclastos de mayor tamaño. Esta disposición puede estar originada por la gran capacidad dinámica del barro viscoso y por su menor competencia para transportar en los costados de las lenguas torrenciales.

DEPÓSITOS DE TRAVERTINOS.

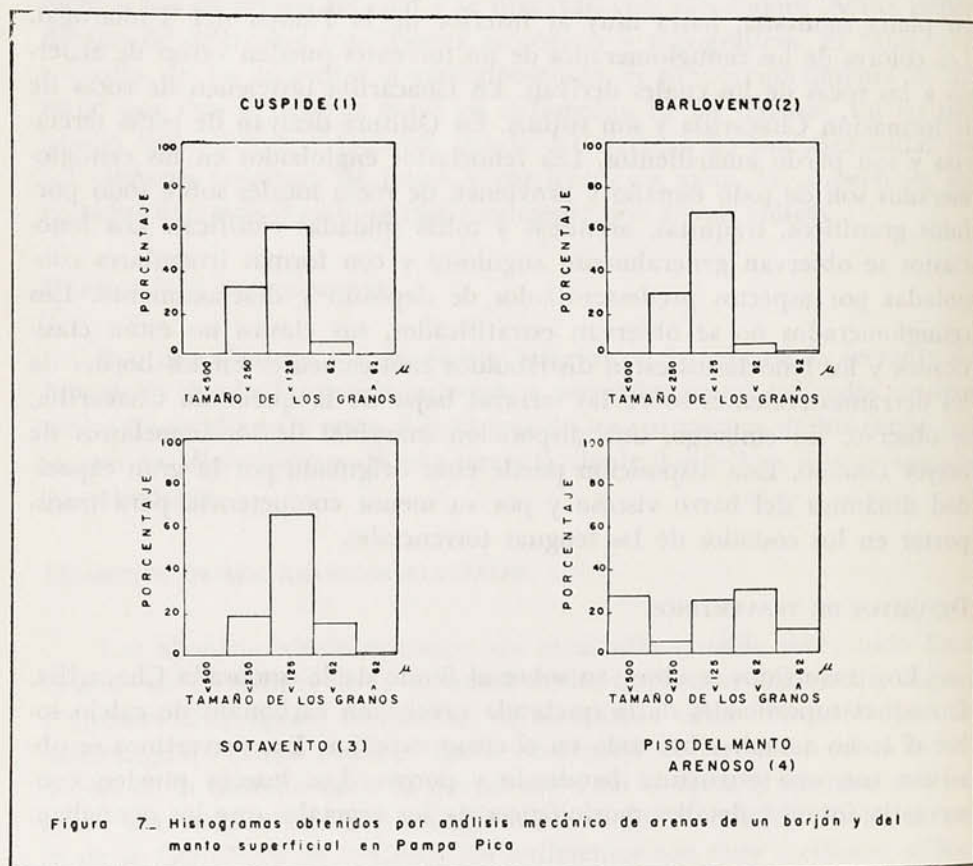
Los travertinos se observan sobre el fondo de la quebrada Chacarilla. Las aguas superficiales de la quebrada precipitan carbonato de calcio sobre el lecho actual, sobre todo en el curso superior. Los travertinos se observan con una estructura bandeada y porosa. Los huecos pueden conservar la forma y detalles morfológicos de los vegetales que los ocupaban.

DEPÓSITOS DE ARENAS.

Las arenas modernas son sedimentos de origen eólico dispuestas en forma de mantos o dunas. Están distribuidas principalmente en Pampa Esmeralda, en Pampa Pica-Puquio Núñez y en el faldeo de la montaña en muchas partes hasta los 2.000 m. Más arriba, las arenas se observan en localidades muy resguardadas de los vientos. Algunas quebradas menores próximas a Pica, desde hace muchos años no encauzan aguas to-

renciales y están totalmente invadidas por las arenas. Entre los granos de arena se observan ventifactos.

Se obtuvieron muestras de las arenas de la cúspide (1), de la superficie a barlovento (2) y de la superficie a sotavento (3), de un barján de la zona de dunas ubicada a unos 3 Km al norte de Pica, en Pampa Pica, y del piso del manto de arena (4), a unos 10 m a sotavento. Analizadas mecánicamente las arenas del barján muestran una gran selección de acuerdo al tamaño (figura 7).



El resultado de la separación con bromoformo y el estudio microscópico de los minerales pesados más abundantes, se indica en la figura 8.

Los análisis de las tres muestras de arena de las dunas indican que los materiales clásticos son muy parecidos y que están bien clasificados. La arena de la muestra obtenida en el piso del manto está mal clasificada y contiene material más grueso. Esto indicaría que el piso está defendido por clastos más gruesos, dejados atrás en el transporte eólico.

Por otra parte, hay indicaciones de que las arenas de las dunas forman una entidad diferente, que se mueve por sobre el piso sin perder sus características.

El porcentaje de los minerales pesados es similar en las muestras 1, 2 y 3. En la muestra 4 se observa una composición diferente, con menos hornblenda y más magnetita y hematita. Esto indicaría que la selección mecánica es en tamaño de grano y en peso específico.

DEPÓSITOS SALINOS.

En los alrededores de Matilla y Puquio Núñez se observan arenas y gravas en parte limoníticas, cementadas por sales que pueden contener una alta proporción de yeso. Las arenas y gravas se distribuyen en áreas blanquecinas que contrastan con las arenas modernas pardo amarillentas. La estratificación de estos depósitos denota una sedimentación hidrodinámica y se puede observar en las galerías de Matilla. El cemento salino probablemente ha sido depositado por agua freática. Estos depósitos están inmediatamente al este de la serranía del Longacho, que hidrológicamente es una barrera para el escurrimiento de las aguas superficiales y subterráneas que provienen del oriente de la región (ver Recursos de Agua Subterránea).

En el límite occidental del cuadrángulo Pica hay suelos salinos del borde este de los salares centrales de la Pampa del Tamarugal. Las evaporitas son blanquecinas y se destacan entre los componentes clásticos parduscos. Según análisis realizados por Froehlich (comunicación oral, 1958) en la estación experimental de Canchones, los suelos arcillosos y arenosos contienen sales de cloruros y sulfatos, combinados con sodio, calcio, magnesio y en ciertos sectores con potasio. Los carbonatos son muy escasos.

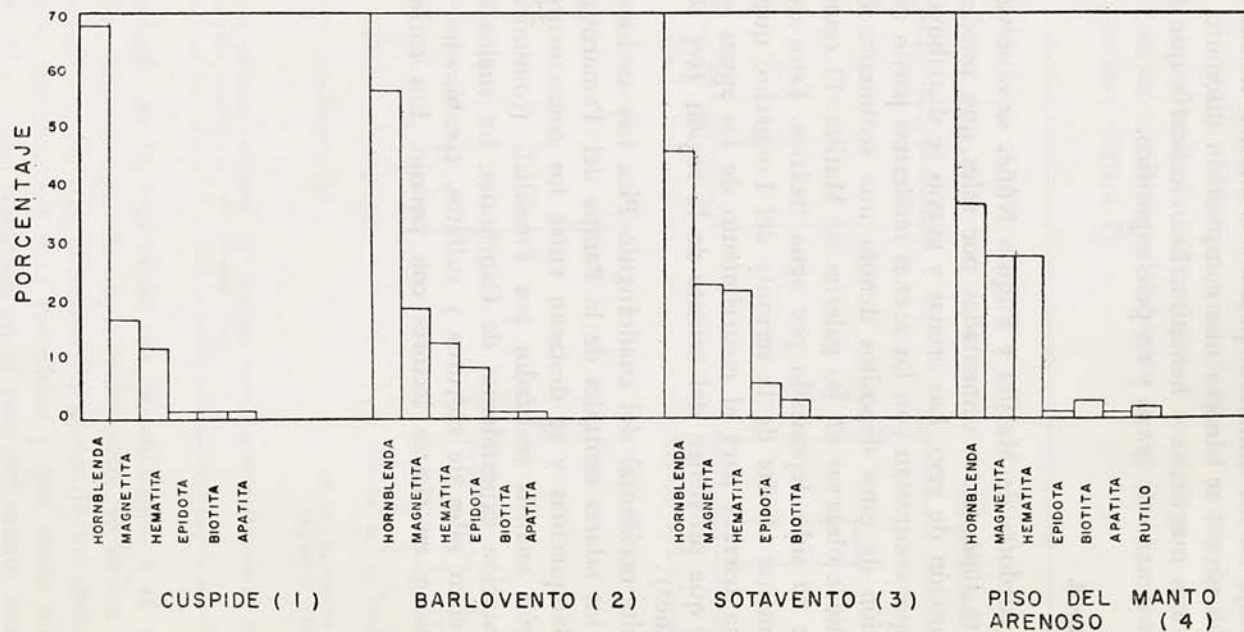


FIGURA 8.- Porcentaje de los minerales pesados más abundantes en arenas de un barján y del manto superficial en Pampa Pica.

ROCAS INTRUSIVAS

ASPECTOS GENERALES.

Las rocas intrusivas se observan emplazadas en las formaciones sedimentarias y volcánicas mesozoicas. Se observan distribuidas en la quebrada Tambillo; en la serranía del Longacho; en la quebrada Chacarilla y alrededores, y en un cerrillo al norte de La Calera. Por otra parte, la formación Altos de Pica no está penetrada por rocas intrusivas. Las rocas intrusivas han sido designadas en Chile con el nombre genérico de Diorita Andina (Muñoz C., 1950, p. 87; Brügger, 1950, Carta Geológica adjunta). En el reciente mapa geológico de Chile (IGC, 1960) las rocas intrusivas han sido señaladas como rocas graníticas y agrupadas por edades (cretácicas, cretácicas y/o jurásicas y paleozoicas).

Los afloramientos de rocas intrusivas en la región estudiada son relativamente escasos y están muy separados entre sí. Estas circunstancias, entre otras, impiden que las rocas intrusivas hayan podido ser correlacionadas con seguridad y se estima conveniente describirlas brevemente por grupos, de acuerdo a las formaciones que penetran (tabla 9). Sin embargo, en la quebrada Tambillo no se han podido observar las rocas intrusivas intruyendo formaciones más antiguas, ya que aproximadamente un Km al oriente de las chacras de Jucuma el contacto entre las rocas sedimentarias y grandes afloramientos de las rocas intrusivas está oculto por coluvio. Las rocas intrusivas de la quebrada Tambillo constituyen el más extenso afloramiento continuo de rocas graníticas de la región. Se distribuyen en el cañón de la quebrada Tambillo, debajo de la formación Altos de Pica, que se apoya sobre las rocas intrusivas fuertemente denudadas. La más antigua de las rocas plutónicas parece ser granodiorita (1)*. En algunos lugares la granodiorita está penetrada por venas cuarzo-plagioclásicas, agmatitas y venas paralelas o "lit par lit". Ciertas áreas muy locales, están migmatizadas cerca de los contactos. La granodiorita se observa penetrada por granito (2), tonalita (3), diorita (4) y aplita. Al sudoeste de Tapinga se levanta una pequeña loma constituida por pórfido tonalítico (5), rodeada por tobas de los Altos de Pica. En las rocas plutónicas se observan grandes trozos de cuarcita y lutita. La cuarcita es macro y microscópicamente muy parecida a la ortocuarcita de Chacarilla. El trozo de lutita se expone en una superficie de 5×1 m y la roca tiene aspecto de haberse originado en ambiente marino. Las rocas de los alrededores de Jucuma están atravesadas por un dique de pórfido anfibólico de un m de espesor, poco al oeste de las chacras.

*Las rocas intrusivas numeradas se describen brevemente en la tabla 9.

Los cuerpos que intruyen las rocas sedimentarias de la formación Longacho son filones columnares y diques de poca extensión. El cerrito más alto de la serranía del Longacho está en parte formado por andesita (6) muy tenaz y hacia el sur del cerrito se observa un promontorio bajo y redondeado que está compuesto por dacita (7). Otros cuerpos intrusivos pequeños de la serranía están formados por pórfido granítico, microdiorita, gabro y riolita.

T a b l a 9

Descripción petrográfica de las rocas intrusivas

Afloramiento de la Quebrada Tambillo (en relación desconocida con las rocas sedimentarias más antiguas)

- | | |
|-------------------|---|
| (1) Clasificación | : granodiorita. |
| Color | : gris medio. |
| Textura | : hipidiomorfa. |
| Composición | : plagioclasa (andesina) 50 por ciento; ortoclasa 18 por ciento; cuarzo 13 por ciento; biotita 7 por ciento; anfíbola 7 por ciento, y magnetita 5 por ciento. |
| (2) Clasificación | : granito. |
| Color | : gris oliva. |
| Textura | : equigranular, grano medio. |
| Composición | : ortoclasa 40 por ciento; cuarzo 30 por ciento; plagioclasa 15 por ciento; clorita 8 por ciento; anfíbola 5 por ciento, y magnetita 2 por ciento. |
| Observaciones | : tamaño de los cristales puede variar entre 0,8 y 2,6 mm; plagioclasa muy alterada. |
| (3) Clasificación | : tonalita. |
| Color | : gris anaranjado. |
| Textura | : hipidiomorfa granular. |
| Composición | : plagioclasa intermedia, cuarzo, anfíbola, etc. |
| (4) Clasificación | : diorita. |
| Color | : gris verdoso. |
| Textura | : hipidiomorfa granular, grano medio. |
| Composición | : plagioclasa intermedia, anfíbola, feldespato potásico y cuarzo. |
| Observaciones | : cuarzo muy escaso. |
| (5) Clasificación | : pórfido tonalítico. |
| Color | : gris claro. |
| Textura | : porfírica. |
| Composición | : cuarzo 49 por ciento; plagioclasa 32 por ciento; biotita 13 por ciento; ortoclasa 4 por ciento; anfíbola 1 por ciento, y magnetita 1 por ciento. |
| Observaciones | : probable recristalización e introducción de cuarzo en la masa fundamental. |

Formación Longacho.

- | | |
|-------------------|--|
| (6) Clasificación | : andesita. |
| Color | : gris oscuro. |
| Textura | : porfírica. |
| Masa fundamental | : (54 por ciento) hialopilitica, con microlitas de feldespato y probables pigmento vítreo y magnetita. |

- Fenocristales : (46 por ciento) andesinas cálcicas idiomorfas, transparentes, 65 por ciento; augita (?) e hiperstena, 32 por ciento, y magnetita 3 por ciento.
 Observaciones : el aspecto macroscópico de la roca es el de un basalto.

- (7) Clasificación : dacita.
 Color : gris rojizo.
 Textura : porfírica.
 Masa fundamental : microgranular, compuesta probablemente por cuarzo y feldespato.
 Fenocristales : plagioclasa indeterminable, idiomorfa; biotita; probable anfíbola, y escasos de cuarzo.
 Observaciones : los fenocristales hasta de 2 mm, muy descompuestos.

Formación Chacarilla.

- (8) Clasificación : pórfido granítico.
 Color : anaranjado muy pálido.
 Textura : porfírica.
 Masa fundamental : granular a traquítica; componentes: cuarzo abundante, biotita, ortoclasa, sericita y hematita.
 Fenocristales : cuarzo, ortoclasa y biotita.
 Observaciones : los fenocristales son escasos; la biotita puede observarse rellenando grietas; la roca presenta un metamorfismo de grado bajo. El tamaño medio de los componentes de la masa fundamental es aproximadamente 0,04 mm. Los mayores fenocristales son los de ortoclasa de 2,2 mm.
- (9) Clasificación : diorita.
 Color : gris verdoso.
 Textura : hipidiomorfa granular.
 Composición : plagioclasa 80 por ciento; anfíbola 18 por ciento y magnetita 2 por ciento.
 Observaciones : la roca está descompuesta.
- (10) Clasificación : microgranito de soda.
 Color : gris rosado.
 Textura : aplítica.
 Composición : plagioclasa 83 por ciento; cuarzo 10 por ciento; magnetita 7 por ciento.
 Observaciones : roca de aspecto sacaroidal.
- (11) Clasificación : granito aplítico.
 Color : gris claro.
 Textura : aplítica.
 Composición : ortoclasa 39 por ciento; albita 26 por ciento; cuarzo 20 por ciento; clorita 12 por ciento y magnetita 3 por ciento.
- (12) Clasificación : anfíbolita.
 Color : verde oscuro.
 Masa fundamental : (35 por ciento del total) clorita, calcita y apatita.
 Fenocristales : (65 por ciento del total) apatita y anfíbola.
- (13) Clasificación : pórfido diorítico anfibólico.
 Color : gris verdoso oscuro.
 Textura : porfírica.
 Masa fundamental : feldespato sericitizado; augita; clorita y magnetita. Cuarzo y clorita son secundarios.
 Fenocristales : feldespato alterado a sericita; hornblenda; augita y magnetita.
 Observaciones : la sericita se observa de hasta 2 mm y la hornblenda de hasta 1 cm.

La formación Chacarilla se observa muy penetrada por cuerpos intrusivos, la mayor parte de los cuales se compone de pórfido granítico (8). Esta roca está muy teñida sobre todo en las diaclasas por minerales de hierro descompuestos. La zona de Chacarilla más invadida por intrusiones es la faja que se observa desde más al sur de la quebrada Empexa hasta las chacras de Chacarilla. El núcleo de la zona está constituido por diorita (9) muy inyectada por venas aplíticas. La diorita grada a granodiorita y microgranito de soda (10). Cerca del límite oriental del cuadrángulo Chacarilla afloran granitos aplíticos (11). La roca más antigua que atraviesa la formación Chacarilla es una anfibolita (12). Esta roca se observa en diques, atravesados por otros de pórfido granítico, a unos 2 Km al sur de las chacras de Chacarilla. Por otra parte, las rocas intrusivas al parecer más modernas que atraviesan a la formación Chacarilla, son pórfido diorítico anfibólico (13) y andesita. Estas rocas también penetran a la formación Cerro Empexa.

EDAD Y CORRELACIONES.

Las relaciones de las rocas intrusivas entre sí y con las formaciones sedimentarias y volcánicas se han aclarado satisfactoriamente en algunas áreas. Pero en otras como la serranía del Longacho y la quebrada Tambillo, donde son escasos o no hay afloramientos preterciarios, las observaciones acerca de las relaciones de las rocas intrusivas son insuficientes.

En el área de Chacarilla las intrusiones en las formaciones Chacarilla y Cerro Empexa permiten distinguir tres ciclos magmáticos bien diferenciados en los tipos de roca y en el tiempo geológico. El ciclo más antiguo lo constituyen los diques de anfibolitas. Su edad se estima jurásica superior porque se observan atravesando la formación Chacarilla y a su vez se observan atravesados por las rocas del segundo ciclo. El segundo ciclo es el de las dioritas y sus diferenciaciones a varios tipos de rocas holocristalinas y filonianas, de las cuales las más distribuidas son los pórfidos graníticos. Es probable que los granitos del curso superior de la quebrada Chacarilla sean del mismo ciclo, pero acerca de ello no hay observaciones. La edad relativa de este segundo ciclo es probablemente jurásica superior, porque el ciclo de denudación que sucedió a la orogenia jurásica superior erosionó fuertemente a la formación Chacarilla y a esas rocas ígneas intrusivas. Las rocas del segundo ciclo son las más distribuidas en el área de Chacarilla, respecto de los otros dos ciclos intrusivos.

El aislamiento geográfico y estratigráfico de los afloramientos de plutonitas en la quebrada Tambillo, no permite estimar la edad aproximada de su emplazamiento. La posición de estas rocas debajo de un plano

de denudación y de la formación Altos de Pica, sólo confirma una edad preterciaria superior.

El tercer ciclo intrusivo reconocido es el de los pórfidos dioríticos anfibólicos y las andesitas que atraviesan las formaciones Chacarilla y Cerro Empexa. Esta observación sugiere que los pórfidos y las andesitas penetraron en el lapso comprendido entre el término del depósito de la formación Cerro Empexa y el comienzo del ciclo de denudación pre-Altos de Pica.

Los afloramientos de rocas intrusivas en la formación Longacho no pueden ser correlacionados con los anteriores. Acerca de su edad sólo puede decirse que son posteriores al Liásico y anteriores al ciclo erosivo pre-Altos de Pica.

Investigaciones recientes en Chile Central y norte han aclarado algunas de las relaciones espaciales y temporales de las intrusiones batolíticas. Estas relaciones han sido resumidas por Ruiz *et al.*, (1960). Las conclusiones del trabajo expresan que en Chile existen rocas graníticas de por lo menos tres edades y que el más joven de los granitos es de edad cretácica. Diversas muestras de rocas graníticas fueron analizadas en el Laboratorio de Geocronología del usgs en Washington (EE. UU. de A.) por el método plomo-alfa (Larsen). Una de ellas fue obtenida de afloramientos de un microgranito porfírico en la quebrada de Duplijsa, poco al norte del cerro Juan de Morales. La edad de los microgranitos fue determinada en 95 ± 10 millones de años (Cenomaniano a Santoniano). Por el momento se desconoce la relación entre los microgranitos de Juan de Morales y las rocas intrusivas de los cuadrángulos estudiados. Pero la proximidad geográfica de estos cuerpos intrusivos sugiere una posible relación genética, con lo cual la edad de algunas rocas intrusivas de los cuadrángulos, tal vez la del tercer ciclo, puede ser estimada tentativamente como cenomaniana a santoniana (Kulp, 1959).

ESTRUCTURA

ASPECTOS GENERALES.

Las estructuras regionales tienen, en general, orientación norte. Las grandes fallas supuestas y la extendida flexura al este de Pica limitan la Cordillera de los Andes, la depresión de Pica-Puquio Núñez, la serranía del Longacho, las serranías al norte de Pampa Esmeralda y la Pampa del Tamarugal, que son las mayores unidades morfoestructurales de la región.

