

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS



CASILLA 10465 - TELEFONO 30121

AGUSTINAS 785 - 5º PISO

SANTIAGO

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
SALARES ASCOTAN Y CARCOTE
PROVINCIA DE ANTOFAGASTA

Nelson Bravo S.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS
Sección Hidrogeología
Julio, 1975



INDICE

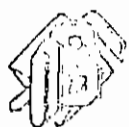
	<u>Pág.</u>
OBJETIVO DEL ESTUDIO Y METODO DE TRABAJO.....	1
UBICACION Y MARCO GEOGRAFICO.....	3
MARCO GEOLOGICO.....	4
Rocas volcánicas cuaternarias.....	4
Sedimentos cuaternarios.....	5
CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS.....	7
CALIDAD QUIMICA DEL AGUA.....	9
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	11

ANEXO

Cuadro Análisis Químico de Agua
Cuadro Análisis de Sales

Fuera de Texto

Bosquejo fotogeológico de la Cuenca Hidrográfica
de los Salares Ascotán y Carcote.



OBJETIVO DEL ESTUDIO Y METODO DE TRABAJO

A solicitud de Codelco y con el objeto de prospectar y evaluar los recursos de agua subterránea que permitan abastecer las futuras instalaciones que se proyectan construir en el Yacimiento El Abra, la Sección Hidrogeología del Instituto de Investigaciones Geológicas inició el presente estudio, que comprende toda la superficie ocupada por la cuenca hidrográfica que forman los salares de Ascotán y Carcote en la alta cordillera de la provincia de Antofagasta.

Este proyecto primitivamente fue planificado en varias etapas de trabajo, las que se desarrollarían en el siguiente orden :

- a) Compilación y análisis de los antecedentes meteorológicos y geológicos existentes.
- b) Fotointerpretación hidrogeológica de toda la cuenca para lo cual se contaba con fotografías del vuelo Aero Service a escala 1:50.000 aproximadamente.
- c) Comprobación en terreno del estudio fotointerpretativo que permitiera la confección de un mapa hidrogeológico de la cuenca, medición de niveles freáticos y recolección de muestras de agua que permitieran determinar la calidad química de ella.



- d) Perforaciones de reconocimiento con equipo B-40, con el objeto de conocer las características hidrogeológicas del material del subsuelo y aportar mayores antecedentes respecto a la profundidad de la superficie freática.
- e) Confección de algunos perfiles geofísicos que permitieran determinar el espesor del material de relleno de los salares.

De este programa de trabajo solo pudo cumplirse en su totalidad los puntos a y b y solo parcialmente el c, debido a que durante la campaña de terreno programada para realizar estas labores, pudo comprobarse la imposibilidad de acceso que existía a la mayor parte del área por encontrarse dichos terrenos minados por orden de la Superintendencia Militar. Sólo el camino que conduce desde Calama a Ollagüe ofrecía la posibilidad de transitar libremente, lo que fue aprovechado para realizar comprobaciones de la geología regional y tomar algunas muestras para análisis químico de agua.

El presente informe entrega la totalidad, de los antecedentes que fue posible elaborar, así como las recomendaciones para trabajos futuros cuando las condiciones de accesibilidad y maniobrabilidad en la zona lo permitan.

En la elaboración de este trabajo colaboraron con el autor los colegas Carlos Chávez B. en la fotointerpretación geológica



y Eduardo Falcón M. con sugerencias para abordar el estudio y en la visita a terreno.

UBICACION Y MARCO GEOGRAFICO

El área estudiada se encuentra ubicada en la Cordillera de Los Andes, en el extremo noreste de la provincia de Antofagasta. Comprende aproximadamente 2.200 km², sin incluir una prolongación de la cuenca en el extremo sureste, hacia territorio boliviano, del cual no existe la cartografía necesaria para determinar los límites y superficie de la cuenca en esta zona. El presente estudio abarca todo el terreno en que el drenaje superficial se efectúa hacia los salares de San Martín o Carcote y Ascotán, los cuales se encuentran ubicados en la parte central de la cuenca, el primero de ellos a una altura media de 3.690 m.s.n.m. y el segundo a 3.720 m.s.n.m. Ambos salares se encuentran separados por el cordón Puntilla de San Martín de 4.535 m de altura. Rodeando estos salares se observa un conjunto de cerros y volcanes por cuyas cimas pasa la línea divisoria de la cuenca, las más notables de estas cumbres son las de Ollague, Araral, Palpana, Chela, Cebollar, Pocapi y del Inca.

