

10262

c.1

COMITE GEOTERMICO - CORFO

ESTUDIO GEOQUIMICO DEL AREA TERMAL DE SURIRI
PROV. DE ARICA I REGION.

por Hernan Cusicanqui R. (Junio 1979)

10262-1

COMITE PARA EL APROVECHAMIENTO
DE LA ENERGIA GEOTERMICA CORFO



ESTUDIO GEOQUIMICO DEL AREA
TERMAL DE SURIRI - PROV. DE
ARICA - I REGION

POR : HERNÁN CUSICANQUI R.

JUNIO 1979



COMITE DE ENERGIA GEOTERMICA

P R O L O G O

Consecuentemente con el programa de actividades para 1979 y con el objeto de poder conocer las posibilidades geotérmicas del área termal del Salar de Suriri, la dirección del Comité contrató los servicios del Sr. Hernán Cusicanqui R., Geoquímico, para estos efectos..

El área termal de Suriri fue seleccionada como tercera prioridad después de El Tatio y Puchuldiza entre una treintena de fuentes termales estudiadas por expertos de N.U. y profesionales del Comité entre los años 1968 y 1972 en la I. y II. Región.

El presente trabajo es el primer estudio geoquímico de detalle llevado a cabo en el Salar de Suriri en base a un muestreo de las aguas termales surgentes en ésta..

Los resultados más importantes de este estudio serían los siguientes:

- En Suriri existe un sistema hidrotermal asociado al volcanismo pliopleistocénico que es producto de un proceso de alteración hidrotermal el cual se desarrolla a altas temperaturas y presiones, lo indican la concentración y naturaleza de los elementos disueltos en las manifestaciones externas del sistema.
- Los fluidos erogados por las manifestaciones termales demuestran un origen común y que el sistema está asociado a rocas dacíticas al igual que en El Tatio y Puchuldiza.
- Los termómetros geoquímicos medidos en los fluidos descargados por las aguas termales señalan con consistencia temperaturas promisorias:
Geotermómetro de Sílice 177°C.
Geotermómetro Na- K- Ca 230°C.



COMITE DE ENERGIA GEOTERMICA

- 2 -

- La cuenca hidrográfica que incluye al sistema en estudio es bastante extensa 570 Kms² y tiene un régimen de precipitaciones apreciable, 250 mm. anuales lo que permite suponer asegurada la recarga del sistema.

Finalmente cabe señalar que en base a los resultados del presente estudio y los trabajos anteriores de Trujillo 72 y Salas 75 hacen de Suriri un Campo Geotérmico potencial, digno de ser cuantificado exhaustivamente.

JORGE DE LA FUENTE S.
SECRETARIO EJECUTIVO

I N T R O D U C C I O N

MARCO TOPOGRAFICO Y GEOLOGICO

El Area termal de Surirí está ubicada en el borde Sur Oeste del Salar de Surirí a 4,260 mts. en el altiplano de la Provincia de Arica, 1a. Región (Fig. 1).

El Salar de Surirí es una cuenca cerrada rodeada de volcanes cuaternarios, constituye el límite Sur de la sección ariqueña del altiplano chileno, formado principalmente por el Valle del Río Lauca. Al Sur de Surirí un cordón transversal de volcanes limita este altiplano dando origen a la cuenca del Salar de Surirí de una superficie aproximada de 570 Km². (Fig. 2). El Salar mismo tiene una superficie de 120 Km². La zona de manifestaciones abarca un rectángulo de 5X3 Kms. en el borde Sur Oeste del Salar.

Esta cuenca endorreica fue rellena en etapas sucesivas, según Salas (1975), por sedimentos clásticos en su base, sedimentos químicos en su nivel medio y por evaporitas en el superior.

Salas en su "Estudio Geológico del Salar de Surire" (1975) que incluye la perforación de 10 pequeños sondeos de 45 m. de profundidad (Fig. 3), estima la profundidad del relleno de la cuenca en unos 120 mts. y atribuye el origen de los sedimentos químicos y evaporitas a la actividad termal del área en estudio, por la clara relación entre la composición de los depósitos salinos y salmueras captadas por los sondeos con las aguas termales.

De acuerdo a este estudio la formación geológica más antigua del área sería la formación Putani, que subyace el fondo del Salar aflorando al NO. A esta formación compuesta por sedimentos finos le atribuye edad terciario inferior.

Ricardo Sandoval, geólogo del Comité Geotérmico, que está estudiando la geología del área, asocia la fuente de calor del sistema al volcanismo dacítico plioleistocénico relacionado a la tectónica de la misma edad. Específicamente al sistema E-O de dicha actividad volcánica y directamente a una digitación N-NE reflejada por los volcanes Chiguana y Prieto.