La orogénesis del Cretácico plegó las rocas cretácicas y más antiguas en una serie de anticlinales y sinclinales asimétricos. Una fuerte discordancia angular separa esas rocas de las terciarias y pleistocenas, que forman un homoclinal de suave inclinación al oeste. El homoclinal se observa con fallas de poco rechazo y con un monoclinal en su borde occidental. La diferencia en los aspectos estructurales motivó la conveniencia de describir las estructuras de las rocas mesozoicas y cenozoicas en dos secciones.

LAS FORMACIONES MESOZOICAS.

FORMACIÓN LONGACHO.

El cerrito más prominente de la serranía del Longacho está formado por un braquianticlinal. Es muy probable que la intrusión de andesita haya originado esa estructura anticlinal cerrada que no se ha observado en otras partes de la serranía del Longacho. Hacia el sur del braquianticlinal las capas liásicas estructuran un anticlinal asimétrico cuyos flancos están inclinados entre 25 y 30° E y 10 y 20° W. La cresta del anticlinal es relativamente suave.

Una falla supuesta que se ubicaría en el borde oriental de la serranía del Longacho constituiría el elemento estructural más importante de la región. La falla se extendería en la región estudiada desde los afloramientos más septentrionales de esa serranía hasta las proximidades del cerrito de Puquio Núñez. La falla del Longacho está en parte sugerida por el bloque levantado de la serranía. El bloque se observa erosionado y en casi todas partes está cubierto por rocas más modernas en posición angular discordante. El bloque presenta una morfología que sugiere un levantamiento asimétrico porque la suave inclinación de la ladera oeste de la serranía contrasta con la fuerte pendiente de la ladera este. La falla del Longacho probablemente está relacionada con las fallas que se presume bordean el flanco este de las rocas pre-Altos de Pica en Juan de Morales y Sagasca, más al norte del cuadrángulo Pica, y en el cerro Challacollo,

más al sur del cuadrángulo Matilla. Esta hipótesis destaca la probable importancia de una falla o sistema de fallas que estructurarían los bloques más extensos del pie de la Cordillera de los Andes.

La falla del Longacho aparentemente es normal y la dirección de la traza de su plano tendría orientación aproximadamente norte. La inclinación del plano de la falla se desconoce. El rechazo mínimo sería de aproximadamente 900 m.

Los perfiles de las perforaciones de la CORFO y de la Dirección de Riego tienden a apoyar la hipótesis acerca de la falla del Longacho porque atravesaron en Pampa Pica 325 m de rocas sedimentarias y piroclásticas de la formación Altos de Pica y del Cuaternario. Pampa Pica está ubicada al este y sobre el flanco descendido de la falla supuesta del Longacho. Los conocimientos generales de la geología regional indican que, en total, las rocas sedimentarias y piroclásticas terciario-cuaternarias en Pampa Pica pueden alcanzar unos 600 m de espesor.

La morfología de la serranía del Longacho sugirió a Brüggén (1918, p. 32) y a Felsch (1920, p. 474) que el bloque levantado estaría complicado por una falla transversal de predominante componente horizontal ("strike-slip fault"). De acuerdo a esta hipótesis, que los autores de esta publicación comparten, el sector serrano al norte de Matilla estaría desplazado hacia el este. El plano de la falla transversal no está comprobado por observaciones directas y su traza coincidiría con el curso de la quebrada seca sin nombre que atraviesa la serranía del Longacho a unos 7 Km al norte de Matilla.

FORMACIONES CHACARILLA Y CERRO EMPExA.

Las rocas de estas formaciones están plegadas muy fuertemente. Los pliegues son en general asimétricos y pueden variar entre abiertos y volcados. Las crestas de los anticlinales son agudas y las cubetas de los sinclinales son amplias, en general. Las crestas anticlinales están en partes complicadas por pliegues isoclinales y en zig-zag.

Las fallas observadas en estas formaciones en el área de Chacarilla no son estructuralmente importantes y algunas, de poco rechazo, aparecen complicando las crestas anticlinales. Por otra parte, las formaciones Chacarilla y Cerro Empexa en la región de Guatacondo, fuera de los cuadrángulos hacia el sur, están fuertemente falladas y en partes sobreescurridas. El volcamiento de las capas mesozoicas que forman el flanco oriental del sinclinal de Higuieritas, sugiere fallas que no pudieron observarse directamente.

Las rocas mesozoicas que afloran en la quebrada Chacarilla están estructuradas por tres sinclinales y tres anticlinales principales. El sinclinal

de la quebrada Empexa se expone en un área de poca extensión entre El Algarrobal y las chacras de Chacarilla. El plano axial del sinclinal tiene un rumbo N 20° E. El flanco occidental tiene un rumbo N 45° E y una inclinación de 83° S. El flanco oriental está volcado. La cubeta sinclinal es muy cerrada.

El anticlinal de Chacarilla es un pliegue de gran magnitud que se observa en la vecindad de las chacras de Chacarilla. La traza del plano axial tienen un rumbo que puede variar entre N 20° W y N 20° E. El eje anticlinal buza hacia el norte. El flanco occidental es complicado y cerca de las chacras de Chacarilla se observan pliegues en zig-zag. Al sur de la quebrada Chacarilla el flanco occidental se observa estructurado por cinco pliegues secundarios. Las capas del flanco occidental se presentan verticales y volcadas en algunas localidades. Las capas del flanco oriental tienen una estructura más simple.

El sinclinal de Higuieritas está situado al este del anticlinal de Chacarilla. El pliegue es asimétrico y la traza del plano axial tiene un rumbo que puede variar entre N 30° W y N 30° E. El eje sinclinal es paralelo al eje del anticlinal de Chacarilla y buza hacia el sur. La cubeta es muy amplia. En las proximidades del límite meridional del cuadrángulo Chacarilla la cubeta sinclinal está ocupada por las rocas de la formación Cerro Empexa.

El anticlinal de la cuesta de López es asimétrico y la traza del plano axial tiene un rumbo norte. El eje axial es aproximadamente paralelo al eje del sinclinal de Higuieritas, y buza hacia el norte. La charnela se observa complicada por lutitas plegadas isoclinalmente, cerca de las nacientes de la quebrada Higuieritas. El flanco occidental se observa volcado al este, en algunas localidades.

El sinclinal situado más al oriente del borde del cuadrángulo Chacarilla, está estructurado en traquitas macizas que no permiten observaciones claras. La sugerencia de una estructura sinclinal aparecería indicada por otro anticlinal situado más al oriente y por una aparente inexistencia de bloques fallados.

LAS FORMACIONES CENOZOICAS.

Las rocas de la formación Altos de Pica y de edad más moderna tienen en general una estructura simple. Las estructuras de estas rocas están orientadas en direcciones que en general coinciden con las direcciones norte de las estructuras de las rocas más antiguas. Esta circunstancia sugiere que los lineamientos generales del fallamiento y el plegamiento que afectaron a las rocas pre-Altos de Pica persistieron durante el Cenozoico. Los principales aspectos estructurales observados son fallas, dos flexuras o

monoclinales de gran distribución regional y el homoclinal de los Altos de Pica.

Los planos de las fallas tienen una dirección general norte, con excepción de algunos de rumbos aberrantes que están orientados hasta N 45° E. Las fallas observadas en las rocas cenozoicas en parte controlan los grandes aspectos estructurales de la región. En la meseta de los Altos de Pica se observan bloques separados por planos de falla a lo largo de los cuales los rechazos no exceden los 15 m. La excepcional aridez de la región favoreció la conservación de las escarpas de falla con aspectos morfológicamente juveniles.

La fosa tectónica observada en El Algarrobal está delimitada por dos fallas inversas cuyos planos están inclinados opuestamente. Los planos de las fallas tienen un rumbo aproximado norte y el rechazo es de pocos metros. La planicie aluvial de la quebrada Chacarilla no está afectada por las fracturas.

La falla en la quebrada Quisma disloca a las tobas soldadas del miembro 2 y a rocas sedimentarias suprayacentes de la formación Altos de Pica. La falla está situada a poca distancia al este del Salto Chico. La traza del plano de falla tiene un rumbo N 45° E y el rechazo es de pocos metros.

Las serranías bajas, ubicadas al norte de Pampa Esmeralda y de La Calera, son bloques tectónicos estructurados por tres fallas supuestas paralelas entre sí y a la falla del Longacho. Las trazas de los planos de las fallas tienen orientación aproximadamente norte y los rechazos se desconocen. Es probable que la más oriental de estas fallas se conecte con la falla supuesta al este de los reducidos afloramientos de calizas y rocas intrusivas que constituyen los pequeños cerrillos-islas localizados al norte de La Calera.

El homoclinal de los Altos de Pica está limitado al oeste por una flexura o monoclinas. La flexura tiene el flanco inclinado aproximadamente entre 15 y 20° W y está orientada al norte. En el Salto Chico de la quebrada Chintaguay la flexura se convierte localmente en un anticlinal suave cuyos flancos están inclinados 4° E y 16° W. La flexura ha podido observarse desde la latitud de la quebrada Seca hasta la latitud de Puquio Núñez. Los autores sugieren que la flexura puede haberse originado en el Pleistoceno por fallamiento de las rocas de unidades anteriores a la formación Altos de Pica. No se ha observado que el plano de la falla supuesta continúe a través de las rocas de la formación Altos de Pica. La flexura ha sido probablemente una consecuencia del movimiento relativo de bloques que plegó monoclinamente a las rocas de la formación Altos de Pica, sin alcanzar a fracturarlas. El movimiento relativo de un bloque hundido entre la flexura y la serranía del Longa-

cho, originó la fosa tectónica de unos 150 Km² que geográficamente se conoce como Pampa Pica.

En la región de la laguna del Huasco, más al este del límite oriental del cuadrángulo Alca, los Altos de Pica están limitados por otra flexura inclinada al este de aspectos estructurales similares a los descritos.

El homoclinal de los Altos de Pica tiene unos 3 a 6° W de inclinación. Brügger (1918, p. 8; 1950, p. 118) sugiere que la inclinación del homoclinal ha sido ligeramente modificada por movimientos tectónicos posteriores al depósito de la formación Altos de Pica. Por otra parte, Muñoz Reyes (1950, p. 8) cita una comunicación oral de Gilbert Moore que sugiere que los Estratos del Mauri, en Bolivia, que son correlacionados con la formación Altos de Pica, tienen una inclinación original y no derivada de movimientos tectónicos. De todos modos, la inclinación de los Altos de Pica está dentro del orden de magnitud en que pueden depositarse sedimentos pedemontanos.

GEOMORFOLOGIA

La región estudiada está incluida en el desierto de Atacama, considerado el más árido del mundo. El anticiclón del Pacífico, los vientos alisios y la corriente marina fría de Humboldt o del Perú, son los fenómenos naturales de gran magnitud, causantes de la extrema aridez del norte chileno y del territorio peruano al occidente de las cuencas de los ríos Amazonas y de la Plata.

Los elementos morfológicos fundamentales de la región están constituidos por una montaña compleja que fue erosionada y recubierta parcialmente y con posterioridad por depósitos detríticos y piroclásticos, que están bajo un nuevo ciclo erosivo. La morfología actual se compone de tres grandes elementos: la parte alta, donde se expone el relieve maduro del área compleja de Chacarilla; el área simple de la meseta de los Altos de Pica, donde se observa una morfología juvenil, y el pie de la montaña, ocupado por la Pampa del Tamarugal, donde conos de deyección construyen una bajada.

El agua es el agente más importante en el modelado del paisaje. Lluvias intensas y de corta duración ocurren en todos los desiertos del mundo y pueden producirse en el de Atacama después de prolongados períodos secos, eventualmente decenios. Las aguas meteóricas se encauzan en una red de drenaje que no es capaz de transportar normalmente la carga. Las corrientes bajan con fuerza y arrastran a su paso el material detrítico de los lechos fluviales y el regolito que ha sido desprendido de las laderas, formando torrentes de fango. Los aluviones se depositan al pie de la montaña acumulándose en conos de deyección que como el de Chacarilla alcanzan a 35 Km de largo. Las avenidas más grandes llegan a la base de la Cordillera de la Costa. Se han registrado lluvias sobre esta árida cordillera litoral, pero la importancia de sus aguas como agente morfológico es mínima. Las corrientes de agua que más influyen en la elaboración de las formas de la región son, sin duda, las que se originan por precipitaciones estivales sobre las cuencas amazónica y del río de la Plata y que alcanzan hasta el territorio chileno en la cordillera limítrofe con Bolivia.

El relieve regional está integrado por un sector alto de una altitud media de 4.000 m, formado por una meseta de tobas levemente homoclinal hacia el oeste, que en el sector sur se desvanece dejando descubierta una montaña compleja. Los faldeos más bajos de la meseta descienden con igual pendiente y están formados por viejos niveles de pie de monte. Los productos de la erosión más o menos moderna de la montaña se exponen como terrazas y enormes abanicos aluviales que contribuyen al

relleno de la Pampa del Tamarugal. Esta es una depresión que en la región estudiada es el nivel base regional.

El relieve maduro del ciclo pre-Altos de Pica no se observa en la región de los cuadrángulos. La formación Altos de Pica lo cubre en todas partes y en la topografía del área de Chacarilla ese relieve es irreconocible debido a la disección del ciclo post-Altos de Pica. Entre los cerros Yarcovoya y Chacarilla o Empexa existía una gran zona intermontánea posteriormente rellenada por sedimentos y depósitos de flujos de ceniza de la formación Altos de Pica. Los autores creen que en general el relieve pre-Altos de Pica era morfológicamente maduro. La superficie actual de la meseta no tiene influencia aparente del antiguo relieve. El ciclo de erosión pre-Altos de Pica se presume que operó entre el Cretácico y el Terciario inferior.

Las formas constructivas del paisaje moderno se analizarán brevemente a continuación. Los Altos de Pica sobre los 3.000 m de altura constituyen una meseta homoclinal al oeste. Es un elemento morfológico alto y subhorizontal, con algunas fallas y anticlinales menores. Está bordeado por dos flexuras en sus límites naturales al este y al oeste. La meseta homoclinal está en un estado de juventud, en proceso de erosión controlado en primer término por cañones profundos. La red de drenaje es consecuente y superimpuesta a las tobas que cubren viejas formaciones. La orientación general de los cañones es al oeste y sudoeste. Se observan quebradas subsecuentes sólo en cortos tramos a lo largo de las pequeñas fallas que afectan la formación Altos de Pica. En las fotografías aéreas pueden verse con claridad los cambios de curso originados después de la formación de las escarpas. La integración de los cañones en una sola red ha progresado muy poco, porque independientemente descienden a su nivel base controlado por la depresión del Tamarugal. La erosión actúa casi únicamente profundizando los cursos muy jóvenes, por acciones hidrodinámicas efímeras de los aluviones que descienden con gran fuerza en el verano.

Los cañones están bordeados por paredones de casi 90° de inclinación, constituidos por tobas y sus fondos están quebrados por numerosos saltos. Más arriba de los 3.000 m, el relieve de los interfluvios está en estado inicial y muy poco modificado por la erosión. Lo corona un pavimento de piedra compuesto por la roca *in situ*, bloques sueltos y algo de arena y grava del regolito. La desintegración de las rocas se observa en todos los ámbitos de la meseta donde rocas *in situ* están exfoliadas, sus cristales separados mecánicamente o partidas en trozos no desprendidos formando el bloque original. La extrema variación diurna de temperatura, en la superficie de las rocas, podría ser la causa de este tipo de

meteorización. Las variaciones diarias de la temperatura del aire son de unos 30° C en invierno, a unos 1.300 m de altura, según observaciones de los autores. Mortensen (1927), en cita de Wetzel, informa que éste registró en la superficie del suelo 11° C más que en el aire.

Froehlich (comunicación oral, 1958) obtuvo registros sistemáticos a este respecto en Canchones, situado en los salares de la Pampa del Tamarugal. En verano, en el día, con cielo claro, humedad relativa entre 20 y 30 por ciento, temperatura del aire de unos 30 a 32° C, en suelo areno-limoso desnudo de vegetación, Froehlich observó que el suelo registra temperaturas de 69° C. En el mismo día durante horas de la noche, con temperatura del aire entre 10 y 12° C., la temperatura del suelo es igual o ligeramente menor a la del aire. Por lo tanto, las diferencias son cercanas a los 60° diarios. La expansión del agua congelada en los intersticios y fracturas de las rocas puede ser otro factor de desintegración en las mayores alturas, durante las épocas de precipitaciones suficientes. El viento remueve el material y abraza las rocas hasta producir ventifactos.

En los Altos de Pica por debajo de los 3.000 m aproximadamente, la meseta está formada por rocas sedimentarias. Aunque los aspectos morfológicos son parecidos a los descritos, existen algunas diferencias respecto de la meseta de tobas originadas por la distinta litificación. Los cañones elaborados en los sedimentos tienen bordes más redondeados. Las arenas cubren gran proporción de la superficie de las divisorias y sobre ellas hay un manto no cementado de clastos riolíticos, con desgaste producido por el transporte torrencial original. La meseta conserva estas características en el área al norte de las quebradas Seca y Ancha, donde el drenaje abre quebradillas próximas entre sí. Estos surcos generalmente están ocupados por arenas eólicas. Esta área es un paisaje malo incipiente, donde no existen grandes quebradas profundas, porque las aguas de lluvia de la parte alta son transportadas por las redes de drenaje divergentes de Sagasca, hacia el norte, y de la Ancha, Seca y otras, hacia el sur.

El elemento positivo de la parte austral de la zona alta, la región de Chacarilla, es una montaña compleja que evolucionó hasta el estado maduro. Las quebradas de la región de Chacarilla incisionan el relieve en casi todos los ámbitos, pero en algunos interfluvios todavía se conservan mesas de capas de la formación Altos de Pica. Los cursos son superimpuestos en una red de drenaje cuyos cursos son aproximadamente paralelos con dirección oeste en las grandes alturas y sudoeste en las partes de menor altitud. La integración de la red se realiza muy lentamente y en casos especiales, debido a la gran profundización actual. Pero durante las primeras etapas de la evolución del relieve hubo muchos cambios de curso. Es evidente que la red de drenaje de Chacarilla no está sujeta a un control estructural

porque la dirección de los ejes de los pliegues es definitivamente norte. Los faldeos de las quebradas son en V y las incisiones pueden ser de muchos cientos de metros como en las quebradas Chacarilla o Higuieritas. Los cursos son jóvenes, con saltos sobre las tenaces rocas intrusivas o sobre las rocas jurásicas o cretácicas más resistentes. El nivel base de las quebradas menores está controlado parcialmente por la de Chacarilla y el de ésta por la Pampa del Tamarugal. La erosión actual del área de Chacarilla se produce sobre todo en los cursos menores, que profundizan y no depositan. La actividad de las pendientes es considerable porque se observan redondeadas a incisas. El enmantamiento por capas de la formación Altos de Pica fue completo antes del ciclo post-Altos de Pica y en la actualidad está confinado a las divisorias.

La quebrada Chacarilla es la más importante de la región montañosa. Bordea la parte austral de los afloramientos de la formación Altos de Pica, con un cañón que en el borde oriental del cuadrángulo Chacarilla supera los 900 m de profundidad. La morfología de la quebrada en las cercanías de Alona es juvenil, pero aguas abajo de las chacras de Chacarilla se observa más madura. Genéticamente, la quebrada es superimpuesta ya que sigue la inclinación original de las rocas de la formación Altos de Pica, hoy desnudadas, que cubrían la región de Chacarilla. El perfil de equilibrio no ha sido alcanzado totalmente ya que se observan algunos saltos en El Algarrobal y cerca de Alona. Las laderas son generalmente empinadas, los espolones laterales no han sido borrados y en general los afluentes son jóvenes, algunos en grado extremo (lámina 9). Las terrazas más bajas se desarrollan aguas abajo de las chacras. Aguas arriba de las casas de Chacarilla las terrazas bajas casi no se desarrollan. Al observar la quebrada resalta la desproporción entre sus dimensiones y el caudal de unos pocos lt/seg de sus aguas permanentes. El control de la actual morfología depende de las avenidas de verano, que según observadores, tienen un caudal estimado en varios centenares de m³/seg.

Los detritos originados por la erosión del complejo montañoso se han depositado y siguen depositándose a su pie. Construyen una típica bajada o pie de monte formado por numerosos conos coligados en activo proceso de acumulación. La disección es casi inexistente y está confinada a los pequeños cañones temporarios que encauzan las aguas, pocos kilómetros hacia el oeste de las bocas de las quebradas. La superficie de los conos mayores, observada en detalle, es muy irregular debido a los cauces efímeros y errantes que han recorrido las aguas y los torrentes de fango. En la superficie se esparcen bloques de todo tamaño con bastante redondeamiento y esfericidad debido al transporte desde su origen en la montaña. Los bloques y bolones que no fueron removidos por las avenidas

más o menos recientes, están con pátina del desierto, quebrados y exfoliados o desintegrados granularmente por la intemperización, según la clase de la roca componente. Hacia el oeste de la Pampa del Tamarugal, se observan gradualmente clastos menores y superficies más regulares. El drenaje del sector bajo de la montaña sigue la inclinación regional al oeste, con excepción de algunos tramos de la quebrada Seca y de otra sin nombre al oeste del Longacho, cerca de La Calera. Estos cursos son en parte subsecuentes donde bordean fallas o límites de formaciones. El paisaje del pie de la montaña está condicionado por la incapacidad de transporte de una red de drenaje insuficiente y por un déficit de lluvias. En este sector los detritos van colmando las depresiones y las serranías antiguas afloran como cerros islas. El cerrito de Puquio Núñez tal vez es un relicto de las rocas viejas, según Brügger (1918, p. 33), o de la base del Terciario, según Felsch (1920, p. 479). Los autores opinan que el cerro Puquio Núñez puede ser un remanente de antiguos aluviones elevados por la falla del Longacho.