La cuenca hidrográfica que constituyen estos salares es



un ejemplo típico de cuenca cerrada, con una red de drenaje centrípeta en la que las quebradas que bajan desde los cerros que circundan los salares confluyen y drenan hacia ellos. La totalidad de estas quebradas son de curso intermitente, sólo conducen agua en la época de las lluvias producidas durante la época del llamado "invierno boliviano", o la proveniente del derretimiento de las nieves que en algunos períodos del año se producen en la zona.

El clima de la cuenca es de desierto marginal de altura, con un régimen de lluvias estivales producidas en los meses de Diciembre a Marzo (estadísticas promedio de 10 años de observaciones dan 85 mm de precipitaciones anuales) y nevazones producidas en este mismo período y en la época del invierno chileno, Junio a Agosto.

MARCO GEOLOGICO

1. - Rocas volcánicas cuaternarias. La cadena de cerros que rodean los salares, está constituida en su totalidad por rocas volcánicas del Cuaternario; se trata principalmente de lavas del tipo andesítico-latítico, provenientes de eyecciones producidas en conos volcánicos o a través de fisuras. Intercaladas entre estas típicas lavas es posible observar la presencia de algunos bancos de brecha y mate -



riales piroclásticos. Arealmente estos materiales volcánicos presentan una diferenciación hacia rocas algo más básicas.

En el fondo de una de estas quebradas, Quebrada del Inca, durante el trabajo de fotointerpretación pudo observarse un tipo de roca diferente, al parecer de tipo ignimbrítico, las que no pudieron ser reconocidas en terreno, debido a las dificultades de acceso. Esta disposición concordaría con la existente en la zona norte, donde las rocas volcánicas cuaternarias se encuentran sobreyaciendo discordantemente las rocas riolíticas del Terciario, las que son observables más al oeste a niveles más bajos fuera del área en estudio.

2.- Sedimentos cuaternarios. Estos sedimentos se encuentran ocupando especialmente la planicie central de la cuenca y los faldeos de los cerros que rodean los salares.

Se han distinguido cuatro unidades diferentes :

- a) Depósitos salinos. - Corresponden a los llamados Salares de San Martín o Carcote y Ascotán, que ocupan 75 y 175 km² respectivamente en la depresión central de la cuenca. Se trata principalmente de materiales limo-arcilloso con intercalaciones yesíferas sobre las que yace una capa de espesor variable de boratos, superpuesta a la cual se presenta una costra salina con yeso.



- b) Depósitos de pie de monte. - Acumulación de material detrítico, de contornos angulares, mal clasificado, depositado por efecto gravitacional en la pendiente de los cerros. La litología de este material es bastante homogénea, ya que corresponde a fragmentos del material volcánico que constituyen los cerros a los cuales se encuentran adosados.
- c) Corrientes de barro. - Material detrítico sin clasificación ni estratificación, proveniente de la remoción de escombros al saturarse con agua proveniente de las lluvias o con el agua producida por el derretimiento de la nieve. El curso de estas corrientes es generalmente a través de quebradas preexistentes, las que al desembocar en la depresión central permiten una expansión areal de estos sedimentos.
- d) Depósitos aluviales. - El fondo de las quebradas se encuentra ocupado por material aluvial, producido durante la eventual existencia de corrientes superficiales. Estos sedimentos muestran lógicamente un mayor trabajo de los clastos, los que corresponden principalmente a rocas volcánicas andesíticas; su granulometría es de tipo grueso a medio, consisten en su mayor parte en grava, gravilla y arena. Al desembocar estas quebradas en el plano del salar, los



sedimentos se expanden en forma de abanico sepultando rocas más antiguas.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Como se señalaba al describir el margo geográfico de la cuenca, no existe en ella ningún cauce permanente que alimente los salares, cuyo paquete de depósitos sedimentarios constituirían el único acuífero de importancia presente en la zona estudiada. El resto de unidades litológicas no reúnen las condiciones o características para ser considerado como tales; por una parte las rocas volcánicas presentan muy baja a nula permeabilidad y por otra el material inconsolidado del tipo pie de monte y corriente de barro que reúne condiciones de retención no es adecuado para contener agua susceptible de explotación.

El aporte de agua que reciben los salares es eminentemente originado por las precipitaciones pluviales o nivales, escurrimiento superficial esporádico y aporte subterráneo.