Trujillo en su reconocimiento geológico (1972) y Salas (1975) señalan un sistema de fallas de sentido N-NE con buzamiento hacia el SE al que están asociadas las manifestaciones que se alinean en un sistema de fracturas de dicho sentido en la ribera SE del Salar abarcando una extensión de 5 Km. de largo (N-S) por 3 Km de ancho. Es esta un área de manifestaciones bastante extensa y los depósitos del Salar demuestran una gran actividad termal en el pasado.

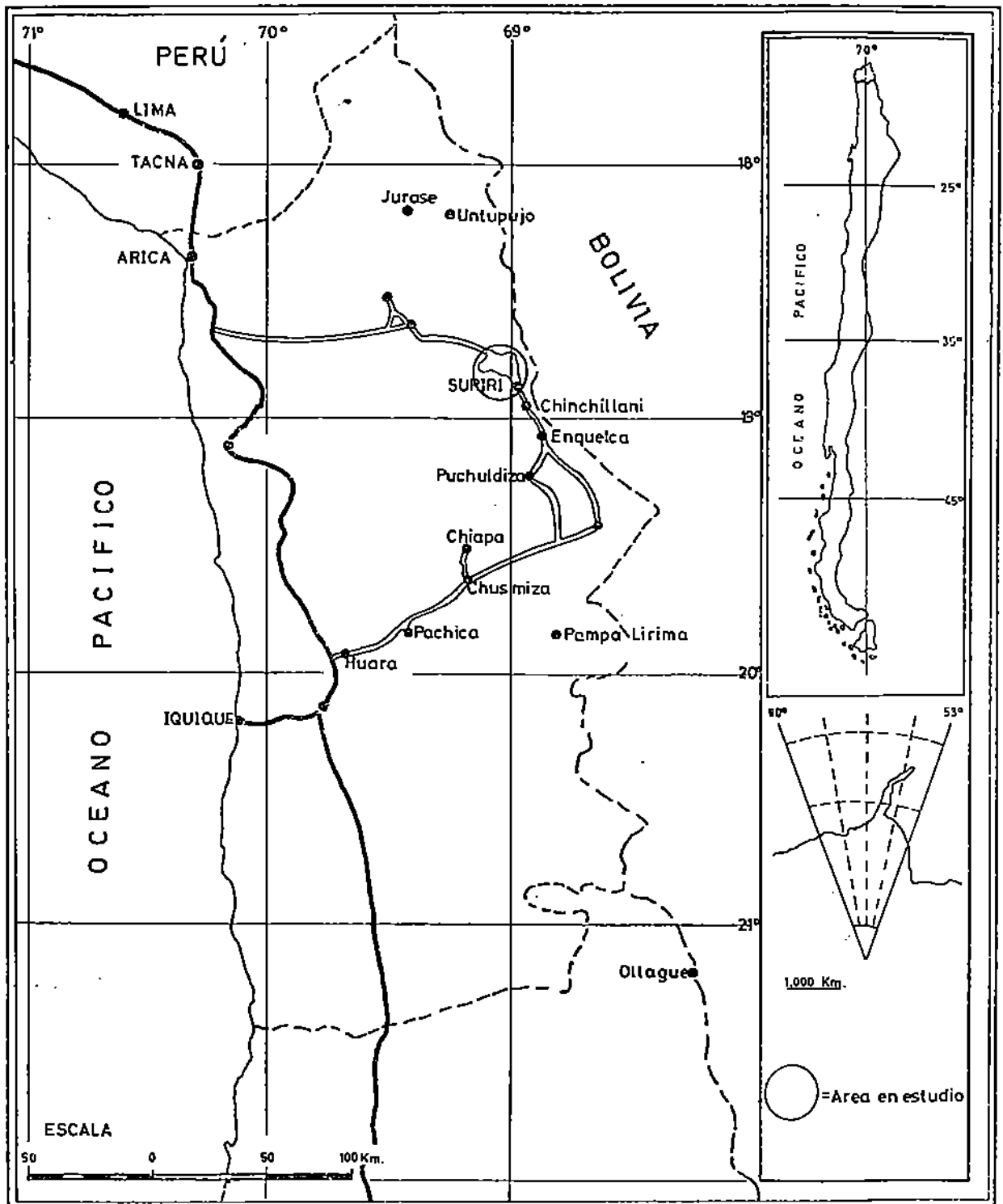


FIG.1 MAPA DE UBICACION DEL AREA DE SURIRI.