En el curso superior de la quebrada Chacarilla se distinguieron dos terrazas que están situadas a 240 m y a 480 m más arriba del cauce actual. En otras quebradas como Quisma, Saguachinca e Infiernillo, también se observan dos terrazas antiguas. Una tercera terraza se observa en los cursos medio e inferior de la quebrada Chacarilla, entre 5 y 10 m arriba del cauce.

Los torrentes de fango influyen en la morfología regional desde los abanicos aluviales de las pequeñas quebradas que drenan la alta montaña, hasta las partes más bajas de la Pampa del Tamarugal. El coluvio de las escarpadas laderas jóvenes está en muchos sectores con el máximo ángulo de reposo. Sus detritos forman torrentes de fango al ser arrastrados por las aguas de las precipitaciones hacia el fondo de las quebradas muy pendientes, donde se deslizan hacia la salida. Al alcanzar la quebrada colectora principal se suma a otros torrentes, que en conjunto colman el cauce normal y en algunos lugares más accesibles invaden las terrazas modernas. Observadores han informado que un frente de varios metros de alto avanza a unos 15 Km por hora, con fuerza incontenible. Harrington (1946, p. 155) anota que según testigos de El Volcán (Argentina), los torrentes de fango se deslizan rítmicamente con "saltos" que recorren 5 a 10 m en pocos segundos. La avalancha dura medio día o más (Brügger 1918, p. 29), lapso en que se reducen gradualmente el volumen y la viscosidad. Sobre las terrazas modernas de Chacarilla se han observado lenguas resacas y cuarteadas de la última avalancha, en fangolitas brechosas de distintas granulometrías y colores, que demuestran la existencia de torrentes sucesivos y algo diferenciados. El proceso remata con el paso de aguas gradualmente menos cargadas de material sólido que arrastra los fangos del lecho permanente y erodan el pequeño cañón entre las terrazas más bajas. El depósito final

del fango se efectúa en los conos de deyección, por pérdida progresiva de competencia en el transporte. En el ápice del cono quedan los clastos mayores y donde el abanico se expande mucho se sedimentan los materiales más finos. Algunas avenidas extraordinarias alcanzan con gran fuerza y viscosidad hasta el borde de la Cordillera de la Costa. Se ha observado que en las inmediaciones de la estación Pintados, en pleno ambiente de limos y arcillas, hay esparcidos fenoclastos del tamaño de bloques.

Los cenuglomerados tienen una superficie muy dura, áspera, rugosa y en las localidades donde hay depósitos más finos se observan cuarteados por grietas de desecamiento. Fenoclastos angulosos de todos los tamaños sobresalen entre la matriz de las fangolitas, a la cual se adhieren tenazmente. En los pequeños conos de deyección de la zona montañosa, se observa el último cauce temporario que erró por la superficie de gran pendiente. Los bordes de estos cauces sobresalen más de 1 m sobre la superficie general de los conos, lo que da idea de la gran viscosidad del barro original.

Las rocas deslizadas se observaron en las laderas de la quebrada Chacarilla. Los más extensos depósitos están en el curso superior. En la ladera sur, en las proximidades del eje del sinclinal de Higuieritas, el curso de la quebrada tenía una desviación en curva, algo más al sur que la que hoy se observa. Una erosión fuerte sobre la ladera austral motivó el deslizamiento favorecido por las fangolitas de la formación Chacarilla.

Otra zona de rocas deslizadas se observa a unos 4 Km al sudoeste de las chacras de Chacarilla, en la ladera norte.

El viento tiene mucho menor importancia que el agua en el modelado del paisaje. Sus depósitos más notables son las arenas modernas que cubren grandes áreas de la bajada y de la parte inferior de la montaña. En las mayores alturas las arenas se observan en el fondo de algunas quebradas y en otros lugares abrigados de los vientos. Según Fuenzalida (1956, p. 7), el origen de las arenas se conecta con las áreas de plutonitas de la Cordillera de la Costa no recubiertas por rocas porfíricas. El transporte eólico se efectúa en primer término por ocasionales tormentas de arena que oscurecen la atmósfera hasta 1.000 m de altura sobre el nivel general de la Pampa del Tamarugal. Dos grandes tormentas de arena fueron observadas por los autores en el lapso de trabajo. Fuenzalida ha observado que normalmente los turbulentos vientos de la tarde levantan los granos hasta grandes alturas, en parte por medio de remolinos y trombas verticales; los vientos cesan cuando el sol se pone y los materiales en suspensión se depositan suavemente, enmantando la superficie del terreno. Los autores sugieren que la mayor proporción de la arena de la región de estudio proviene de la Pampa del Tamarugal.

En la región de Pica los vientos diurnos predominantes son del oeste-

sudoeste. El viento y los materiales que transportan originan ondulitas, la abrasión de las rocas o la orientación de las dunas. En los mapas geológicos pueden observarse las filas de dunas, orientadas aproximadamente N 70° E. Según Fuenzalida (*op. cit.*, p. 7), los vientos tienen una dirección predominante diferente en la región de Pica respecto a la Pampa del Tamarugal. Este autor informa que en la Pampa del Tamarugal los vientos son alternantes. Las dunas al norte de Pica (lámina 10) sugieren las influencias de vientos moderados (Lobeck, 1939, p. 383). Estos vientos cruzan Pampa Pica después de ser interceptados parcialmente por el cordón del Longacho. En las divisorias de los faldeos de la montaña se observan dunas longitudinales orientadas paralelamente a la dirección predominante de los vientos. Donde la arena no se monticula en forma de dunas, está explayada sobre amplias colinas transversales a la dirección predominante de los vientos. Las superficies cubiertas con arenas modernas en todas partes están surcadas por ondulitas y con ventifactos recubiertos por la pátina del desierto.

HISTORIA GEOLOGICA

La secuencia de los acontecimientos que componen la historia geológica regional se ha podido establecer con bastante certeza. Sin embargo, la atribución de las edades correspondientes tropieza con las dificultades que surgen del estudio de una región con elementos cronológicos insuficientes. Las formaciones del Jurásico inferior y superior fueron ubicadas cronológicamente en base a sus fósiles, pero a las unidades Cerro Empexa y Altos de Pica les fueron atribuidas edades que sólo pudieron inferirse.

El depósito de una unidad sedimentaria marina liásica (formación Longacho), con ammonites característicos, iniciaría la secuencia regional. En esa época el continente emergía presumiblemente al este de los actuales afloramientos de la formación Longacho.

Del lapso transcurrido entre la sedimentación de estas rocas y las del Jurásico superior hay un desconocimiento completo en la región. Las rocas jurásicas superiores (formación Chacarilla) se depositaron en una superficie sobre la cual la costa del mar avanzaba y se retiraba intermitentemente. Hacia la parte superior de la secuencia el medio ambiente fue continental. El relieve de la región se componía de terrenos bajos y anegadizos donde se acumularon finos materiales clásticos continentales. Sólo un conglomerado medio sugiere la existencia de colinas.

La sedimentación se interrumpió en el Jurásico superior, en que acontecieron dislocaciones de tipo orogénico, acompañadas por penetraciones magmáticas que constituyen, en esta región, el ciclo intrusivo más distribuido. La orogenia creó una montaña plegada que fue denudada con intensidad.

En el Cretácico el relieve fue cubierto total o parcialmente por materiales volcánicos, en parte redepositados, y localmente por sedimentos finos en cuencas endorreicas o tal vez palustres (formación Cerro Empexa). Los materiales ígneos son, casi exclusivamente, rocas extrusivas que en ciertas localidades se observan con grandes espesores.

La orogenia que afectó a las rocas jurásico-cretácicas es la principal de la región. Se manifestó en movimientos de compresión de edad cretácica, tal vez más intensos que los anteriores, que levantaron el relieve a alturas considerables. La denudación posterior fue muy severa, durante un lapso que tentativamente se estima abarcó por lo menos desde el Cretácico al Terciario superior. La erosión descubrió las raíces de la montaña y desgastó el relieve de los grandes aspectos estructurales, en tanto la montaña ascendía. En el Terciario superior y en el Pleistoceno se asentaron depósitos postorogénicos de pie de monte entre los que se intercalaron materiales eólicos y piroclásticos. Esos materiales constituyen una unidad hí-

brida (formación Altos de Pica) con tobas soldadas, producto de un ciclo efusivo de características extraordinarias, en que nubes ardientes o flujos de ceniza cubrieron parte de la montaña y del pie de monte.

En tanto ocurría el ascenso epirogénico, movimientos tensionales del Plioceno o Pleistoceno fallaron levemente la meseta de los Altos de Pica.

La montaña estaba edificada casi tal como se la observa hoy y siguió su ascenso epirogénico, con la erosión consecuente que prosigue en la actualidad. Los depósitos de este ciclo erosivo son aluviales y están construyendo un pie de monte a un nivel relativamente inferior al que se depositó en el Terciario superior y en el Pleistoceno.

Casi en el estado actual del proceso evolutivo de la región, a través de una probable fractura o zona de fracturas de la corteza situada poco al este de la región del estudio y a lo largo de la frontera chileno-boliviana, penetraron andesitas piroxénicas que con otros materiales ígneos construyeron aparatos volcánicos que presentan morfología juvenil.

La región comprendida por el levantamiento geológico no tiene recursos conocidos de minerales o de rocas que en la actualidad (1958) sean industrialmente importantes. La única explotación es la del yeso muy impuro, a unos 3 Km al norte de Pica. Es una industria muy modesta que cubre las limitadas necesidades de la construcción en el pueblo de Pica.

En el transcurso del trabajo de terreno se observaron cateos hechos hace muchos años. En los flancos orientales del sinclinal de Higuieritas, donde cruza la quebrada Higuieritas, existen algunas labores muy pequeñas sobre las rocas de la formación Chacarilla. Las labores se hicieron aparentemente para explorar manifestaciones de cobre. Las áreas mineralizadas no tienen importancia económica.

Las lutitas fisibles carbonosas de la formación Chacarilla fueron cateadas por los pobladores en varios puntos de la quebrada del Carbón, a unos 2 Km al sur de la chacras de Chacarilla. Un ensaye de las lutitas en el laboratorio del Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM), desalienta posibilidades de su utilización industrial.

En el área de invasión de clorita hidrotermal en la formación Longacho, a un kilómetro al sur del cerrito principal, se observaron antiguos cateos de un metro de profundidad. La roca tiene un aspecto cuprífero aunque se trata de una lava gris verdosa muy alterada, con bandas castaño rojizo claras y abundante clorita.

Uno y medio Km al norte de Matilla se explotaron en cantera tobas soldadas gris oscuras del miembro 2 de la formación Altos de Pica. Las tobas fueron usadas con éxito en Matilla como rocas de construcción. Varios ejemplares de las tobas soldadas de los miembros 2 y 4 fueron pulidos en el laboratorio del IIG. Es notable la belleza de estas rocas en sus caras pulidas y ello alienta la posibilidad que puedan ser usadas en el futuro como revestimiento de edificios. En la región de Pica no se ha impuesto el uso de las tobas en la construcción de edificios, a pesar de su fácil laboreo y belleza. Localmente se edifica, sobre todo, con adobes y el material yesífero que se explota al norte de Pica.

La roca yesífera se observa como una costra muy superficial en muchos sectores de la depresión de Pampa Pica, entre la quebrada Seca y Puquio Núñez. Fue muy explotada al sudeste de Pica, hace ya muchos años, y en la actualidad se extrae de una localidad a unos 3 Km al norte del pueblo. A Pica llega en forma de peñascos y allí se muele y tamiza. La más notable de sus cualidades es que fragua rápidamente y eso hizo sospechar un alto porcentaje de yeso. Se usa preferentemente como reboque de las paredes, en

veredas, etc. Un análisis químico efectuado en los laboratorios de IIG revela la siguiente composición en porcentaje:

SiO ₂	20,70	MgO	1,46
Fe ₂ O ₃	1,27	SO ₃	34,35
Al ₂ O ₃	6,08	Na ₂ O	1,02
CaO	26,02	K ₂ O	1,02
		Total:	101,56

Las pérdidas por calcinación son de 9,64 por ciento. En la muestra se puede estimar aproximadamente 58 por ciento de yeso.

Las calizas de Chacarilla no constituyen en la actualidad un yacimiento económico y por ello su explotación ha sido suspendida. La provincia de Tarapacá tiene otros yacimientos de calizas en explotación, económicamente más favorables. Las calizas se exponen en la ladera norte del curso superior de la quebrada Chacarilla, con un espesor explotable de alrededor de 20 m. Los afloramientos se extienden en una dirección este-oeste por unos 3 Km. Acerca de estas calizas existe un estudio económico de Muñoz M. (1953).

RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA

ASPECTOS GENERALES.

La recarga y la descarga del agua subterránea están controladas por el sistema llamado ciclo hidrológico. Dicho sistema se supone un proceso continuo y por convención al describirlo se considera como su primera fase la formación de vapor de agua por evaporación en los océanos, lagos, ríos, plantas, etc. (figura 9). El vapor de agua asciende a la atmósfera y eventualmente se condensa formando nubes. El agua precipita desde las nubes a la superficie de la tierra donde puede experimentar diversos fenómenos a saber: moverse a través de corrientes superficiales hasta los lagos y océanos; ser interceptada por el follaje y evaporada; quedar retenida en el suelo para compensar deficiencias de humedad y posteriormente ser evaporada parcialmente y transpirada por la cubierta vegetal; escurrirse a través del suelo para recargar los acuíferos, etc. El agua que recarga los acuíferos será descargada eventualmente a la superficie por procesos naturales o por medios artificiales, desde donde volverá finalmente a la atmósfera, continuando el proceso sin fin del ciclo hidrológico. El ciclo del agua subterránea se inicia con la penetración del agua a través de la superficie de la tierra y termina con su descarga de los acuíferos.

R E C A R G A .

La velocidad de recarga de los acuíferos está controlada por diversos factores, a saber: las permeabilidades del suelo, del subsuelo y de los materiales litificados; la humedad presente en el suelo con anterioridad a las lluvias o nevadas; la duración e intensidad de las precipitaciones; la topografía; los cambios estacionales relacionados con la disminución o el aumento de la evaporación y la transpiración, y el tipo y densidad de la vegetación. En la región estudiada el clima es extremadamente árido y por esta razón algunos de los factores enumerados tienen una importancia relativa mucho mayor que en climas más moderados. Sobre las zonas más bajas de la región las precipitaciones se producen en forma de lluvias torrenciales, separadas por períodos secos muy prolongados. Durante estos últimos, la humedad del suelo es evaporada casi en su totalidad. Por otra parte, en las zonas más altas de la región la humedad del suelo es reducida por la acción de la evaporación y la transpiración de la vegetación autóctona. Este fenómeno recibe el nombre de evapotranspiración.

El agua de las precipitaciones que se infiltra en el suelo satisface previamente las deficiencias de humedad. En casos extremos la deficiencia de

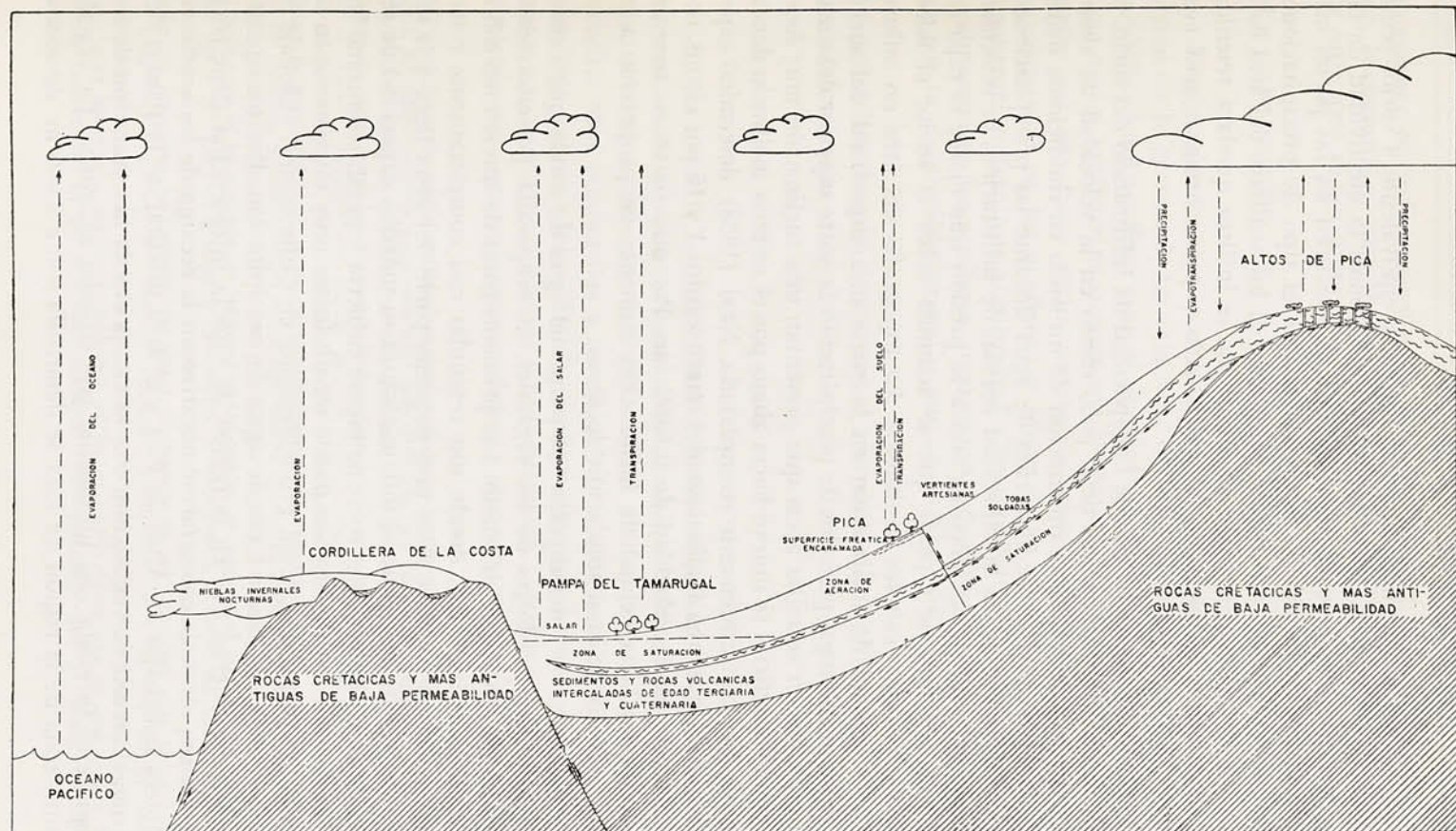


FIGURA 9.- Ciclo hidrológico en la zona central de Tarapacá
 La mayor parte del vapor de agua procede del este, ver el texto página 19, la geología está muy simplificada.

humedad de un suelo puede alcanzar un valor equivalente a varios centímetros de precipitación. Estas premisas condicionan la efectividad de las lluvias torrenciales de corta duración que se producen en las partes más bajas de la región estudiada. Se considera que el tipo de precipitaciones descrito no es efectivo como fuente de recarga de los acuíferos del área baja de Pica, ya que la mayor parte del agua que se infiltra quedará retenida en los intersticios de los materiales del suelo y posteriormente será evaporada.

Si la cantidad de agua excede la capacidad de infiltración del suelo, la intensidad de la precipitación tiene poco efecto en la velocidad de absorción del agua. Capacidad de infiltración de un suelo en condiciones dadas es su velocidad máxima de absorción de agua durante las precipitaciones. Si la precipitación supera la capacidad normal de infiltración, la velocidad de absorción aumenta un poco debido a la presión que ejerce la capa de agua de 1 a 2 mm de espesor que se acumula sobre el suelo; el saldo se moverá hacia los canales de drenaje. La topografía del área no influye sobre la velocidad de infiltración en la parte más superficial del suelo. Cuando ocurren largos períodos de precipitación la parte superior del suelo se satura, salvo en aquellas áreas que presentan una inclinación muy fuerte. El agua superficial se mueve hacia abajo por el terreno inclinado donde la humedad es constantemente reemplazada. Neal (1938) determinó experimentalmente que una inclinación del terreno entre 1 y 16 por ciento, tiene poco efecto en la velocidad de infiltración. Por otra parte, en terrenos subhorizontales la velocidad de infiltración aumenta en proporción a la presión derivada de la acumulación de agua.

Se define como "intercepción" la parte del agua de lluvia que siendo interceptada por las hojas de los vegetales, es evaporada posteriormente sin alcanzar la superficie del suelo. Las primeras gotas de lluvia caen sobre la superficie de las hojas, donde son retenidas casi completamente como gotas o como una película. Sólo una pequeña parte del agua llega a la superficie del suelo, hasta que el follaje alcanza su máxima capacidad de retención de agua. En regiones con una espesa cubierta vegetal, tales como las de Chile austral, la intercepción puede ser un factor muy importante en la efectividad de la precipitación. Probablemente en Chile austral el follaje es capaz de interceptar hasta 1 cm de agua de precipitación. Por otra parte, los autores consideran que en la región de Pica la intercepción tiene poca o ninguna importancia como factor negativo en la recarga de los acuíferos. Los faldeos más bajos de Altos de Pica y el área oriental de la Pampa del Tamarugal carecen de vegetación, con la excepción de la vegetación de los oasis que está formada casi totalmente por especies alóctonas. La vegetación autóctona de la región de Pica se desarrolla sobre 2.600 m de altura

y aumenta, en individuos y especies, con la altitud. En su desarrollo máximo, la comunidad vegetal autóctona consiste en individuos separados unos de otros por suelos desnudos.

M O V I M I E N T O Y D E S C A R G A .