Estadísticas pluviométricas, de no mucha confiabilidad, dado los pocos años de registro que existen, indican un promedio de 85 mm de agua caída anualmente, lo que significaría algo más de $187 \times 10^6 \text{ m}^3$



en la totalidad de la cuenca. Por otra parte las condiciones climáticas caracterizadas por fuertes vientos y baja humedad relativa hace que la evaporación en la zona sea elevada, lo que conjuntamente con la infiltración producida disminuye en gran medida el aporte que el agua proveniente de las precipitaciones significa en la recarga de los reservorios de la cuenca.

Estudios anteriores determinan un coeficiente de escurrimiento para esta zona del orden de 0,2 lo que significaría un aporte al acuífero de aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{seg}$; habría que agregar a esto $21 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales de agua precipitada directamente sobre los salares y considerar la fuerte evaporación que se produce por las dificultades de una rápida infiltración debido a la costra salina que los cubre.

En la temporada de abundantes precipitaciones, especialmente en la época del llamado "invierno boliviano" Diciembre-Marzo, logran originarse cauces superficiales que desde los diferentes cerros que circundan los salares confluyen hacia ellos.

El aporte subterráneo es escaso y se limita a pequeñas vertientes de reducido gasto que afloran en los bordes de los salares, cuyo nivel de escurrimiento parece coincidir con el plano de contacto entre las rocas volcánicas y los sedimentos inconsolidados que los sobreyacen. Podría existir además un pequeño aporte subterráneo no



observable en superficie, proveniente de infiltraciones a través de fracturas en la roca volcánica o escurrimiento en el material piroclástico intercalado.

La imposibilidad de realizar las perforaciones programadas, impide conocer el espesor y extensión de los acuíferos existentes; se ha determinado la presencia de uno de ellos con agua de alto contenido salino, en el cual la superficie freática se encuentra a unos 50 cm bajo el nivel del suelo en la época de sequía, subiendo casi hasta la superficie misma del salar en la temporada de las lluvias.

La intersección de la superficie freática con zonas de depresión originadas por disolución u otros fenómenos en la costra salina, dan origen a algunas lagunas internas de no mucha extensión y de profundidades que no deben sobrepasar el par de metros. Superficialmente también puede observarse la existencia de algunos pequeños canales que se originarían por acción del agua superficial.

CALIDAD QUIMICA DEL AGUA

Análisis de agua realizados por el Laboratorio Químico del Instituto de Investigaciones Geológicas de 5 muestras recolectadas en la zona, 3 de ellas en el Salar de Carcote y 2 en el de Ascotán,



permiten clasificar esta agua dentro de la categoría de agua salada a salmueras con un contenido de sólidos disueltos variable entre 23.960 a 116.640 mg/l y una dureza total de 6.400 a 22.300 mg/l.

En cuanto a la presencia de aniones y cationes, todas las aguas pueden ser clasificadas como cloruradas-sódicas, encontrándose en orden decreciente los aniones $\text{Cl-SO}_4 - \text{HCO}_3$ y los cationes Na-Ca-K-Mg ; sólo una de las muestras, tomada en la parte central del borde oriental del Salar de Ascotán, muestra una ligera variación en esta relación entre los diversos componentes, pues sufre una disminución porcentual en su contenido de Ca y en cambio experimenta un enriquecimiento en K.

La totalidad de las muestras corresponden a recolección realizada en superficie, donde, debido a fenómenos de evaporación, han sufrido un enriquecimiento en su concentración no siendo por lo tanto representativas de la calidad química del agua total del acuífero.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones

- a) Los salares de Ascotán y Carcote constituyen la parte central de una cuenca hidrográfica cerrada.
- b) El sistema de drenaje es centrípeto, hacia los salares.
- c) No existen cursos superficiales permanentes.
- d) El agua proveniente de las precipitaciones estacionales fluye rápidamente hacia los salares y se infiltra en los sedimentos inconsolidados que rellenan esta depresión intermedia.
- e) Estos sedimentos constituirían el único reservorio susceptible de ser explotado.
- f) Las posibilidades de agua subterránea en este reservorio dependen del espesor y características del material de relleno.

2.- Recomendaciones

- a) Construir pozos estratigráficos que permitan reconocer el tipo de material del relleno, sus características litológicas y espesores.
- b) Efectuar algunos perfiles geofísicos que permitan determinar profundidad y características de la roca fundamental y espesor total del relleno.