PLANO DE UBICACION DE LAS CUMBRES QUE
CIRCUNDAN EL SALAR DE SURIRI

Escala 1:250,000

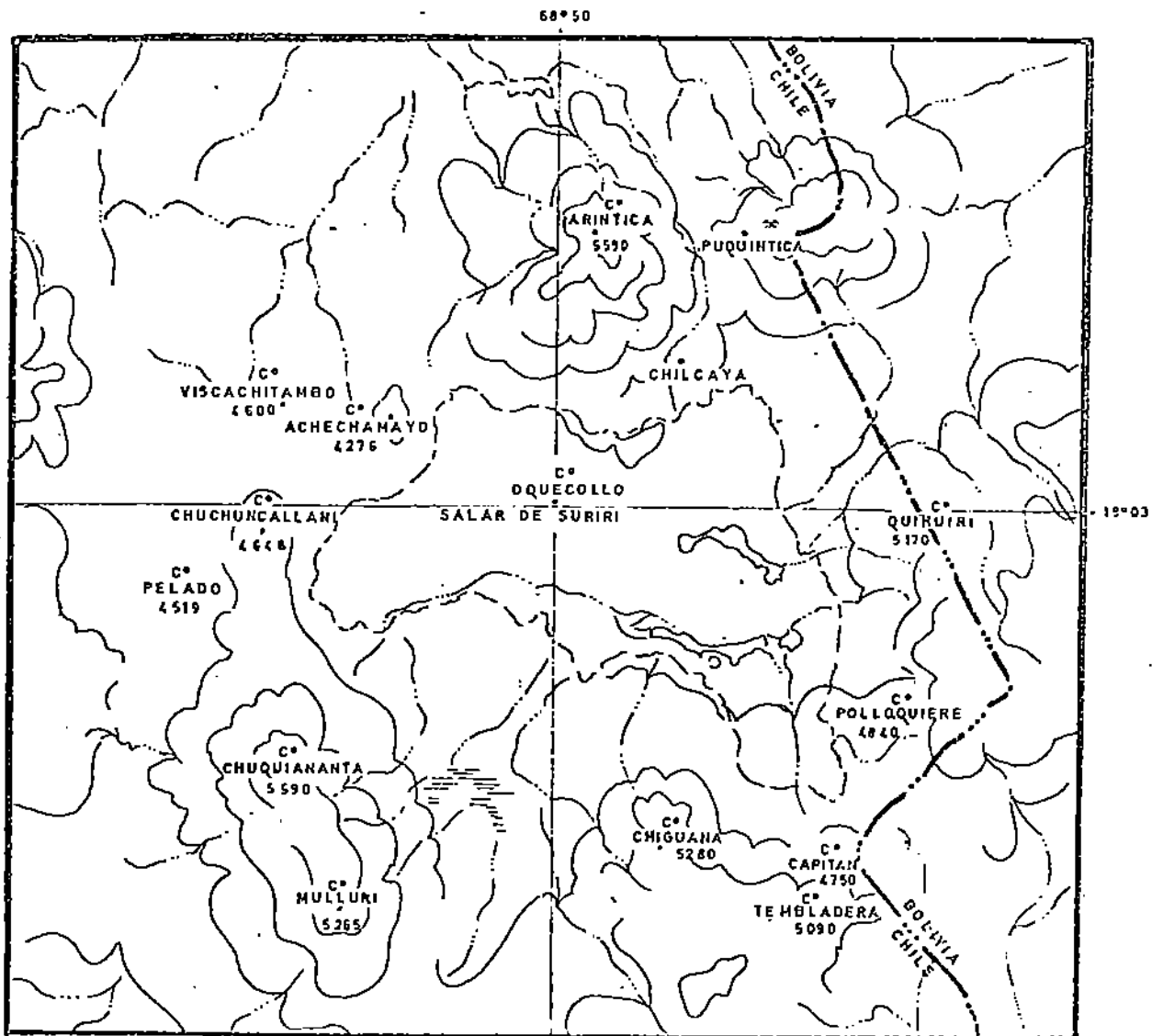
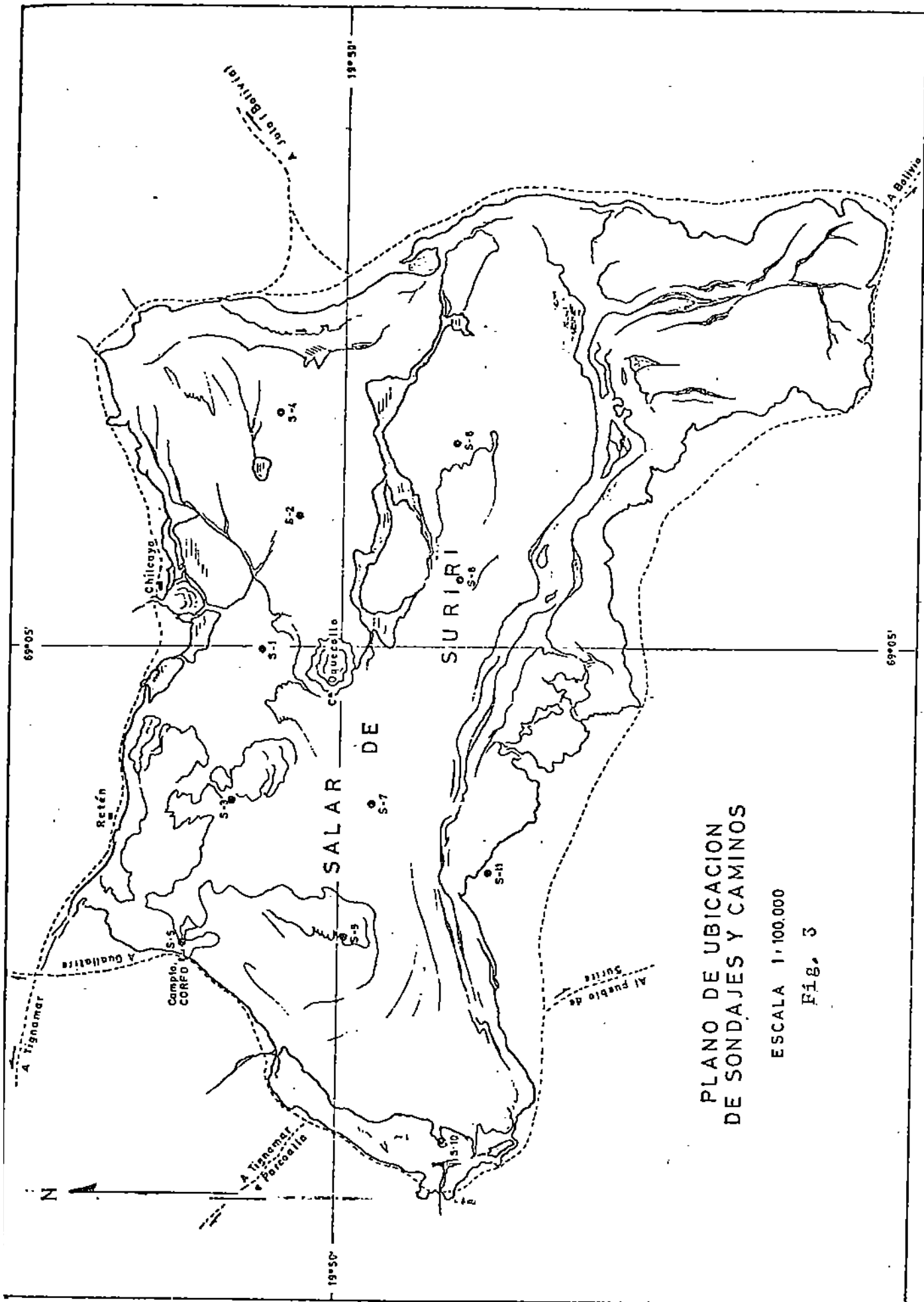