El agua que recarga los acuíferos se mueve a través de las rocas por la acción de la gravedad. La velocidad del escurrimiento depende de la permeabilidad del acuífero y de la pendiente hidráulica. El escurrimiento del agua en los acuíferos es sumamente lento, variando su velocidad desde un metro por año hasta varios metros por día. Las mayores velocidades de escurrimiento en los acuíferos se observan en rocas muy permeables con pendientes hidráulicas acentuadas*. Temporalmente, el agua subterránea se almacena en los acuíferos, pero en último término descarga a la superficie por la circulación natural o por obras hidráulicas artificiales.

EL AGUA SUBTERRÁNEA EN RELACIÓN CON LAS FORMACIONES SEDIMENTARIAS.

F O R M A C I Ó N L O N G A C H O .

En las rocas de la formación Longacho no se han observado vertientes. La perforación Sauquecito (pozo 159) atravesó esta formación desde los 57 m hasta los 162 m sin encontrar un acuífero. Las rocas de la unidad son sedimentitas muy cementadas y tectonizadas, lo que hace suponer que tienen muy baja permeabilidad. La disposición estructural desfavorable de los estratos y su intrusión por rocas ígneas permiten suponer que en ellas el movimiento del agua subterránea debería ser muy restringido. Si en posicio-

*El coeficiente de permeabilidad es una medida de la capacidad de las rocas de transmitir agua. El coeficiente de permeabilidad fue definido por Meinzer (Stearns, 1928) como la cantidad de agua en galones por día, que escurre a través de una sección de un pie cuadrado de área, bajo un gradiente hidráulico de 10 por ciento y a una temperatura de 60° F. Estas unidades son usadas por el usgs (Ground Water Branch). Las unidades de medida usadas en esta definición pueden sustituirse por unidades del sistema métrico. Como la permeabilidad se usa primordialmente en relación con el movimiento del agua en un acuífero en condiciones naturales, deben usarse unidades que tengan un significado lógico para los hidrogeólogos y que puedan ser entendidas fácilmente por los técnicos que trabajan en el suministro de agua. Por tal razón, se sugiere el uso de las unidades: m³ por día y m². Para el gradiente hidráulico se conservaría el valor de 100 por ciento y se adoptaría como temperatura del agua la de 20° C. El coeficiente de permeabilidad se definiría así como la cantidad de agua expresada en m³ por día, que escurre a través de una sección de un m², con un gradiente hidráulico de 1 m por m. El coeficiente expresado en unidades métricas puede convertirse al de las unidades usadas por el usgs (unidades Meinzer), multiplicando por el factor 24,54. A su vez, el coeficiente Meinzer puede convertirse al de unidades métricas, multiplicando por el factor 0,0475 (valor recíproco).

nes topográficas más bajas que las de la serranía del Longacho, se perforasen rocas de la formación Longacho con la finalidad de encontrar agua subterránea, el rendimiento de los pozos probablemente sería menor de 1 lt/seg.

FORMACIÓN CHACARILLA.

Las rocas sedimentarias que constituyen la formación Chacarilla son, en su mayor parte, areniscas finas, fangolitas y lutitas. Parte del área de afloramiento de estas rocas se encuentra a alturas mayores de 3.000 m, y recibe, por lo tanto, precipitaciones suficientes para recargar acuíferos potenciales. No obstante, es muy probable que la recarga de estos acuíferos sea muy reducida porque las rocas que componen la formación son relativamente impermeables y la topografía de los afloramientos produce un escurrimiento superficial muy rápido. La topografía del área en que aflora la formación Chacarilla tiene una inclinación regional al oeste y el escurrimiento del agua subterránea debería ser en esa dirección. Sin embargo, el rumbo general norte de las estructuras mayores de la formación, debería restringir o más probablemente impedir el escurrimiento de las aguas subterráneas al oeste.

Las rocas de la formación Chacarilla no tienen una descarga conocida de agua subterránea, ya sea a través de vertientes o de perforaciones. Se considera, por otra parte, que si bien pueden ellas estar saturadas debajo del nivel general del fondo de las quebradas, el agua de saturación estaría retenida en sus intersticios. Por lo tanto, la velocidad de movimiento del agua subterránea debe ser muy pequeña, tal vez del orden de unos pocos metros por siglo.

De los pozos que eventualmente se perforen en las rocas de esta formación se podrá obtener un rendimiento máximo de fracciones de lt/seg. El nivel estático del agua en los pozos debería estar debajo del nivel del agua del relleno aluvial cuaternario de las quebradas que drenan el área.

FORMACIÓN CERRO EMPExA.

Las rocas de la formación Cerro Empexa son lavas y sedimentitas finas y conglomerados gruesos a finos, muy cementados. Es improbable que las rocas sedimentarias finas puedan constituir una fuente de agua subterránea, por las razones expuestas al considerar las sedimentitas similares de la formación Chacarilla. Los conglomerados de la formación tienen características que sugieren una gran porosidad original. Sin embargo, la litificación actual parece haber obliterado los intersticios en tal

forma que aun las rocas conglomerádicas deben tener porosidad y permeabilidad muy bajas. Se observa que los intersticios de los conglomerados están rellenos por clorita, calcedonia, cuarzo y calcita secundarios. Es probable que la porosidad original, estimada en un 20 por ciento, haya sido reducida a un valor próximo a cero. Por otra parte, es probable que la fracturación haya producido en las rocas de esta formación una porosidad secundaria. Sin embargo, aparentemente, las fracturas no están abiertas hasta gran profundidad, ya que en los contactos entre la formación Cerro Empexa y la subyacente formación Chacarilla, no se han observado vertientes. Finalmente, las condiciones topográficas y la estructura que afectan a las rocas de la formación Cerro Empexa son desfavorables para la acumulación de agua subterránea.

Todas las consideraciones expuestas permiten suponer que de las perforaciones que eventualmente se hicieren en la formación Cerro Empexa, no se obtendrán rendimientos económicos de agua.

FORMACIÓN ALTOS DE PICA.

La formación Altos de Pica es la única formación en que existe agua subterránea en cantidades que tienen alguna importancia económica. La descarga natural o artificial de agua subterránea en el área estudiada proviene de los miembros de la formación Altos de Pica o, en ciertas localidades de los sectores bajos, de acumulaciones más modernas que no ha sido posible diferenciar en los perfiles de las perforaciones. La única excepción es el agua subterránea que escurre a través de los materiales aluviales cuaternarios de la quebrada Chacarilla.

RECARGA.

La recarga de agua subterránea en los acuíferos de la formación Altos de Pica proviene, en su totalidad, de las precipitaciones que reciben las áreas altas situadas al este de la región. Estas áreas, ubicadas a unos 4.000 m de altura media, forman una amplia divisoria de los sistemas de drenaje que escurren al este, hacia el salar del Huasco, y hacia la Pampa del Tamarugal, al oeste.

Como se observa en la figura 5, el promedio de precipitación anual aumenta con la altura, de modo que a 3.000 m alcanza un valor de 100 mm anuales y a 4.000 m, aproximadamente 200 mm. La curva de la precipitación máxima anual también indica un fuerte aumento con la altura y por extrapolación se alcanzarían, a una altura de 4.000 m, aproximadamente 500 mm.

No se han efectuado estudios para determinar la eficiencia con que

la precipitación se convierte en recarga de los acuíferos de Altos de Pica. En Altos de Pica se ha desarrollado muy poco suelo y en muchas áreas el material superficial se compone de arena fina y limo con fragmentos de toba soldada, que han resultado de la meteorización del miembro 4 de la formación Altos de Pica. Uno de los factores que controla la recarga es el espaciamiento y las aberturas del sistema vertical de diaclasas del miembro 4. Como puede verse en los afloramientos, el miembro 4 posee diaclasas verticales fuertemente desarrolladas, formadas posiblemente como consecuencia de tensiones durante el enfriamiento y contracción de las rocas. El ancho de las aberturas de las diaclasas varía desde varios centímetros hasta cero. Si los sistemas de diaclasas del afloramiento se presentan en la misma forma en las rocas no expuestas, la permeabilidad vertical del miembro 4 probablemente es suficientemente alta como para permitir el pasaje del agua de recarga en forma más rápida que lo que permiten las rocas subyacentes. Es probable que en el área de recarga existan estas mismas condiciones en el miembro 2.

Un valor aproximado del monto de la recarga en la formación Altos de Pica puede obtenerse suponiendo una precipitación media de 200 mm para los 400 Km², que se encuentran sobre 4.000 m de altura de la zona más alta y de 100 mm para el área de 600 Km², comprendida entre los 3.000 y 4.000 m de altura. Si un veinte por ciento de la precipitación recargase los acuíferos, puede estimarse que la recarga media sería de unos 4.000 lt/seg.

MOVIMIENTO.

El agua de los acuíferos de la formación Altos de Pica percola a través de ella siguiendo la inclinación al oeste del homoclinal (figura 10). El movimiento del agua en los acuíferos es muy lento y la velocidad es tal vez de unos pocos metros por año. El escurrimiento del agua subterránea desde Altos de Pica hasta la Pampa del Tamarugal tiene, probablemente, una duración de siglos o milenios. Debido al lento movimiento del agua, los períodos de sequía de pocos años de duración tienen poca influencia sobre la recarga media de la formación y, por lo tanto, sobre las vertientes artesianas de Pica.

Es muy probable que el escurrimiento lateral más importante en las rocas de la formación Altos de Pica sea a través de su miembro 1. La inexistencia de vertientes en la base del miembro 3 refuerza esta hipótesis. El escurrimiento hacia el oeste se interrumpe donde las aguas subterráneas encuentran el bloque levantado de la serranía de Longacho que, por estar constituido por rocas antiguas muy poco permeables, actúa como una barrera hidrológica. Esta barrera desvía el movimiento del agua sub-

terránea hacia Matilla y otras áreas bajas cercanas, donde sobrepasa la serranía, semioculta por rocas de la formación Altos de Pica y en forma de cascada subterránea escurre hacia la Pampa del Tamarugal.

DESCARGA.

El agua subterránea de la formación Altos de Pica descarga parcialmente a la superficie por las vertientes, las galerías y los pozos del área de Pica y zonas cercanas. La cantidad de agua así descargada es de aproximadamente 140 lt./seg. Sin embargo, un mayor volumen de agua subterránea de la formación percola hacia los acuíferos de la Pampa del Tamarugal.

La descarga superficial en Pica, Matilla y alrededores tiene los valores aproximados indicados en la tabla 10.

Tabla 10. Descarga superficial de vertientes, galerías y pozos de la región de Pica.

Vertientes	Descarga en lt./seg.	Temperatura en grados C	Galerías	Descarga en lt./seg.	Temperatura en grados C	Pozos	Descarga en lt./seg.
Animas	5,5	32	Buena Esperanza	0,9	22	Chintaguay (Pozo N° 143)	40 +
Concova	9,5	34	Comiña	0,8	24	Irrigación (varios)	5 +
Miraflores	8,0	33	Comiñita	0,5	23	Domicilios	1
Resbaladero	30,0	35	Charcas, Martín	1,0	24	Pampa Esmeralda	5 +
Total:	53,0		El Carmen	2,2	24	Total:	51 +
			El Sauque	7,0	23		
			Espinoza, Fernando	0,5	23		
			Jesús María	2,0	24		
			San Isidro	4,0	24		
			Sta. Rosita	17,0	31		
			Santa Elena	1,3	23		
			Total:	37,2			

Las vertientes de Chacarilla y las galerías de Puquio Núñez y La Carrera descargan, en total, aproximadamente 3 lt./seg.

La descarga por evapotranspiración alcanza probablemente valores muy bajos. La única localidad en que hay vegetación autóctona subirrigada por agua subterránea de la formación Altos de Pica, está situada en el valle aluvial de la quebrada Chintaguay, aguas abajo del Salto Chico y su superficie es de aproximadamente 1 hectárea.

Probablemente un cinco por ciento o menos de la cantidad total de agua que escurre en la formación Altos de Pica descarga en Pica, Matilla y

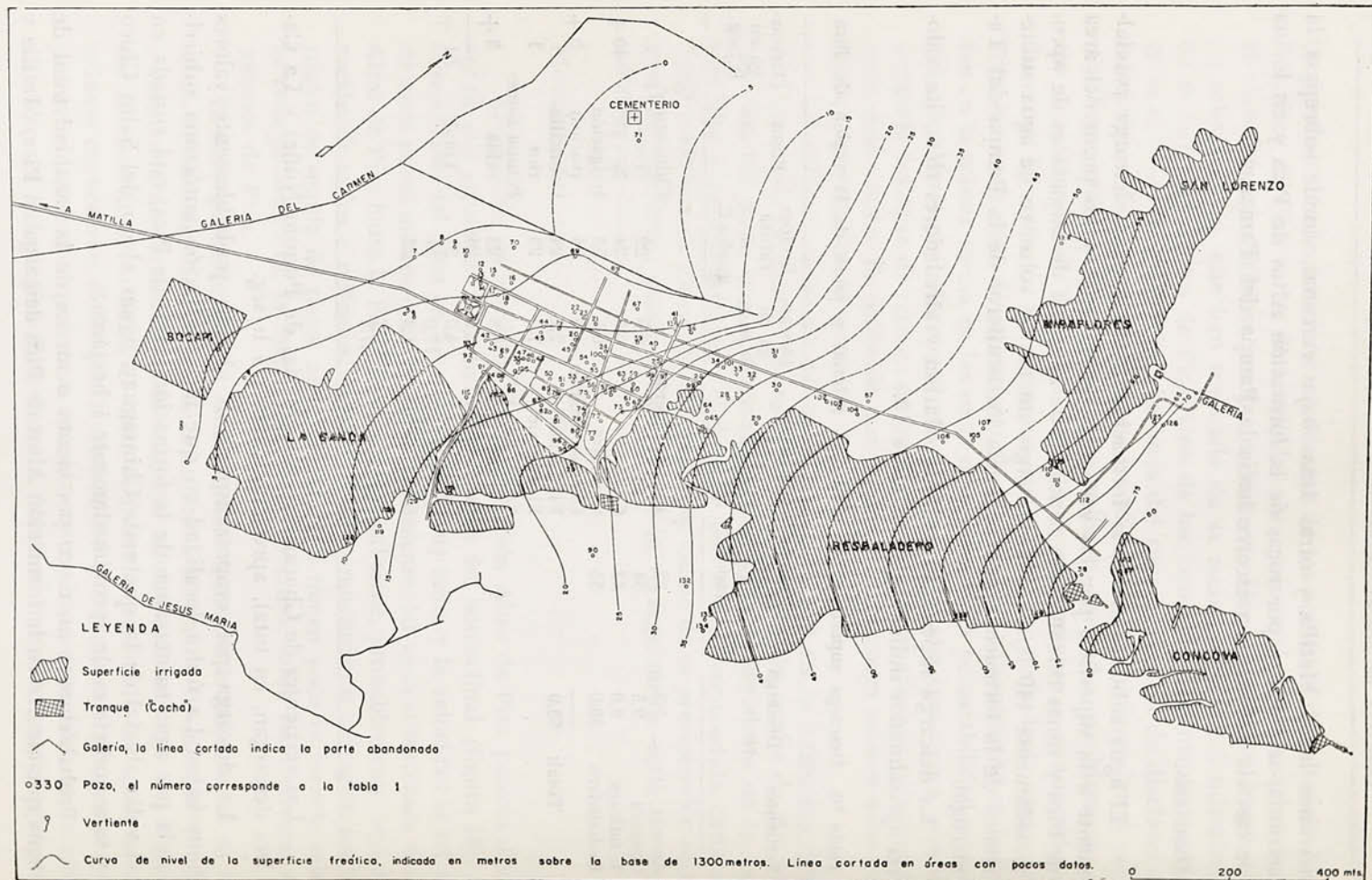


Figura 10.— Mapa de Pico con la ubicación de pozos, vertientes y galerías y con las curvas de nivel de la superficie freática.

alrededores. El resto del agua subterránea continúa hacia la Pampa del Tamarugal.

DESARROLLO Y USO.

Brüggen (1918) realizó un estudio completo sobre el desarrollo y el uso de las aguas de las galerías y vertientes del área de Pica. No obstante los años transcurridos, el estudio de Brüggen es muy informativo, especialmente en lo que se refiere a detalles de la construcción de las obras de captación. Sin embargo, debido al mayor uso del agua subterránea de los últimos decenios, la superficie freática se ha deprimido, lo que ha motivado la construcción de nuevos pozos, la reprofundización de otros y la extensión y profundización de ciertas galerías.

A continuación se describe el desarrollo y el uso del agua subterránea en algunas de las localidades de la región:

La Calera: el oasis de La Calera está situado a 17 Km al norte de Pica. El área plantada es de unas 2 ó 3 hectáreas y se riega con un gasto de aproximadamente 1 lt/seg producido por una galería corta construida en el miembro 5 de la formación Altos de Pica.

Puquio Núñez: se han excavado varias galerías en el miembro 5 de la formación Altos de Pica (Brüggen, 1918), de las cuales sólo una estaba en producción en 1958, con un gasto de aproximadamente 1 lt/seg. Las otras galerías se han derrumbado o han sido cubiertas por las arenas modernas. El área regada se estima en algo más de 3 hectáreas.

Chacarilla: las vertientes de Chacarilla están localizadas en el contacto del miembro 1 de la formación Altos de Pica con la subyacente formación Chacarilla y producen un gasto de aproximadamente 1,5 lt/seg. La superficie cultivada ocupa menos de una hectárea.

Pica: la historia del desarrollo y del uso del agua subterránea en Pica es muy antigua. Antes de la llegada de los conquistadores españoles en 1536, el oasis estuvo ocupado por poblaciones americanas incaicas y tal vez preincaicas. El hallazgo de turba en el pozo N^o 3 (tabla 1) de las chacras de la ex SOCAPI, a unos 15 m de profundidad, sugiere que esta área de vertientes artesianas ha sido un oasis durante miles de años. Según la opinión de los actuales pobladores de Pica, algunas de las galerías fueron construidas en tiempos prehispánicos. Sin embargo, el desarrollo del agua subterránea por medio de galerías es de origen árabe y fue introducido en España por los moros. Probablemente, la más antigua de las galerías de Pica es la irregular galería Matriz, que descarga en el puquio Buena Esperanza.

El agua que descarga en las vertientes de Pica proviene del movimiento subterráneo a través de las rocas sedimentarias del miembro 1 de

la formación Altos de Pica. La descarga de esas aguas a la superficie se debe a un escurrimiento vertical ascendente, a través de fracturas que tal vez están relacionadas genéticamente con la flexura o monoclinal que se extiende en dirección norte, a poca distancia al este del oasis de Pica. El escurrimiento ascendente es causado por presión artesiana, derivada de la posición homoclinal al oeste del acuífero y por la existencia de la barrera hidrológica subterránea que constituyen las rocas poco permeables de la serranía del Longacho. El gran escurrimiento ascendente se explicaría, además, por la existencia de una mayor permeabilidad en la zona de fracturas que en las rocas sedimentarias no fracturadas. Esta suposición se basa en el hecho de que las areniscas, que afloran en la "cocha" Resbaladero, están fuertemente cementadas por sílice. Bajo observación al microscopio de luz polarizada, se determinó que el cemento constituye aproximadamente un 40 por ciento de la roca y que está formado por calcedonia y cuarzo microgranular. El cemento ha sido depositado por el agua subterránea.

Mucho tiempo debe haber transcurrido entre el fracturamiento de las rocas de la formación Altos de Pica, derivado de la flexura, y la descarga a la superficie de las aguas subterráneas con presión artesiana. Probablemente el agua en su escurrimiento vertical ascendente alcanzó la superficie hoy ocupada por el oasis de Pica, después que la cementación disminuyó notablemente la permeabilidad de las areniscas. No obstante, se estima que es muy probable que una parte del agua artesiana que asciende por las fracturas puede escurrir lateralmente hacia el oeste a través de las rocas sedimentarias de los miembros 3 y 5, sin alcanzar a descargar en las vertientes de Pica. Los canales de acceso constituidos por las fracturas pueden haberse mantenido abiertos debido a la ocurrencia de movimientos sísmicos intermitentes en la región.

El agua del oasis de Pica descarga superficialmente a través de cuatro grandes vertientes (tabla 10), y su escurrimiento en parte se facilita mediante galerías subterráneas. La temperatura del agua es aproximadamente de 33° C. Por otra parte, la temperatura del agua de otras galerías y pozos cavados a mano, varía entre 14 y 31° C. Esta agua proviene en parte del sobrante del agua de riego del oasis de Pica, que se infiltra recargando la capa de agua freática. No obstante, se ha observado que la recarga del agua freática no sólo proviene de la infiltración de aguas de riego sino también de "vertientes" subterráneas que no alcanzan la superficie del terreno. Sugieren esta hipótesis varias anomalías observadas en el mapa de la superficie freática y el registro de la temperatura del agua de los pozos domiciliarios de Pica. En efecto, si la recarga proviniese exclusivamente de las aguas de riego, tratándose de una capa de poca

profundidad, su temperatura debiera ser muy aproximada a la temperatura media anual del aire, o sea, de 14° C en Pica.

Entre los años 1916 y 1942 se perforaron aproximadamente 20 pozos en las áreas de Pica y Matilla y en la quebrada Chintaguay. Las profundidades de los pozos varían entre 35 y 320 m. No fue posible comprobar la ubicación de varios de estos pozos en el terreno porque algunos han sido desentubados y los lugares de trabajo han quedado cubiertos por arenas modernas. El único de ellos que se usa actualmente es el pozo N° 143 ubicado en la quebrada Chintaguay. El rendimiento del pozo es de 40 a 50 lt/seg y el agua se destina en su mayor parte a suministrar agua potable a la ciudad de Iquique. Dicho rendimiento es notablemente más alto que el de los otros pozos profundos ya que todos ellos produjeron menos de 5 lt/seg, y la mayor parte de ellos menos de 1 lt/seg.