- c) Confeccionar algunos pozos con el equipo B-40 para conocer los niveles freáticos.
- d) Realizar pruebas de bombeo para determinar capacidad de almacenamiento y permeabilidad del material lo que indicaría cantidad de agua contenida y las posibilidades de extracción
- e) En caso de un estudio a largo plazo sería necesario la instalación de pluviómetros y evaporímetros que permitan conocer exactamente el balance hidrológico de la cuenca.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS



CASILLA 10465 - TELEFONO 30121

AGUSTINAS 785 - 5º PISO

SANTIAGO

ANEXO

ANALISIS QUIMICO DE AGUA

MUESTRA	1	3	5	7	9
---------	---	---	---	---	---

CATIONES mg/l

Calcio (Ca)	6.300	5.200	5.350	1.700	920
Magnesio (Mg)	1.600	2.130	1.580	530	1.050
Sodio (Na)	24.650	33.850	23.550	5.550	37.300
Potasio (K)	1.540	2.380	1.770	510	3.350
Litio (Li)	64	130	93	31	170
Rubidio (Rb)	3,5	5	4,8	1,8	4,9
Estroncio (Sr)	124	101	98		17
Escandio (Sc)				40	

ANIONES mg/l

Hidróxido (OH)					
Carbonato (CO ₃)					
Bicarbonato (HCO ₃)	320	500	530	280	660
Sulfato (SO ₄)	1.760	2.820	2.530	2.780	2.210
Cloruros (Cl)	56.170	69.700	51.940	12.440	65.020
Nitratos (NO ₃)	8.700	8.500	4,1	2,8	5,6
Boro (B)	275	416	344	144	592
Arsénico (As)	3	2	5	10	34
Sílice (SiO ₂)	86	84	89	99	100

Dureza total mg/l CaCO ₃	22.300	21.750	19.850	6.400	6.730
Dureza carbonatasa " "	260	410	430	230	540
Dureza no carbonatasa " "	22.040	21.340	19.420	6.170	6.190
Sólidos disueltos mg/l	92.740	116.640	87.600	23.960	110.780
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C "	97.200	121.750	91.650	25.100	116.200
pH a 20°C	7.17	7,23	7,50	8,01	7,75

ANALISIS DE SALES

MUESTRA	2	4	6	8
---------	---	---	---	---

CATIONES %

Calcio (Ca)	18,90	19,25	10,28	0,04
Magnesio (Mg)	0,25	0,05	0,63	3,10
Sodio (Na)	1,70	0,55	6,43	18,08
Potasio (K)	0,11	0,08	0,31	2,60
Litio (Li)	0,02	0,01	0,10	0,16

ANIONES %

Carbonatos (CO ₃)		0,15	0,30	
Bicarbonatos (HCO ₃)		52,14		
Sulfato (SO ₄)	50,31	1,22	10,29	12,44
Cloruro (Cl)	3,57		4,42	20,99
Nitratos (NO ₃)				
Boro (B)	0,06	0,13	10,49	7,35