Aproximadamente en 1952, la Dirección de Riego inició un programa de perforaciones de exploración en Pampa Esmeralda. Dentro de la región topográficamente más baja próxima a Pica, el área de Pampa Esmeralda es, desde el punto de vista hidrológico, probablemente una de las que presenta menos perspectivas para un desarrollo económico de agua subterránea. En efecto, Pampa Esmeralda está situada al oeste de la barrera hidrológica de la serranía del Longacho, constituida por rocas antiguas muy poco permeables. Esta barrera impide, en parte, el escurrimiento hacia el oeste del agua subterránea cuya recarga se produce en la parte alta de Altos de Pica, obstaculizando la recarga de los eventuales acuíferos que subyacen Pampa Esmeralda. Por este motivo, los niveles estáticos se encuentran comparativamente más bajos hacia el oeste de la serranía.

Por otra parte, la serranía del Longacho es un bloque elevado, producido por una gran falla regional ocurrida con anterioridad a la deposición de los sedimentos del pie de monte terciario-pleistoceno de la formación Altos de Pica. Desde edades geológicas pre-Altos de Pica, esa serranía ha controlado la sedimentación en ciertas localidades, entre las que se incluye Pampa Esmeralda. Los sedimentos del subsuelo de Pampa Esmeralda han sido depositados en los bordes de antiguos abanicos aluviales desarrollados al norte y al sur de la serranía y son por este motivo relativamente finos.

Los resultados de este programa de perforaciones han sido económicamente desfavorables y los rendimientos de los 13 pozos varían desde prácticamente cero hasta 15 lt/seg (solamente en uno de ellos).

En Pampa Pica, en un punto situado a unos 10 Km al norte del oasis de Pica, la Dirección de Riego perforó en 1956 el pozo Pampa Brüggén N° 1 (lámina 11). El punto fue seleccionado por ingenieros de la Direc-

ción de Riego en base a prospección sísmica. Al perforarse el pozo se encontró la riolita del miembro 2 a mucho mayor profundidad que la prevista y por esto no se terminó de atravesar. La perforación se abandonó aproximadamente a 325 m, en la roca de la fase de toba soldada riolítica gris oscura, muy coherente, de la porción basal del miembro 2 de la formación Altos de Pica. Durante el período de trabajo de esa perforación, se trató de construir dos pozos de observación de pequeño diámetro, en puntos situados a 100 m del pozo Pampa Brügggen N° 1. Los pozos de observación fueron perforados con una máquina de rotación Sullivan de CORFO, de un alcance máximo de 270 m. El más profundo de ellos fue abandonado a esa profundidad. Los resultados hidrológicos de las dos perforaciones indican que la superficie freática se encuentra en arenisca relativamente cementada y de gran espesor, que sobreyace a las tobas del miembro 2. Estas tobas escurren agua artesiana cuya superficie piezométrica alcanza hasta 10 a 15 m debajo de la superficie del terreno. Los rendimientos de los acuíferos freático y artesiano son muy bajos.

Se efectuó un inventario de los pozos del oasis de Pica, y en base a los datos obtenidos se construyó el mapa de la superficie freática (figura 10). El mapa contiene la ubicación de los pozos visitados y representa, por medio de curvas de nivel, la configuración de la superficie saturada de la primera capa de agua o acuífero freático. Las curvas de nivel son líneas que unen puntos ubicados a igual altura sobre o debajo de un plano horizontal que se toma arbitrariamente como referencia, por ejemplo el nivel del mar. La lectura de un mapa de la superficie freática permite conocer las zonas de recarga y descarga del agua subterránea y la dirección de su escurrimiento. Las zonas de recarga están indicadas por áreas altas, en la superficie freática. La dirección del escurrimiento del agua subterránea es esencialmente perpendicular a las curvas de nivel y en el sentido de la pendiente más fuerte.

En el mapa de la superficie freática de Pica puede observarse que las zonas de recarga coinciden con las áreas regadas del oasis. Una parte del agua de irrigación se infiltra en los suelos de las plantaciones y por gravedad desciende hasta la zona saturada del acuífero freático. Como en el oasis de Pica no existen datos acerca de la evaporación, permeabilidad del suelo, etc., es muy difícil estimar, aunque sea en forma aproximada, el porcentaje de agua de riego que se convierte en recarga del acuífero freático. El acuífero freático del oasis de Pica descarga en parte hacia la galería del Carmen, que fue propiedad de la Tarapacá Water Works, y que se extiende por el borde noroeste del oasis. En el mapa de la superficie freática puede observarse que en este último sector las curvas de nivel están relativamente más próximas entre sí, indicando pen-

dientes más fuertes de la superficie freática. El escurrimiento del agua freática hacia la galería del Carmen es la causa de las profundidades relativamente grandes del nivel del agua en los pozos domiciliarios situados al norte y noroeste del oasis. La observación del mapa de la superficie freática indica, asimismo, que una parte considerable de la descarga del acuífero freático se produce subterráneamente hacia el sur y suroeste del oasis. Esta agua freática descarga artificialmente en los "puquios" situados al oeste de Pica, pero en su mayor parte escapa del área hacia los acuíferos de la Pampa del Tamarugal.

El agua de riego que se infiltra en el suelo para recargar el acuífero freático, adquiere la temperatura de los sedimentos que atraviesa en su descenso. A pocos metros de profundidad la temperatura del agua puede variar entre 14 y 17° C, valores que son aproximadamente los de la temperatura media anual del aire en el oasis de Pica. A mayor profundidad aumenta la temperatura de las rocas, con un incremento que se conoce como gradiente geotérmico y que se expresa en grados por unidades de distancia vertical o en unidades de distancia vertical por grado. En regiones que no están influidas por volcanismo geológicamente reciente, el gradiente geotérmico equivale aproximadamente a 1° C por cada 33 m de profundidad. En la región investigada es posible que el gradiente geotérmico sea algo más alto debido a la actividad volcánica relativamente reciente que se observa en los Andes. Las temperaturas medidas en 1956, en el agua de los pozos Pampa Brüggén N° 1 y en el pozo N° 155, de CORFO, en Pampa Pica, tenían valores de 38° C a 300 m de profundidad, indicando un gradiente geotérmico de aproximadamente 1° C cada 15 m.

En los pozos inventariados en Pica se registró la temperatura del agua en dos oportunidades. El segundo registro se completó en dos días con el objeto de eliminar de los resultados los cambios estacionales de temperatura. La comparación de los datos permite comprobar que el agua de infiltración al descender al subsuelo y alejarse del área de recarga, aumenta su temperatura en 1° C por metro de profundidad. Un gradiente geotérmico de este orden es excepcional y no está de acuerdo con el gradiente regional determinado en pozos profundos de Pampa Pica y otros sondeos de la región. El puede explicarse considerando que el acuífero freático es recargado no sólo por la infiltración de aguas de riego de temperaturas relativamente bajas, sino que también por agua artesiana caliente que escurre a lo largo de fracturas desde gran profundidad. El agua artesiana asciende verticalmente desde por lo menos 200 ó 300 m de profundidad, donde las rocas deben tener temperaturas aproximadas de 35 a 40° C. Probablemente, el escurrimiento vertical es muy rápido en ciertas vertientes como Resbaladero, no permitiendo que el agua adquiera

la temperatura de las rocas que atraviesa y esa sería la razón por la cual se observan temperaturas tan altas. Este fenómeno se observa en pozos surgentes en los cuales no hay descenso apreciable de la temperatura del agua subterránea en el tramo que media entre el acuífero más alto y la superficie del terreno. Por otra parte, si el escurrimiento vertical del agua artesiana del oasis de Pica fuese un movimiento difuso a través de los intersticios de las rocas sedimentarias de la formación Altos de Pica, la lentitud de la percolación y el contacto prolongado con la roca reducirían la temperatura del agua subterránea. En esa forma el agua subterránea alcanzaría la superficie freática o la superficie del terreno con temperaturas que esencialmente corresponderían a la media anual de la localidad.

No es posible actualmente determinar qué proporción de la recarga total corresponde a agua fría, proveniente del agua de riego infiltrada, y qué proporción a agua artesiana caliente. Sin embargo, el aumento rápido de la temperatura del agua con la profundidad, indicaría que la parte de la recarga que proviene de agua artesiana caliente es volumétricamente más importante.

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Las posibilidades de uso del agua subterránea están en relación con sus características químicas. El agua subterránea es un agua natural y como tal contiene en solución elementos químicos combinados extraídos de algunos de los minerales que componen las rocas o los sedimentos a través de los cuales escurre lentamente. El agua subterránea de Pica se emplea en irrigación y en usos domésticos y municipales. En los laboratorios del IIG se analizaron químicamente ocho muestras de agua de pozos, vertientes y galerías, y una de agua superficial. Los resultados se exponen en la tabla 11 y en las figuras 11 y 12.

Los análisis confirman la aptitud del agua subterránea de Pica para la irrigación, ya que el total de sólidos disueltos varía entre 211,6 y 594,1 miligramos por litro. Como lo demuestra la práctica, los sólidos totales están en una proporción tal que representan poco peligro para el depósito de sales sobre suelos irrigados, especialmente considerando la existencia de suelos relativamente permeables en el área. El elemento boro, que constituye un problema en el uso agrícola de las aguas subterráneas de la Pampa del Tamarugal (Castillo, 1960), se encuentra en cantidades de un miligramo por litro o menos. El mayor contenido de boro se determinó en el agua de una vertiente del salar del Huasco, que contenía 1,7 miligramos por litro.

Tabla 11. Análisis químicos de agua de la región de Pica

Nº del análisis	Procedencia	Fecha del muestreo	Sólidos disueltos	Silice (SiO ₂)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Potasio (K)	Bicarbonato (HCO ₃)	Carbonato (CO ₃)	Sulfato (SO ₄)	Cloruro (Cl)	Nitrato (NO ₃)	Boro (B)	DUREZA		
															Total	No carbonatosa	pH
1	Pozo Pampa Esmeralda, N° 5 (MOP) Pozo N° 164 (Tabla 1)	Dic./1957	580 (*)	40	30	5	171	4	253	0	58	146	1	/ (**)	96	0,0	8,0 a 25° C
2	Pozo N° 7, en Pica, de M. Cervellino	Jun./1959	594	45	70	9	107	7	196	/	173	71	15	0,9	213	53	7,1 a 16° C
3	Pozo N° 1 (Tabla 1), en Pica, ex-SOCAPI	Jun./1959	500	46	53	4	101	9	181	0,0	112	69	16	1,0	148	0,0	7,3 a 16° C
4	Pozo N° 103 (Tabla 1), en Pica, de H. Oxa	Jun./1959	415	41	38	1	93	7	154	0,0	83	61	14	0,9	100	0,0	7,2 a 16° C
5	Galería El Carmen, Pica	Jun./1959	237	39	22	1	49	2	101	0,0	43	28	4	0,4	58	0,0	7,2 a 16° C
6	Galería Jesús María, Pica	Nov./1956	544	43	62	5	101	3	163	0,0	138	80	25	/	174	41	8,1 a 20° C
7	Galería Miraflores, Pica	Nov./1956	212	33	20	0,1	46	0,4	95	0,0	35	26	4	/	49	0,0	6,0 a 20° C
8	Vertiente de La Calera	May./1957	2.038	40	108	12	541	6	124	0,0	985	225	60	/	320	219	7,6 a 25° C
9	Agua superficial de la quebrada Chacarilla	Dic./1957	5.531	33	381	132	1.407	71	207	/	982	2.423	0,0	/	1.495	/	7,2

(*) Los valores están expresados en mgr/lit excepto pH.

(**) / no determinado.

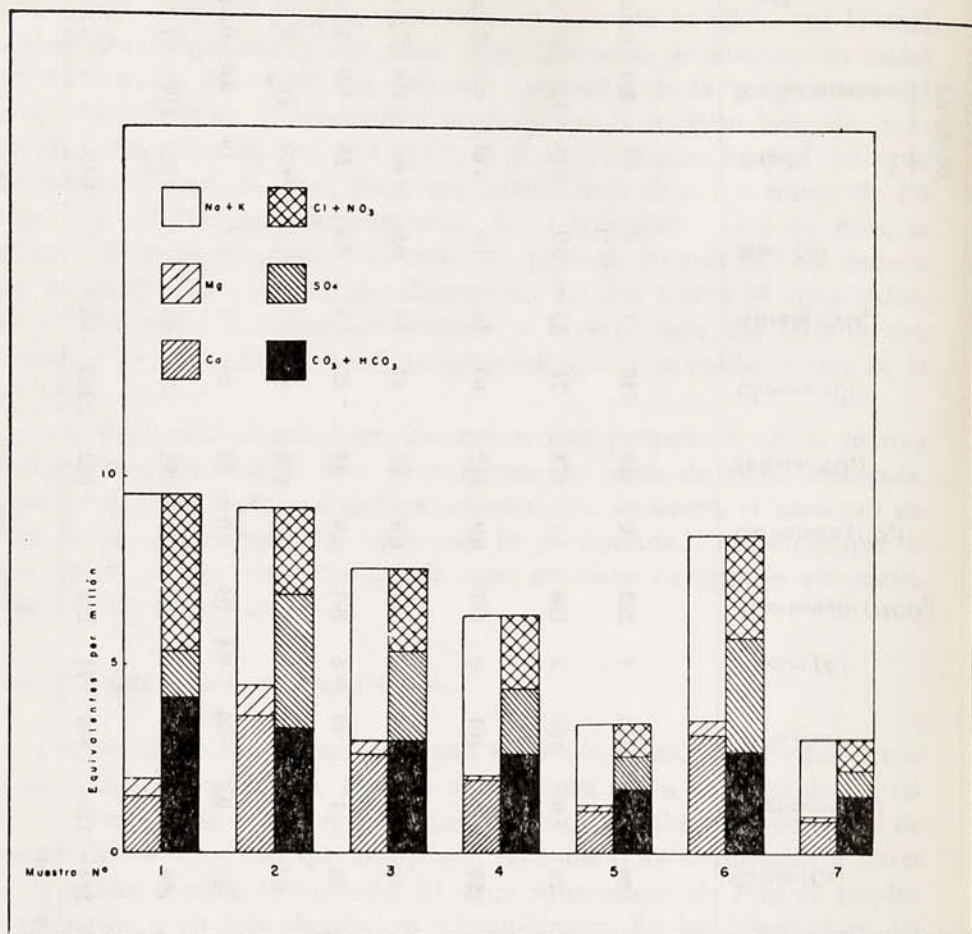


Figura 11.— Análisis químicos de aguas de la región de Pica, representados por barras verticales de equivalentes por millón

Aunque algo dura, el agua subterránea de la región es aceptable desde el punto de vista de su potabilidad. Las aguas duras requieren el uso de más jabón en el lavado. La concentración de nitratos en las muestras 2, 3, 4 y 6 indica la presencia probable de sustancia orgánica. La sustancia orgánica sugiere que existe contaminación bacteriana o polución del agua subterránea por contactos con aguas servidas. En algunas casas de Pica los pozos domiciliarios de uso doméstico y los pozos negros se encuentran a distancias peligrosamente pequeñas, siendo altamente probable una contaminación bacteriana.

Las figuras 11 y 12 ilustran los métodos para representar gráficamente el carácter del agua. La concentración de puntos en la figura 12 indica

que las aguas analizadas tienen un origen similar, probablemente derivado de los acuíferos profundos de la formación Altos de Pica.

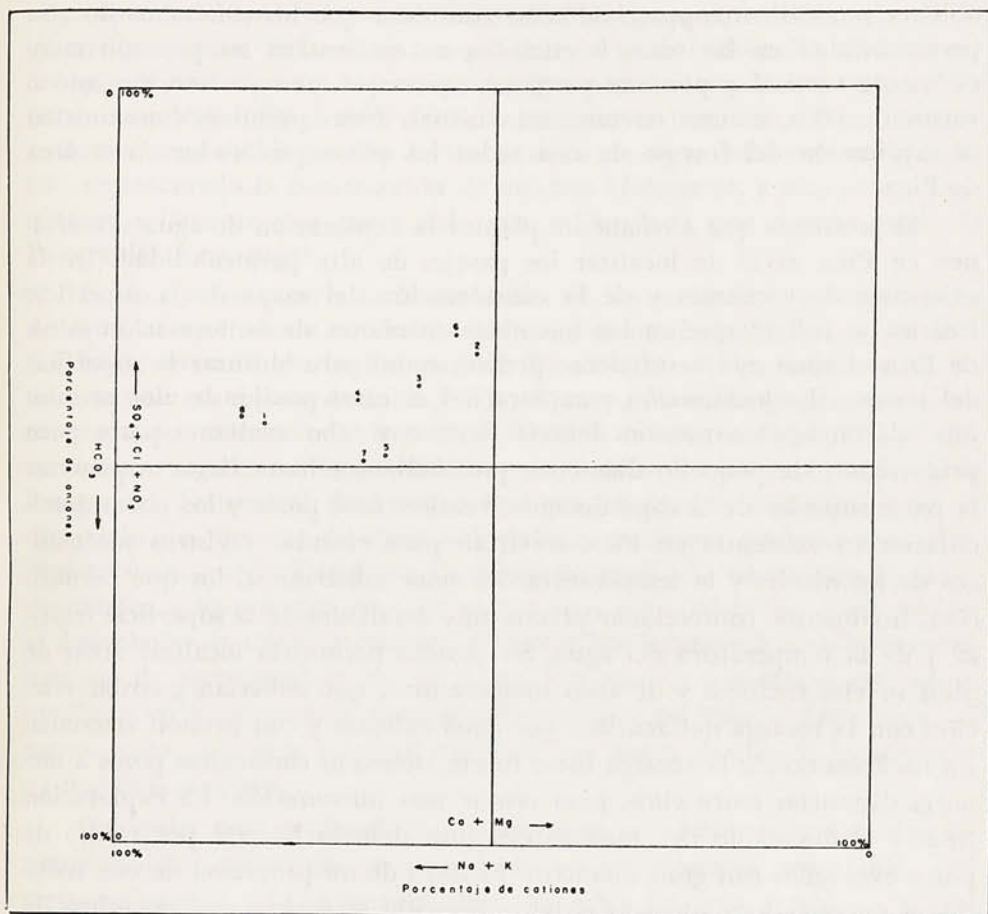


Figura 12.— Diagrama demostrativo del carácter químico del agua subterránea de la región de Pica, en porcentaje de equivalentes totales por millón

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La permeabilidad de la mayor parte de las rocas de la formación Altos de Pica es muy baja. Ello se debe principalmente a la cementación por minerales secundarios que se han depositado en los intersticios de las rocas. El escurrimiento vertical ascendente del agua artesisiana se produce a lo largo de fracturas u otra clase de conductos de alta permeabilidad, en los cuales no se ha producido cementación.

La exploración de agua subterránea en terrenos de estas condiciones

hidrogeológicas presenta grandes dificultades. La perforación de pozos profundos tiene pocas posibilidades de buen éxito, porque implica la intercepción de una de las zonas pequeñas de permeabilidad alta para obtener rendimientos apreciables. Se considera que los conductos de alta permeabilidad en las rocas fracturadas, se encuentran en posición esencialmente vertical y por este motivo atravesar en una perforación uno o varios de ellos, es una circunstancia casual. Estas premisas constituirían la explicación del fracaso de casi todos los pozos perforados en el área de Pica.

El problema que obviamente plantea la exploración de agua subterránea en Pica, es el de localizar los pasajes de alta permeabilidad. De la existencia de vertientes y de la consideración del mapa de la superficie freática se infiere que en los miembros inferiores de la formación Altos de Pica el agua está a suficiente presión como para alcanzar la superficie del terreno. La localización y exploración de estos pasajes de alta permeabilidad con agua a presión debería llevarse a cabo mediante pozos poco profundos y de pequeño diámetro, profundizados hasta llegar a penetrar la parte superior de la capa de agua freática. Esos pozos y los pozos domiciliarios ya existentes en Pica, servirían para efectuar registros sistemáticos de los niveles y la temperatura del agua subterránea, los que permitirían, finalmente, confeccionar planos muy detallados de la superficie freática y de la temperatura del agua. Su estudio permitiría localizar áreas de altos niveles freáticos y de altas temperaturas, que deberían guardar relación con la recarga del acuífero por agua caliente y con presión artesiana. En las áreas donde la recarga fuese fuerte, deberían construirse pozos a menores distancias entre ellos, para reunir más información. La exploración final y el desarrollo del agua subterránea debería hacerse por medio de pozos excavados con gran diámetro. El costo de un programa de esta naturaleza no sería muy elevado si la perforación se hiciese con máquinas livianas de rotación, del tipo usado en la prospección sísmica. Con un equipo apropiado, un perforador podría construir diariamente de 3 a 5 pozos de una profundidad de 25 a 30 m cada uno.

El mapa de la superficie freática indica que una cierta cantidad de agua escurre fuera del área de Pica, hacia el oeste y el suroeste. Los autores consideran que para el máximo desarrollo de los recursos de agua subterránea de Pica debiera interceptarse ese escurrimiento con una galería construida a 1 Km al suroeste de Pica, tangente a las curvas de nivel de la superficie freática, vale decir, en dirección aproximadamente de noroeste a sudeste. Esta orientación está determinada por el escurrimiento del agua hacia el suroeste, permitiendo la máxima intercepción. La galería debería ser exca-

vada en tal forma que su fondo se apoye sobre la arenisca cementada y relativamente impermeable que subyace a los materiales no consolidados.

Mediante la extensión y el profundizamiento de las actuales galerías no se puede obtener el rendimiento máximo porque, a diferencia de la galería propuesta, todas ellas son paralelas a la dirección del movimiento del agua, y por tal razón hay escape de agua por las áreas que se encuentran entre las galerías. En el área de Pica, las galerías han sido un medio muy antieconómico de desarrollo de los recursos de agua subterránea, porque han representado la construcción de muchos kilómetros, a alto costo, para obtener solamente una parte del agua subterránea que escurre hacia la Pampa del Tamarugal.

En lo que respecta a la cementación de los acuíferos y a la presencia de agua en fracturas o conductos, las condiciones hidrológicas en el área del borde oriental de la Pampa del Tamarugal son probablemente las mismas que en el área de Pica. En la primera, sin embargo, las presiones artesianas son menores, la superficie freática es más profunda y los sedimentos son más finos. Estas condiciones naturales del borde oriental de la Pampa del Tamarugal determinan que sea un área desfavorable para el desarrollo de recursos de agua subterránea mediante perforaciones. Las exploraciones que la Dirección de Riego ha realizado en Pampa Esmeralda tienden a apoyar esta tesis, ya que se han perforado unos 3.700 m con el desembolso de miles de escudos, obteniéndose solamente un rendimiento máximo de aproximadamente 15 lt/seg. Los autores consideran que no se justifican económicamente futuras perforaciones en Pampa Esmeralda; al menos hasta que no se empleen métodos que hagan posible la localización de fracturas acuíferas.

Cualquier pozo profundo que intersectara un conducto o una zona de permeabilidad suficiente para producir un rendimiento apreciable, casi ciertamente reduciría la presión artesianas sobre un área extensa, y si este pozo se ubicase cerca de las vertientes de Pica podría reducir el gasto de ellas. Es muy posible que el sondaje con agua surgente de la quebrada Chintaguay ha reducido la descarga de las vertientes de Pica.

En cambio, el uso de la totalidad del agua subterránea del acuífero freático, incluyendo la exploración y desarrollo de las áreas de dicho acuífero que contienen conductos de descarga ascendente, no tendrá ningún efecto sobre las actuales vertientes de Pica. En efecto, el acuífero freático es, esencialmente, un sistema hidráulico distinto del sistema artesianas profundo que alimenta las vertientes. En consecuencia, se insiste en que el modo más rápido y seguro de incrementar la cantidad de agua en el oasis de Pica, consiste en la construcción de una galería de intercepción fuera

del oasis, hacia el suroeste. La explotación de esta galería beneficiaría a toda la comunidad de Pica porque aumentaría considerablemente la cantidad de agua para riego. No obstante, se recomienda que si se realiza este proyecto, los vecinos de Pica y los técnicos a cargo de él, planeen cuidadosamente las obras, en consideración a que la galería de intercepción reducirá o anulará la descarga de aquellas galerías y deprimirá los niveles estáticos de aquellos pozos que estén situados al suroeste del oasis de Pica.

REGISTRO DE POZOS UBICADOS EN LA REGION DE PICA, TARAPACA

Pozo N°	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
1	ex SOCAPI	E. Niemann	1935	1314,88	—	1,5	14,20	Ago. 2/1955	C	Ir	Pozo revestido hasta 14 m. Rendimiento 3,3 lt./seg., medido el 2 de ago./1955.
2	"	B. Cervellino	1953	1315,36	21,1	2,0	16,25	Ago. 2/1955	Pi	Ir	Rendimiento 5 lt./seg.
3	"	—	—	—	21,1	2,1	—	—	—	—	
4	Pedro Cisternas	—	1943	1317,62	13,6	1,0	11,93	Ago. 2/1955	Pi	D	
5	Serv. Nac. de Salud	J. Loyola	1953	1323,76	18,60	1,5	17,30	Oct. 13/1955	C	D	Un bombeo durante 15 min. lo desagota.
6	Jacobina Iguayn	—	—	1324,01	18,60	1,0	17,86	Oct. 13/1955	B y P	D	
7	B. y M. Cervellino	—	—	1322,98	25,00	1,5	23,89	Abr. 20/1956	Pi	Ir	Rendimiento 5,6 lt./seg., medido en abril de 1956.
8	Isabel Mamani	H. Lecaros	1932	1325,60	22,45	1,0	21,45	Oct. 13/1955	B y P	D	Pozo revestido hasta 4 m. de profundidad.
9	Pedro Aracena	—	—	1326,51	22,65	1,0	22,14	Oct. 13/1955	B y P	D	
10	Alejandro Castro	—	—	1327,04	23,30	1,0	22,67	Oct. 13/1955	B y P	D	
11	José Morales	—	—	1327,67	23,42	1,0	23,11	Oct. 13/1955	B y P	D	
12	Pedro Morales	—	—	1328,53	24,62	1,0	24,00	Oct. 13/1955	B y P	D	
13	Víctor Olcay	—	—	1327,37	23,15	1,0	22,90	Oct. 13/1955	B y P	D	
14	Marcial Morales	—	—	1328,02	23,75	1,0	23,44	Oct. 13/1955	B y P	D	
15	Julio Palape	—	—	1329,76	25,80	1,0	25,36	Oct. 13/1955	B y P	D	
16	Tomás Aica	—	—	1330,23	25,85	1,0	24,96	Oct. 13/1955	B y P	D	
17	N. L. de Morales	—	—	1329,67	25,63	1,0	24,30	Oct. 13/1955	B y P	D	
18	Román Palape	—	1940	1330,49	24,90	1,0	24,28	Oct. 13/1955	B y P	D	
19	Timoteo Galeas	—	—	1332,58	22,75	1,0	22,27	Oct. 13/1955	B y P	D	
20	Antonio Chacón	—	—	1333,21	23,40	1,0	22,98	Nov. 12/1955	B y P	D	El nivel estático descendió 1 m. en 9 años.
21	Santiago Cayo	—	—	1334,64	25,55	1,0	24,65	Oct. 13/1955	B y P	D	
22	Narciso Reyes	—	—	1334,43	25,97	1,0	25,77	Oct. 13/1955	B y P	D	
23	Aída Tamborino	—	—	—	26,13	1,0	Seco	Oct. 13/1955	—	—	
24	Luis Aranceda	—	—	1334,63	23,20	1,0	22,80	Oct. 13/1955	B y P	D	
25	Manuela Oxa	—	—	1338,35	19,64	1,0	18,02	Oct. 13/1955	B y P	D	

Pozo Nº	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
26	Patrocinia Amas	—	—	1341,96	—	1,0	14,67	Mar. 7/1956	B y P	D	
27	Matilde Viganó	—	—	1345,68	10,49	—	10,02	Oct. 13/1955	B y P	D	
28	Estado de Chile	—	—	1344,67	10,57	2,0	9,77	Oct. 13/1955	C	M	
29	Timotea Sandoval	—	—	1349,65	13,95	1,5	13,10	Oct. 13/1955	B y P	D	
30	Miguel Leguía	—	—	1348,73	12,77	2,0	11,85	Oct. 13/1955	C	Ir	
31	Oswaldo Oxa	—	—	1346,48	13,34	1,5	12,00	Oct. 13/1955	B y P	D	
32	Ciriaco Colqui	—	—	1345,28	12,80	1,0	11,57	Oct. 13/1955	B y P	D	Pozo revestido hasta 8 m. de profundidad.
33	Prudencio Vilca	—	—	1344,56	12,80	1,0	11,50	Mar. 8/1956	B y P	D	
34	Amas Sucesión	—	—	1343,75	13,60	0,8	13,20	Mar. 29/1956	B y P	D	
35	Miguel Cervellino	—	—	1330,27	18,60	—	17,76	Mar. 8/1956	—	No	
36	Angela Ceballos	—	—	1340,90	29,35	1,5	28,65	Oct. 13/1955	B y P	D	Se informó que el agua es dura.
37	Maximiliano Gómez	—	—	1390,72	13,10	0,8	12,84	Nov. 16/1955	B y P	D	Pozo revestido hasta 6 m. de profundidad.
38	Enrique Medina	—	—	1382,16	6,70	1,0	6,29	Nov. 15/1955	B y P	D	Pozo revestido hasta 3 m. de profundidad.
39	María Bustillos	—	—	1336,66	25,70	0,8	25,16	Nov. 16/1955	B y P	D	
40	Sucesión Julio Castro	—	—	1337,50	25,70	1,0	25,54	Nov. 16/1955	B y P	No	
41	Santos Cayo	Luciano Cáceres	1955	1339,12	32,35	1,0	31,78	Mar. 29/1956	B y P	D	Pozo revestido hasta 18 m. de profundidad.
42	Felipe Mamani	—	—	1328,24	19,00	0,8	18,43	Mar. 29/1956	B y P	D	
43	Alfonso Helena	—	—	1328,59	18,35	1,0	18,14	Feb. 17/1956	B y P	D, A	Pozo revestido hasta 3 m. de profundidad.
44	Tusnela Albornoz	—	—	1331,93	—	1,0	21,40	Mar. 7/1956	B y P	D, A	
45	Leonor Díaz	—	—	1331,58	—	1,0	20,94	Mar. 7/1956	B y P	D	
46	Victor Bustos	—	—	1330,47	—	1,0	18,32	Mar. 7/1956	B y P	D	
47	Herminio Castro	—	—	1330,84	18,55	1,0	18,20	Mar. 7/1956	B y P	D	
48	" "	—	—	1330,60	17,63	0,8	17,61	Mar. 7/1956	B y P	No	
49	Ana Amas	—	1944	1331,96	21,80	1,0	21,01	Mar. 8/1956	B y P	D	
50	Antonio Daponte	—	—	1331,18	18,00	1,0	18,88	Mar. 21/1956	B y P	D	
51	Victor Bustos	—	—	1332,47	19,20	1,0	18,80	Mar. 7/1956	B y P	D	
52	Martín Vilca	—	—	1333,61	20,20	1,0	20,03	Mar. 20/1956	B y P	D	
53	Francisco Saracco	—	—	1333,29	19,55	1,0	19,28	Mar. 20/1956	B y P	D	
54	Ricardo Delgado	—	—	1333,50	21,35	1,0	21,18	Mar. 20/1956	B y P	D	
55	Alfredo Cayo	—	—	1334,23	21,80	1,0	21,09	Mar. 20/1956	B y P	D	

Pozo N°	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
56	Carlota Gómez	—	—	1335,35	16,00	1,2	15,72	Mar. 28/1956	B y P	D	
57	Noel Cayo	—	—	1336,29	12,90	0,9	12,41	Mar. 28/1956	B y P	D	
58	Fructuoso Ayaviri	—	—	1337,06	13,45	1,1	13,12	Mar. 28/1956	B y P	D	El propietario informa que el agua es dura.
59	Rafael Olcay	—	—	1338,02	19,90	0,8	19,28	Mar. 28/1956	B y P	D	
60	Manuel Olcay	—	—	1338,53	15,50	0,8	14,77	Mar. 28/1956	B y P	D	Agua dura.
61	Sara Chacón	—	—	1337,68	13,20	0,6	12,75	Mar. 28/1956	B y P	D	
62	Francisco Centella	—	—	1338,36	14,30	0,9	13,48	Mar. 28/1956	B y P	D	
63	Fermín Gárate	—	—	1337,00	17,90	1,0	17,19	Mar. 28/1956	B y P	D	
64	Rodolfo Toro	—	—	1341,03	7,94	1,5	6,49	Mar. 28/1956	Pi	D, Ir	
65	Rina Toro	—	—	1340,96	9,36	1,5	6,26	Mar. 28/1956	Pi	D, Ir	
66	Gabina Veas	—	—	1341,11	8,14	1,7	7,68	Mar. 28/1956	N	No	
67	Ignacia Galeas	—	—	1336,65	27,95	1,0	27,41	Mar. 29/1956	B y P	D	
68	Municipalidad de Pica	—	—	1336,43	32,00	0,8	31,74	Mar. 28/1956	B y P	D, A	
69	Municipalidad de Pica	—	—	1333,25	29,12	2,5	27,95	Mar. 29/1956	Pi		
70	Rosa Santos	—	—	1330,71	26,41	0,7	25,89	Mar. 28/1956	B y P	D	
71	Municipalidad de Pica	—	—	1332,88	30,15	1,9	30,13	Mar. 28/1956	B y P	D	
72	Pedro Guagama	—	—	1336,78	14,85	1,0	14,83	Mar. 28/1956	B y P	No	
73	Luis Alache	—	—	1337,65	12,95	1,0	12,62	Mar. 28/1956	B y P	D	
74	Tomás Palape	—	—	1335,58	17,54	1,0	17,77	Mar. 28/1956	B y P	D	
75	Rosa Zegarra	—	—	1334,67	19,35	1,0	18,92	Mar. 28/1956	B y P	D	
76	Pablo Palape	—	—	1334,14	19,05	1,2	18,79	Mar. 28/1956	B y P	D	
77	Carabineros de Chile	—	—	1337,82	15,23	1,0	15,02	Mar. 21/1956	B y P	D	
78	Antonio Loayza	—	—	1336,70	15,95	1,0	15,75	Mar. 28/1956	B y P	D	
79	Carmen Zabala	—	—	1330,09	7,89	2,0	7,72	Mar. 28/1956	B y P	D	
80	Mercedes Bustos	—	—	1334,47	15,62	1,0	15,54	Mar. 28/1956	B y P	D	
81	Gabina Veas	—	—	1334,60	18,20	1,0	17,56	Mar. 28/1956	B y P	D	
82	Antonio Herrera	—	—	1334,04	18,09	1,2	17,82	Mar. 28/1956	B y P	D	
83	Victoria Barreda	—	—	1333,94	18,36	1,0	18,08	Mar. 28/1956	B y P	D	

Pozo Nº	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Díámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
84	Carlos Palape	—	—	1333,75	7,90	1,2	—	—	N	No	Pozo derrumbado.
85	Máximo Palape	—	—	1333,34	19,15	1,0	18,74	Mar. 28/1956	B y P	D	
86	Nicolás Palacios	—	—	1329,20	16,57	1,2	15,73	Mar. 28/1956	B y P	D	
87	Herminio Castro	—	—	1356,84	14,80	1,3	13,33	Abr. 20/1956	N	No	
88	Familia Zabala	—	—	1328,05	15,29	1,0	14,85	Mar. 28/1956	B y P	D	
89	Hermanas Ensemeyer	—	—	—	13,75	1,0	—	—	N	No	Pozo derrumbado.
90	Julio Palape	—	—	1340,72	17,95	1,2	17,63	Mar. 29/1956	B y P	D	
91	Felipe Mamani	—	—	1325,48	12,45	1,2	12,09	Mar. 28/1956	B y P	D	
92	Obdulia Palape	—	—	1325,68	15,45	1,2	14,70	Mar. 28/1956	B y P	D	
93	Luisa Ríos	—	—	1326,35	16,00	1,0	15,87	Mar. 28/1956	B y P	D	
94	Leonidas Huatalcho	—	—	1332,84	16,20	1,2	—	—	N	No	Pozo derrumbado.
95	Rómulo Amas	—	—	1334,41	17,68	—	16,42	Mar. 28/1956	B y P	D	
96	Josefa Amas	—	—	1332,94	16,30	1,4	16,16	Abr. 20/1956	B y P	D	
97	Sucesión Mollo	—	—	1339,77	14,74	1,0	14,26	Mar. 28/1956	B y P	D	
98	José Alache	—	—	1338,82	15,06	0,8	14,54	Mar. 28/1956	B y P	D	
99	Eulogio Arapio	—	—	1341,27	13,71	0,8	13,46	Mar. 28/1956	B y P	D	
100	Fernando Barreda	—	—	1333,98	21,96	0,9	21,77	Mar. 28/1956	B y P	D	
101	Sucesión Amas	—	—	1347,37	13,65	0,8	13,14	Mar. 29/1956	B y P	No	
102	Francisco Miranda	—	—	1354,61	14,18	1,0	13,15	Mar. 28/1956	B y P	D	
103	Hugo Oxa	—	—	1356,84	14,46	1,2	14,02	Mar. 28/1956	Ci	D	
104	Dustin Arroyo	—	—	1356,77	13,84	1,2	13,01	Mar. 28/1956	B y P	D	
105	Domingo Vacarello	—	1955	1367,99	15,80	1,2	14,80	Mar. 28/1956	C	D	
106	Enrique Arroyo	—	—	1355,50	14,98	1,1	14,96	Mar. 28/1956	Pi	D	Se informa que el agua es dura.
107	Armando Barreda	—	—	1369,18	16,35	1,2	15,20	Mar. 28/1956	N	No	
108	Armando Barreda	—	—	1375,63	14,35	1,0	—	—	N	—	
109	Armando Barreda	—	—	1378,58	16,94	1,7	14,48	Mar. 28/1956	N	No	Pozo sin agua.
110	Juan Gómez	—	—	1378,35	17,90	0,8	16,18	Mar. 29/1956	B y P	D	
111	Maximiliano Gómez	—	—	1379,28	18,50	0,7	18,18	Mar. 28/1956	B y P	D	
112	Marcos Charcas	—	—	1382,14	14,65	1,3	14,31	Mar. 28/1956	B y P	D	

Pozo Nº	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
113	Alonso Bermúdez	—	—	1390,56	10,15	1,2	9,39	Mar. 28/1956	B y P	D	
114	Gregoria Copa	—	—	1326,12	12,95	1,1	12,46	Mar. 28/1956	B y P	D	
115	Manuel Palacios	—	—	1325,26	12,40	1,2	10,41	Mar. 29/1956	C	D	
116	Italo de Gregori	—	—	1326,50	12,30	1,8	11,39	Mar. 29/1956	Pi	Ir	
117	Italo de Gregori	—	—	—	8,10	1,2	—	—	N	No	Pozo derrumbado.
118	Augusto Amas	—	—	1325,92	12,15	1,0	12,13	Mar. 29/1956	B y P	D	
119	Narciso Rey	—	—	1326,09	16,00	1,0	—	—	N	No	Pozo derrumbado.
120	Hermanos Cervellino	—	—	1320,04	13,05	1,0	11,97	Mar. 28/1956	B y P	D	
121	Irene Robles	—	—	—	16,85	1,2	—	—	—	No	Pozo derrumbado.
122	Italo de Gregori	—	—	1322,09	13,29	2,0	12,52	Mar. 28/1956	B y P	D	
123	María Palape	—	—	1329,66	17,70	1,2	17,43	Mar. 28/1956	B y P	D	
124	Hugo Oxa	—	—	1367,66	17,90	1,5	17,39	Mar. 28/1956	B y P	No	
125	Lucio León	—	—	1387,65	27,82	1,0	26,55	Mar. 28/1956	B y P	D	
126	Sucesión Lema	—	—	1389,45	20,98	1,1	19,43	Mar. 28/1956	B y P	D	
127	Anunciación Oxa	—	—	1388,15	10,33	2,0	8,71	Mar. 28/1956	B y P	D	
128	Hugo Oxa	—	—	1377,61	—	—	3,55	Mar. 27/1956	Pi	D	
129	Antonia González	—	—	1326,18	11,30	1,0	10,50	Mar. 28/1956	C	D, Ir	
130	Estado de Chile	Ernesto Niemann	1930	1461,05	—	6"	41,18	Mar. 29/1956	N	No	
131	Sociedad San Andrés	Ernesto Niemann	—	1352,26	14,00	10"	8,30	Mar. 28/1956	N	No	
132	Gregorio Palacios	—	—	1355,30	21,37	0,7	20,95	Mar. 30/1956	B y P	D	
133	Ramón Amas	—	—	1359,62	22,15	1,2	21,85	Mar. 30/1956	B y P	D	
134	Carlos Soto	—	1947	1359,81	22,60	1,2	21,30	Mar. 31/1956	B y P	D	
135	Ramón Palape	—	1938	1370,75	13,05	1,2	12,10	Mar. 31/1956	B y P	D, Ir	
136	Octavia Pacha	—	—	—	33,20	1,0	32,85	Mar. 31/1956	N	Ir	
137	Gobierno de Chile	—	1917	1420	265	16" a 8"	Sur- gente	ca. 1917	N	No	Pozo Nº C (MOP), abandonado y destruido.
138	Gobierno de Chile	—	1919	1420	110	? a 5½"	28	ca. 1920	N	No	Pozo Nº D (MOP), aband. y destruido. Se informó que el nivel del agua subió hasta 5 m. debajo de la superficie, cuando se instaló la tubería. Rendimiento 1 lt/seg.

Pozo Nº	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
139	Gobierno de Chile	—	1922	1350	320	—	Surgente	ca. 1922	N	No	Pozo Nº E (MOP), abandonado. Rendimiento 4 lt/min.
140	Gobierno de Chile	—	1926	1312	65	—	Surgente	1926	N	No	Pozo Nº G (MOP), abandonado. Rendimiento informado 4 lt/seg.
141	Gobierno de Chile	—	1926	1305	181	—	Surgente	1926	N	No	Pozo Nº H (MOP), abandonado. Rendimiento informado 5 lt/seg.
142	Gobierno de Chile	—	1926	1303	64	—	Surgente	1926	N	No	Pozo Nº I (MOP), abandonado. Rendimiento informado 2,5 lt/seg.
143	Gobierno de Chile	—	1928	1289	35	12"	Surgente	1928	N	M	Pozo Nº J (MOP). Rendimiento aproximado 44 lt/seg. Se usa en Iquique como agua potable.
144	Gobierno de Chile	—	ca. 1930	—	50	—	40,40	ca. 1930	N	No	Pozo Nº M (MOP), abandonado. Rendimiento informado 0,7 lt/seg.
145	Gobierno de Chile	—	1931	—	131	—	39	1931	N	No	Pozo Nº N (MOP), abandonado. Rendimiento informado 2 lt/seg.
146	Gobierno de Chile	—	1936	1213	200	10" a 6"	Surgente	1936	N	No	Pozo Nº O (MOP), abandonado. Rendimiento informado 1 lt/seg.
147	Gobierno de Chile	—	1937	1208	295	10" a 6"	Surgente	1937	N	No	Pozo Nº P (MOP), abandonado. Rendimiento menor de 1 lt/seg.
148	Gobierno de Chile	—	1939	1470	100,2	16" a 6"	41,40	1939	N	No	Pozo Nº L (MOP), abandonado. Rendimiento informado 35 lt/seg.; el acuífero es la toba soldada riolítica gris oscura del miembro 2 de la formación Altos de Pica, que está entre 76,6 y 81 m. de profundidad.