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS



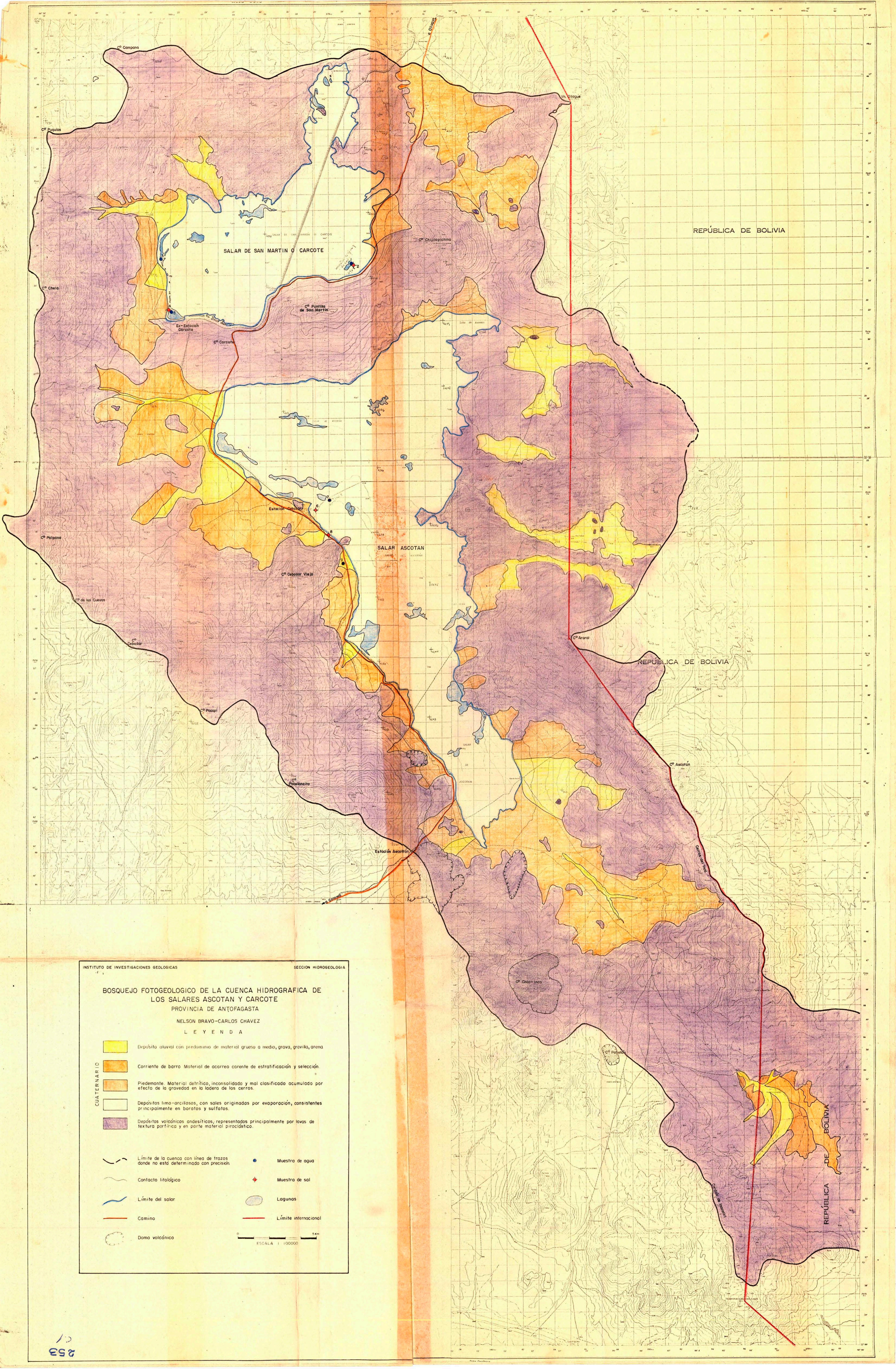
CASILLA 10465 - TELEFONO 30121

AGUSTINAS 785 - 6º PISO

SANTIAGO

REFERENCIAS

- ERICKSEN, G., 1963. Geology of the salts Deposits and the Salt industry of Northern Chile.
- FUENZALIDA, H., 1967. Clima en Geografía Económica de Chile. Corporación de Fomento de la Producción. Texto refundido.
- GOLUBEV, G., 1968. Condiciones Hidrológicas del Escurrimiento Superficial y Subterráneo en el Norte Grande. Corporación de Fomento de la Producción. Departamento de Recursos Hidráulicos.
- VILA, T., 1974. Geología y Geoquímica de los Salares Andinos. Provincia de Antofagasta. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Memoria.



REPÚBLICA DE BOLIVIA

REPÚBLICA DE BOLIVIA

REPÚBLICA DE BOLIVIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS
SECCION HIDROGEOLOGIA

BOSQUEJO FOTOGEOLÓGICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE LOS SALARES ASCOTAN Y CARCOTE
PROVINCIA DE ANTOFAGASTA
NELSON BRAVO-CARLOS CHAVEZ

LEYENDA

	Depósito aluvial con predominio de material grueso a medio, grava, gravilla, arena
	Corriente de barro. Material de acarreo carente de estratificación y selección.
	Piedemonte. Material detrítico, inconsolidado y mal clasificado acumulado por efecto de la gravedad en la ladera de los cerros.
	Depósitos limo-arcillosos, con sales originadas por evaporación, consistentes principalmente en boratos y sulfatos.
	Depósitos volcánicos andesíticos, representados principalmente por lavas de textura porfírica y en parte material piroclástico.
	Límite de la cuenca con línea de trazos donde no está determinado con precisión.
	Contacto litológico
	Límite del salar
	Camino
	Domo volcánico
	Muestra de agua
	Muestra de sal
	Lagunas
	Límite internacional

ESCALA 1:100000