Pozo N°	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
149	Gobierno de Chile	—	—	1453	50,7	—	26,20	—	N	No	Pozo N° Q (MOP), abandonado.
150	Gobierno de Chile	—	—	—	77	—	59,95	—	N	No	Pozo N° R (MOP), abandonado. Rendimiento 2,5 lt/min.
151	Gobierno de Chile	—	—	1459	54	8" a 6"	40,6	—	N	No	Pozo N° S (MOP), abandonado.
152	Gobierno de Chile	—	—	—	81,1	—	—	—	N	No	Pozo N° T (MOP), abandonado.
153	Gobierno de Chile	Manuel Rodríguez	1957	—	325	12"	173	—	N	No	Pampa Brünnen N° 1 (MOP), abandonado y destruido. Rendimiento menos de 1 lt/seg.
154	Gobierno de Chile	V. Moris	1956	—	270	4"	—	—	N	No	Pampa Pica N° 1 (CORFO), abandonado y destruido.
155	Gobierno de Chile	V. Moris	1956	—	90	4"	—	—	N	No	Pampa Pica N° 2 (CORFO), abandonado y destruido.
156	Gobierno de Chile	D. Meneses N. Plaza	1959	—	398	10" a 14"	100	1959	N	No	Chacarilla N° 1 (MOP), abandonado, rendimiento insignificante.
157	Gobierno de Chile	—	1916	1352	52,2	—	48,90	1916	N	No	Pozo N° A (MOP), cerca de Puquio Núñez, pozo cavado a mano.
158	Gobierno de Chile	—	1916	1205	52,3	—	11,60	1916	N	No	Pozo N° B (MOP), en Puquio Núñez, abandonado.
159	Gobierno de Chile	A. Meneses	1958	1300	162	14"	14,20	1960	N	No	Sauquecito N° 1 (MOP), rendimiento 0,25 lt/seg.
160	Gobierno de Chile	—	ca. 1953	—	448	—	—	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 1 (MOP), abandonado.
161	Gobierno de Chile	—	ca. 1953	—	178	—	—	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 2 (MOP), abandonado.

Pozo N°	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
162	Gobierno de Chile	—	ca. 1954	—	226	—	—	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 3 (MOP), abandonado (poco al oeste y fuera del cuadrángulo Pica).
163	Gobierno de Chile	—	ca. 1954	—	350	—	32	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 4 (MOP), abandonado.
164	Gobierno de Chile	H. Gómez	1955	—	380	12"	28	1960	N	No	Pampa Esmeralda N° 5 (MOP), abandonado.
165	Gobierno de Chile	—	ca. 1954	—	235	—	—	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 6 (MOP), abandonado.
166	Gobierno de Chile	L. Torrepa y M. Rodríguez	1955	—	361	10" y 14"	41,50	1956	N	No	Pampa Esmeralda N° 7 (MOP), abandonado. Rendimiento 1 lt/seg.
167	Gobierno de Chile	G. Juschkewitz	1956	—	486	10" y 12"	45	1957	N	No	Pampa Esmeralda N° 8 (MOP), abandonado. Rendimiento 1 lt/seg.
168	Gobierno de Chile	H. Gómez	1955	—	312	12"	47	1956	N	No	Pampa Esmeralda N° 9 (MOP), abandonado. Rendimiento 0,5 lt/seg.
169	Gobierno de Chile	—	ca. 1955	—	—	—	—	—	N	No	Pampa Esmeralda N° 10 (MOP), abandonado (no está indicado en los mapas).
170	Gobierno de Chile	C. Olivares M. Rodríguez	1956	—	315	10" y 16"	23	1960	C	Ir	Pampa Esmeralda N° 11 (MOP). Rendimiento 8 lt/seg.

Pozo Nº	Propietario	Perforador	Fecha terminación	Altura m.s.n.m.	Profundidad del pozo en metros	Diámetro del pozo en metros	Espejo del agua en metros debajo de la superficie del terreno	Fecha del registro	Método de elevación del agua	Uso del agua	Observaciones
171	Gobierno de Chile	A. Meneses	1957	—	150	10"	16	1957	C	Ir	Pampa Esmeralda Nº 12 (MOP). Rendi- miento 6 lt/seg.
172	Gobierno de Chile	A. Meneses	1960	—	93	10"	35	1960	C	Ir	Pampa Esmeralda Nº 13 (MOP). Rendi- miento 15 lt/seg.

C = Bomba centrífuga.

Pi = Bomba a pistón.

B y P = Balde y polea.

N = No tiene.

A = Animales.

Ir = Irrigación.

D = Doméstico.

M = Municipal.

No = No se usa.

ABSTRACT

The area of this report includes four 15-minute quadrangles covering parts of the western slopes of the Andes and the eastern border of the Pampa del Tamarugal, Chile. The sedimentary and volcanic rocks in the area include the Longacho, Chacarilla, Cerro Empexa, Altos de Pica formations, and the Quaternary and Recent deposits. They range in age from early Jurassic to Recent.

The Longacho formation of Jurassic (Liassic) age consists of fossiliferous marine shales with *Arietites*, intercalated with gray well-stratified mudstones, fine-grained sandstones, and limestones. The exposed section of this formation is approximately 150 m (meters) in thickness, however, the base of the formation is covered and the upper surface is eroded.

The Chacarilla formation of Jurassic (Malm) age is of marine and continental origin and is composed of well stratified reddish-gray and greenish-gray shales, mudstones, sandstones, and lavas. The base of the formation is not exposed and the top of the formation has been strongly eroded so that the total thickness is unknown. The formation contains a few marine fossils, fragments of fossil plants, and dinosaur tracks tentatively identified as having been made by *Tyrannosaurus*, *Allosaurus*, *Iguanodon*, and *Stegosaurus*.

The Cerro Empexa formation of Cretaceous age, is separated from the Chacarilla formation by an angular unconformity. The upper and lower of the three members of the formation are lithologically very similar and are composed of lavas and reddish-gray conglomerates and breccias, the fragments of which are almost entirely of volcanic origin. These members were deposited under continental conditions of high relief and during a period of intense volcanic activity. The intermediate member is formed of well stratified grayish-red, fine-grained sandstones and mudstones in which a discontinuous bed of gypsum occurs in some areas. The measured thickness of the formation from its base to the eroded upper surface was found to be 600 m.

The Altos de Pica formation of Late Tertiary-Pleistocene age is of continental origin and rests with marked angular unconformity on the older formations of the area. The formation includes three sedimentary members consisting of piedmont detritus and eolian deposits and two volcanic members composed of rhyolitic welded tuffs. The cumulative thickness of the five members as measured in the type localities is 735 m, but the thickness of the formation increases downdip toward the west.

The sedimentary units underlying the Altos de Pica formation are intruded by plutonic rocks and dikes including granodiorites, granites, to-

nalites, diorites, gabbros, aplitic microsyenites, syenite porphyries, granite porphyries, dacites, trachytes, and andesites. The ages and relations of the intrusions have been only partially determined but the largest intrusive masses are believed to be of Late Jurassic age.

The Quaternary sediments of greatest extension are in alluvial fans and wind-blown sands, that are now contributing to the filling of the Pampa del Tamarugal.

Angular unconformities indicate two orogenic epochs. The first occurring at the end of the Jurassic period and the second, which was more intense, during the Cretaceous. Intense folding and thrust faulting were produced during both epochs by strong horizontal compressional forces. The major faults and fold axes of the area are oriented in a northerly direction.

The only formation in the area capable of yielding moderate to large quantities of ground water is the Altos de Pica formation. Most of the approximately 140 liters per second now discharged from this formation to the surface is obtained from springs, galleries, and one flowing well. The movement of ground water down dip through the formation is blocked by the fault along the east side of Cerro Longacho, which diverts the westward moving water to the south. In the vicinity of Pica the ground water moves upward through fractures in the Altos de Pica formation, as the sedimentary members are cemented by silica and have relatively low overall permeability. The localization of ground water in these fractures greatly reduces the possibility of obtaining wells with good yield. The history of well drilling in the area shows that only one good well has been obtained in approximately forty attempts.

BIBLIOTECA NACIONAL

26 SET. 1962

Secc. Control y Cat.

REFERENCIAS

- AHLFELD, F., 1941. *Los yacimientos minerales de Bolivia*. Dirección General de Minas y Petróleo, La Paz, Bolivia.
- 1946. *Geología de Bolivia*. Extracto de la Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología, tomo 3, p. 3-370, La Plata, Argentina.
- 1954. *Los yacimientos minerales de Bolivia*. Imprenta Industrial S. A., Bilbao, España.
- 1956. *Bolivia, en Handbook of South American Geology — An explanation of the Geologic Map of South America*. The Geological Society of America, memoir 65, p. 167-186, New York, EE. UU. de A.
- ALMEYDA A., E., sin fecha. *Pluviometría de las zonas del desierto y las estepas cálidas de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago.
- BERTRAND, A., 1885. *Memoria sobre las Cordilleras del Desierto de Atacama i rejonnes limitrofes*. Santiago, Imprenta Nacional.
- BIESE, W., 1954a. *Informe sobre el yacimiento de caliza "Santa Rosa Oriente", Iquique*. Corporación de Fomento de la Producción, inédito, Santiago.
- 1954b. *Ampliación del Informe del 27 de febrero de 1954 sobre el yacimiento de caliza "Santa Rosa Oriente", Iquique*. Corporación de Fomento de la Producción, inédito, Santiago.
- 1954c. *El Jurásico de Iquique*. Corporación de Fomento de la Producción, inédito, Santiago.
- 1955. *Informe Preliminar sobre el Jurásico de Iquique*. Corporación de Fomento de la Producción, inédito, Santiago.
- BOWMAN, I., 1909. *The Physiography of the Central Andes*. American Journal of Science, Fourth Series, vol. 28, Nº 165, p. 197-217, Nº 166, p. 373-402, New Haven, EE. UU. de A.
- 1916. *The Andes of Southern Peru*. The American Geographical Society of New York, New York, EE. UU. de A.
- 1924. *Desert Trails of Atacama*. The American Geographical Society of New York, New York, EE. UU. de A.
- BRÜGGEN, J., 1918. *Informe sobre el agua subterránea de la rejión de Pica*. Sociedad Nacional de Minería, Santiago.
- 1946. *Geología y morfología de la Puna de Atacama*. Imprenta Universitaria, Santiago.
- 1950. *Fundamentos de la geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- CASTILLO, U., O., 1960. *El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 5, Santiago.
- CECIONI, G. O., y GARCÍA, F., 1960. *Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 6, Santiago.
- DECAT, J., 1931. *Informe sobre el reconocimiento geológico de la provincia de Tarapacá, teniendo en vista la posibilidad de encontrar petróleo y agua*. Dirección de Obras Públicas, tomo 441, inédito, Santiago.
- DOUGLAS, J. A., 1914. *Geological Sections through the Andes of Peru and Bolivia. I. From the Coast of Arica in the North of Chile to La Paz and the Bo-*

- livian "Yungas". Quarterly Journal of the Geological Society, tomo 70, London, Inglaterra.*
- ENLOWS, H. E., 1955. *Welded Tuffs of Chiricahua National Monument, Arizona.* The Geological Society of America Bulletin, vol. 66, Nº 10, p. 1215-1246, New York, EE. UU. de A.
- FELSCH, J., 1917. *Informe sobre el reconocimiento geológico de los indicios de petróleo en la provincia de Tarapacá.* Boletín de la Sociedad Nacional de Minería, año 34, vol. 29, serie 3, p. 317-332, Santiago.
- 1920. *El agua en la pendiente occidental de la Cordillera Real entre la quebrada de Huatacondo i la quebrada de Tarapacá.* Boletín Minero de la Sociedad Nacional de Minería, año 37, vol. 32, serie 3, p. 469-485, 582-597, 629-653, Santiago.
- 1921. *Indicios de petróleo en capas del Calloviano-Yurásico superior, en la quebrada de Chichaja, en la falda occidental de la cordillera de la provincia de Tacna.* Boletín Minero de la Sociedad Nacional de Minería, año 37, vol. 23, serie 3, p. 181-191, Santiago.
- 1933. *Informe preliminar sobre los reconocimientos geológicos de los yacimientos petroleros en la cordillera de la provincia de Antofagasta.* Boletín de Minas y Petróleo, tomo 2, p. 411-422, Santiago.
- FENNER, C. N., 1940. *Geología de los alrededores de Arequipa.* Revista de la Universidad de San Agustín de Arequipa, p. 170-206, Arequipa, Perú.
- 1948. *Incandescent Tuffs Flows in Southern Peru.* The Geological Society of America Bulletin, vol. 59, p. 879-893, New York, EE. UU. de A.
- FRENGUELLI, J., 1936. *Investigaciones geológicas de la zona salteña del valle de Santa María.* Museo de La Plata, Obra del Cincuentenario, tomo 2, p. 215-572, Buenos Aires, Argentina.
- FUENZALIDA, H., 1956. *Informe sobre las condiciones geomorfológicas del desierto del norte de Chile.* Inédito, Santiago.
- GALLI, O., C., 1956. *Nota sobre el hallazgo del Paleozoico superior en la provincia de Tarapacá.* Minerales, año 11, N.os 53-54, p. 30-31, Santiago.
- 1957. *Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, sector de Pica, Tarapacá.* Minerales, año 12, Nº 56, p. 14-26, Santiago.
- GEORGE, W. O., 1924. *Relation of the Physical Properties of the Natural Glasses to their Chemical Composition.* Journal of Geology, vol. 32, p. 353-372, Chicago, EE. UU. de A.
- GROEBER, P., 1918. *Estratigrafía del Dogger en la República Argentina.* Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín Nº 18, Buenos Aires, Argentina.
- HARRINGTON, H. J., 1946. *Las corrientes de barro ("mud flows") de "El Volcán", quebrada de Humahuaca, Jujuy.* Revista de la Asociación Geológica Argentina, tomo 1, p. 149-165, Buenos Aires, Argentina.
- 1961. *Geology of Parts of Antofagasta and Atacama Provinces, Northern Chile.* American Association of Petroleum Geologists, vol. 45, Nº 2, p. 169-197, Tulsa, EE. UU. de A.
- HAUSEN, H., 1939. *Outlines on the Magmatic Geology of the Puna de Atacama.* Physis, tomo 14, Nº 46, p. 163-170, Buenos Aires, Argentina.

- HOFFSTETTER *et al.*, 1957. *Lexique Stratigraphique International*. Comisión de Estratigrafía del Congreso Geológico Internacional, vol. 5, América Latina, fascículo 7, Chile; París, Francia.
- IDDINGS, J. P., 1909. *Igneous Rocks*. New York, John Wiley and Sons, EE. UU. de A.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS, 1960. *Mapa geológico de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- JENKS, W. F., 1945. *Notas acerca de la geología de la región de Arequipa*. Arequipa, Perú.
- 1948. *Geología de la Hoja de Arequipa*. Dirección de Minas y Petróleo, Boletín N° 9, Lima, Perú.
- KLOHN, C., 1956. *Estado actual del estudio geológico de la "Formación Porfirítica"*. *Minerales*, año 11, N° 55, p. 49-60, Santiago.
- KULP, J. L., 1959. *Geological Time Scale*. Geological Society of America Bulletin, vol. 70, p. 1634, (Abstract), Washington, EE. UU. de A.
- LACROIX, A., 1904. *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Académie des Sciences, París, Francia.
- LOBECK, A. K., 1939. *Geomorphology*. New York and London, McGraw-Hill, EE. UU. de A.
- MARSHALL, P., 1935. *Acid Rocks of the Taupo-Rotorua Volcanic District*. New Zealand Institute: Transactions and Proceedings, vol. 64, p. 323-375. Nueva Zelanda.
- MORTENSEN, H., 1927. *Der Formenschatz der Nordchilenischen Wüste*. Abhandlungen Ges. Wissensch. zu Göttingen, tomo 12, Göttingen, Alemania.
- MUÑOZ C., J., 1950. *Geología en Geografía Económica de Chile*. Corporación de Fomento de la Producción, capítulo 3, p. 55-187, Santiago.
- MUÑOZ M., E., 1953. *El yacimiento de mármol de Chacarilla, Iquique*. Departamento de Minas y Combustibles, 1-B, Iquique N° 1, inédito, Santiago.
- MUÑOZ R., J., 1950. *El petróleo en el Departamento de La Paz (Bolivia)*. Boletín del Instituto Sudamericano del Petróleo, vol. 3, N° 3, Montevideo, Uruguay.
- NEAL, J. H., 1938. *The Effect of the Degree and Rainfall Characteristics on Runoff and Soil Erosion*. University of Missouri Research Bulletin 280, EE. UU. de A.
- NIEMEYER, H., 1960. *Estudio de desviación del río Piga (Provincia de Tarapacá) 1958-60*. Dirección de Riego (MOP), Santiago.
- OJEDA, S., 1945. *Regadio de Matilla*. Ministerio de Obras Públicas, tomo 441, inédito, Santiago.
- PETTIJOHN, F. J., 1957. *Sedimentary Rocks*. New York, Harper and Brothers, EE. UU. de A.
- PHILIPPI, R. A., 1899. *Los fósiles secundarios de Chile*. Gobierno de Chile, Santiago.
- PUELMA, R., 1855. *Apuntes geológicos i geográficos sobre la provincia de Tarapacá en el Perú, acompañados de una ligera noticia sobre la explotación del nitrato de soda*. Anales de la Universidad de Chile, p. 667-673, Santiago.
- RUIZ, C. *et al.*, 1960. *Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos. Con una discusión acerca de su relación con la orogénesis*. Instituto de

- Investigaciones Geológicas, Boletín N^o 7, Santiago.
- STEARNS, N. D., 1928. *Physical properties of water-bearing materials*. U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 596, p. 144-147, Washington, EE. UU. de A.
- SUNDT, L., 1909. *Estudios geológicos i topográficos del Desierto i Puna de Atacama*. Sociedad Nacional de Minería, vol. 1, Santiago.
- TAYLOR, G. C., 1947. *Ground water studies in Tarapacá Province*. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago.
- VILELA, C. R., 1953. *Los períodos eruptivos en la Puna de Atacama*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, tomo 8, N^o 1, p. 5-36, Buenos Aires, Argentina.
- WEAVER, Ch. E., 1931. *Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina - Memoir of the University of Washington*. Vol. 1, Seattle, Washington, EE. UU. de A.



Lámina 1. Discordancia angular entre las formaciones Chacarilla y Altos de Pica.
en el faldeo sur de quebrada Chacarilla



Lámina 2. Conjunto de huellas de dinosaurios en la formación Chacarilla, quebrada Chacarilla



Lámina 3. Detalle de huellas grandes mostradas en lámina 2

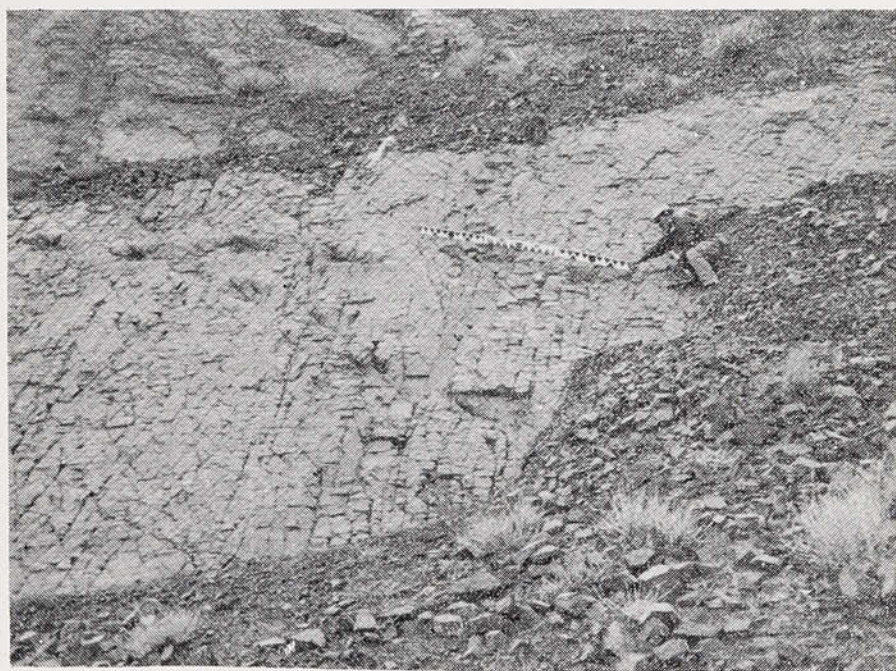


Lámina 4. Huellas de dinosaurios en una segunda localidad de quebrada Chacarilla. La mira mide 2 m de largo



Lámina 5. Detalle de huellas grandes mostradas en lámina 2

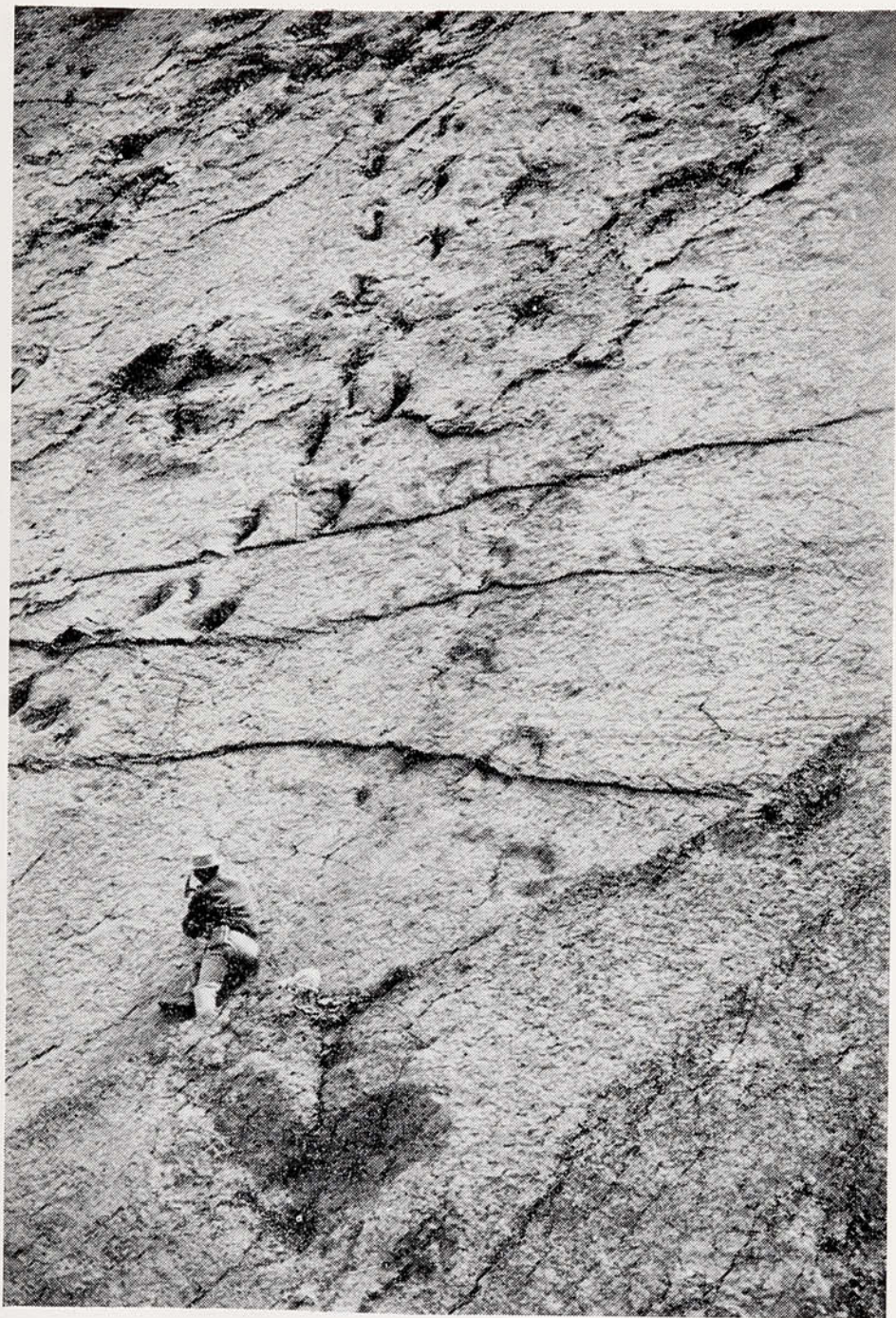


Lámina 6. Detalle de huellas curvas mostradas en sección superior de lámina 2

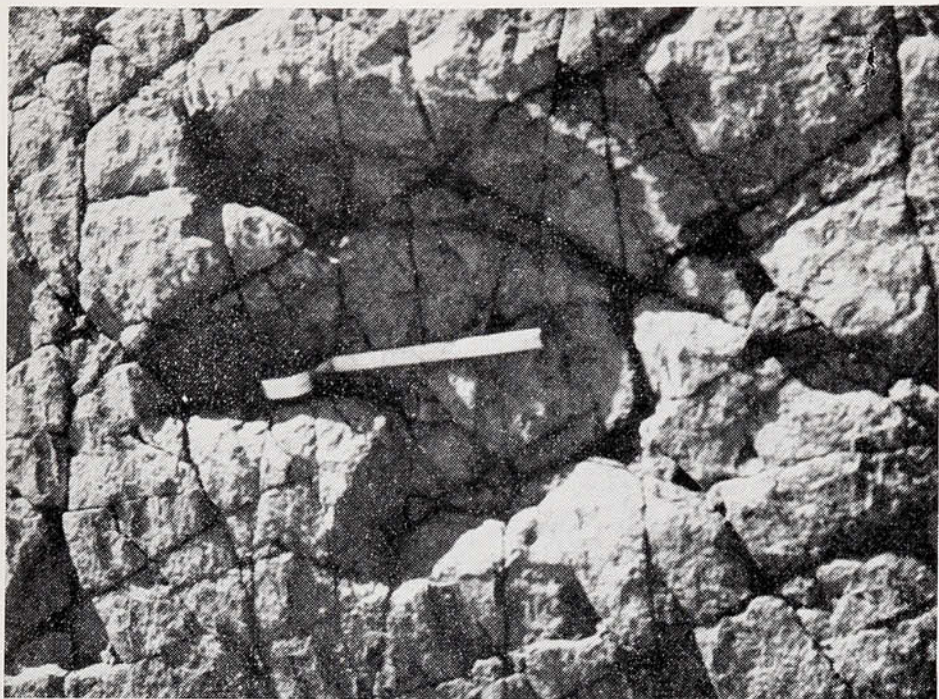


Lámina 7. Detalle de huella individual del rastro mostrado en lámina 4. Están extendidos 20 cm de la huincha

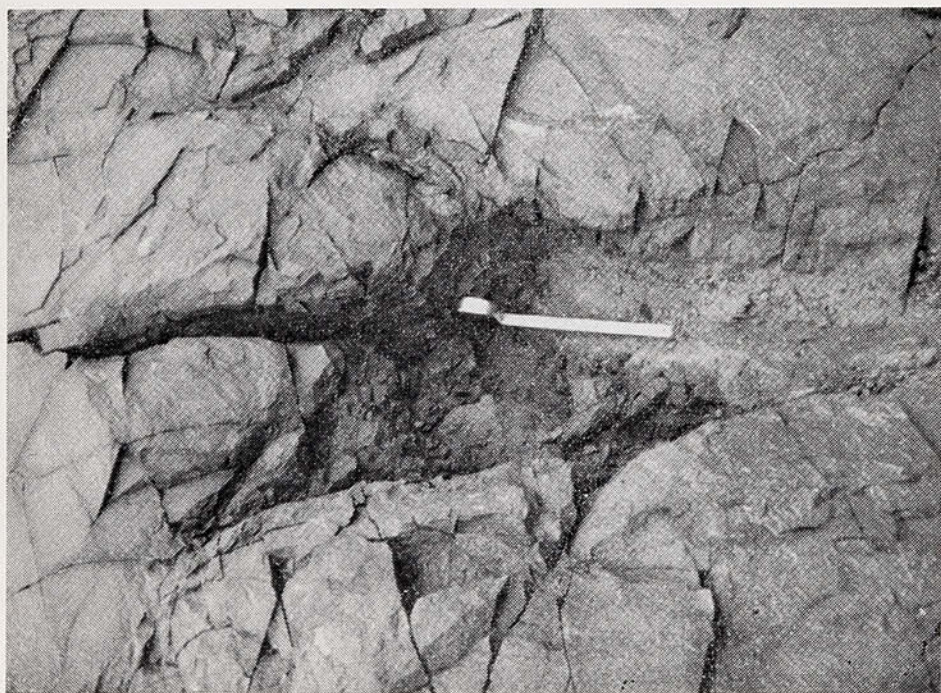


Lámina 8. Detalle de huella individual del rastro mostrado en lámina 4. Están extendidos 20 cm de la huincha

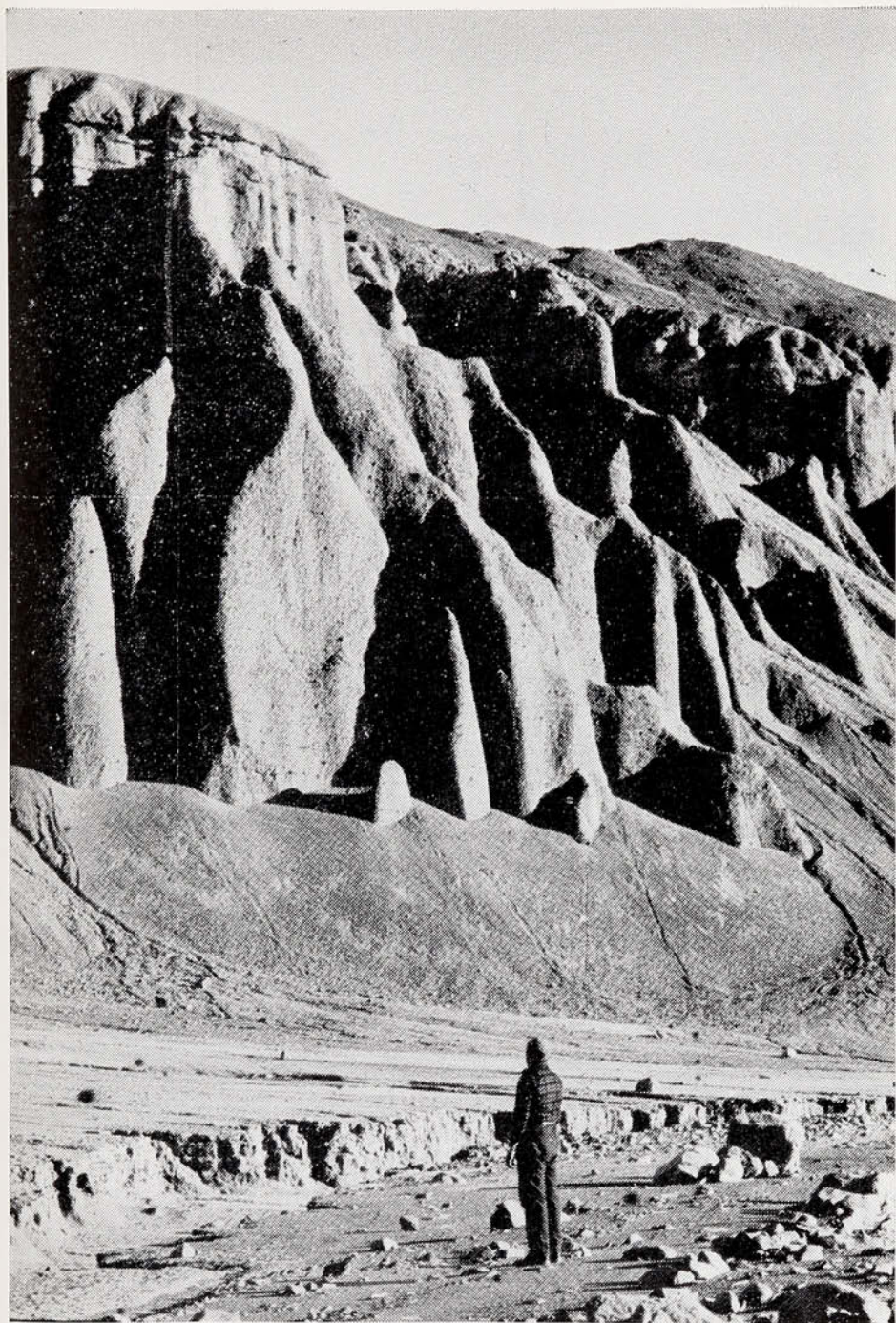


Lámina 9. Erosión de cenuglomerados del miembro 1 de la formación Altos de Pica, en la quebrada Chacarilla

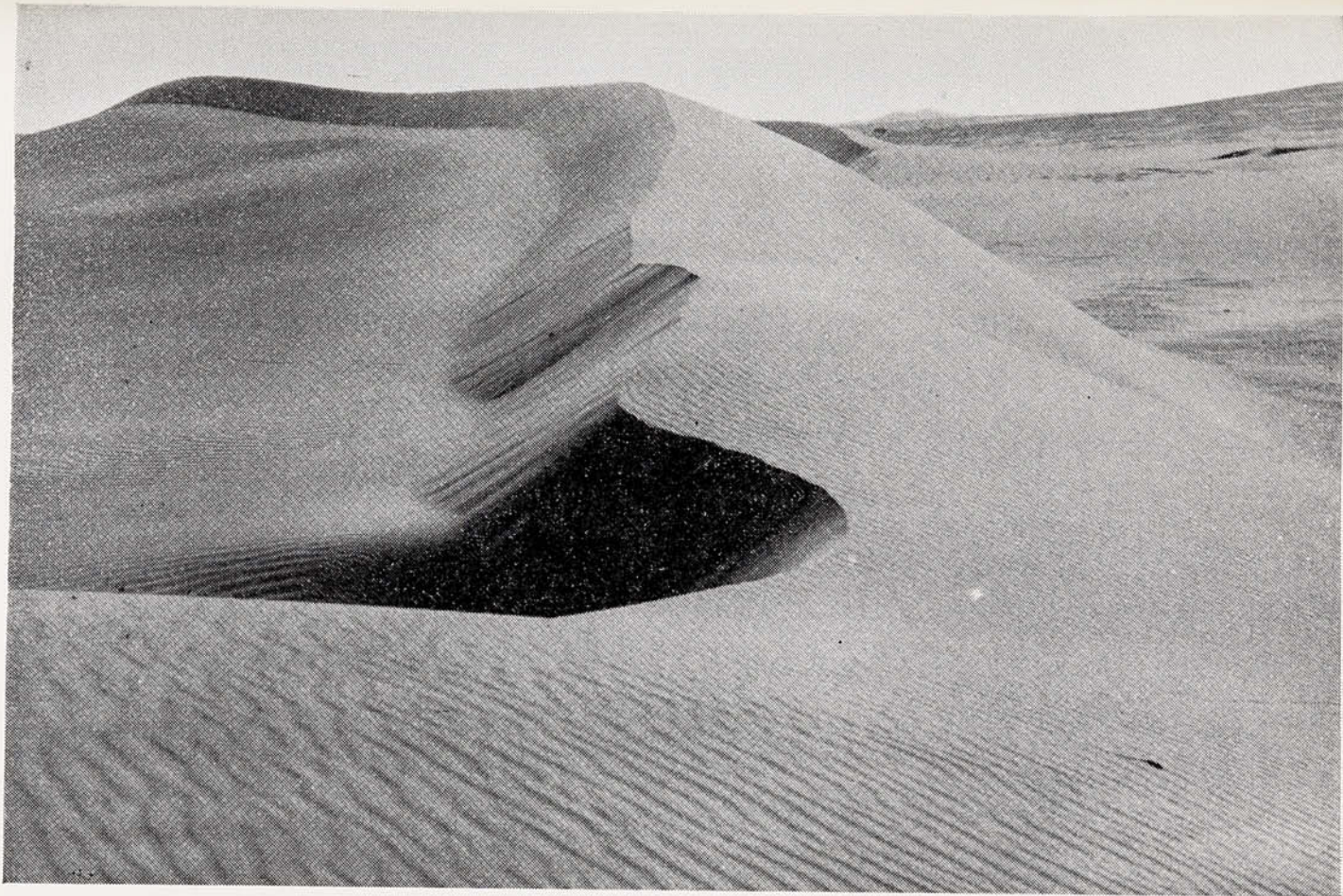


Lámina 10. Duna situada en el lado este de Pampa Pica. La duna muestra efectos de vientos opuestos; vientos ascendentes desde el oeste durante el día, descendentes desde el este durante la noche

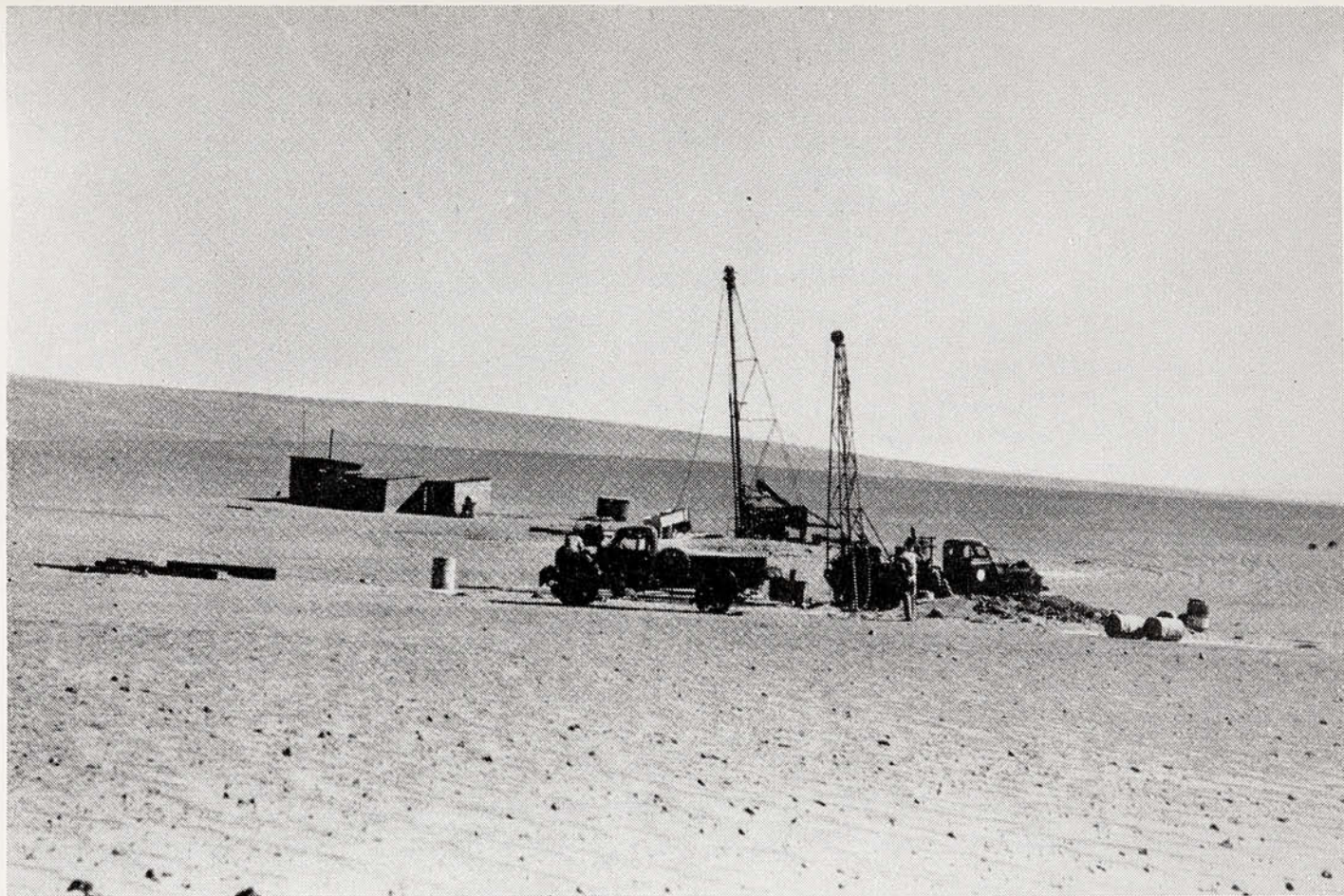


Lámina 11. En primer plano la máquina Sullivan (CORFO) perforando el pozo 155. En segundo plano la máquina Bucyrus-Erie (Dirección de Riego) perforando el pozo 153, en Pampa Pica

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

(de la tapa 2)

MANUALES

- Nº 1. Fósiles Guías Chilenos (Titoniano-Neocomiano). José Corvalán D. y Ernesto Pérez D., 1958. 48 pp., 16 láminas. E° 0,65.

APARTADOS

(Tirada reducida).

1960

- Aliste T., N., Pérez D'A., E y Carter, W. D.
Definición y edad de la Formación Patagua, Provincia de Aconcagua, Chile.
*Revista Minerale*s, Año XV, Nº 71, pp. 40-50, Santiago de Chile.
- Segerstrom, Kenneth.
Structural geology of an area east of Copiapó, Atacama Province, Chile.
Reports XXI International Geological Congress, Norden, Part XVIII, pp. 14-20, Copenhagen, Dinamarca.

1961

- Pérez d'A., E. y Levi de Valenzuela, B.
Relación estratigráfica entre la Formación Moctezuma y el granito subyacente, Provincia de Antofagasta. *Revista Minerale*s, Año XVI, Nº 74, pp. 39-48, Santiago de Chile.
- Ruiz F., C.
Exploración por métodos geofísicos aéreos y terrestres de las anomalías ubicadas en la región Cerro Chañar-Boquerón, con una discusión sobre la génesis de los yacimientos de hierro de Atacama. *Revista Minerale*s, Año XVI, Nº 75, pp. 23-30, Santiago de Chile.
- Ruiz F., C.; Aguirre L.-B., L.; Corvalán D., J.; Rose, H. J.; Segerstrom, Kenneth, and Stern, T. W.
Ages of batholithic intrusions of Northern and Central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, pp. 1551-1560, EE. UU.
- Ruiz F., C., and Saint-Amand, Pierre.
Observations concerning the Chilean earthquakes of May 1960. *Reports XXI International Geological Congress*, Norden, Part xxvi, Copenhagen, Dinamarca.

1962

- Aguirre L.-B., y Egert R., E.
Las formaciones manganesíferas de la región de quebrada Marquesa, provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año XVII, Nº 76, pp. 22-37, Santiago de Chile.
- Ruiz F., C., and Ericksen, G. E.
Metallogenetic Provinces of Chile, S. A. *Economic Geology*, v. 57, p. 91-106, EE. UU.
- Segerstrom, Kenneth.
Geología de la Pre-Cordillera de Copiapó. *Revista Minerale*s, Año xvii, Nº 76, pp. 11-16, Santiago de Chile.

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

Indice de la Carta
Geológica de Chile

Provincia de Tarapacá