FIG. 2



CONCLUSIONES

El presente estudio permite llegar a las siguientes conclusiones:

- En Suriri existe un sistema hidrotermal asociado al volcanismo plioleistocénico que es producto de un proceso de alteración hidrotermal que se desarrolla a altas temperaturas y presiones; lo indican la concentración y naturaleza de los elementos disueltos en las manifestaciones externas del sistema.
- Las manifestaciones se presentan en un área de 15 Km² lo que es un indicador positivo de la extensión del sistema.
- Los fluidos descargados por las manifestaciones demuestran un origen común y que el sistema está asociado a rocas dacíticas al igual que en El Tatio y Puchuldiza.
- A pesar de que las manifestaciones antes de emerger sufren alteraciones por la masa de agua que conforma el nivel freático del Salar, los geotermómetros señalan con consistencia temperaturas promisorias: geotermómetro de Sílice 177°C, geotermómetro de Na-K-Ca 230°C.
- Otros indicadores de temperatura como las concentraciones de Magnesio, Calcio y Sulfatos no son tan favorables para asignar temperaturas altas al sistema, pero su concentración relativamente alta se explica por contaminación y concentración característica de las rocas que lixivian el sistema.
- La condición excepcional de que los flujos del sistema se conservan en una cuenca endorréica, permiten ubicar estimativamente el volumen de sales y agua descargado por el sistema.

estimación que da una idea tangible de la importancia de él.

- La cuenca hidrográfica que incluye al sistema en estudio es bastante extensa, 570 Km² y tiene un régimen de precipitaciones apreciable, 250 mm anuales, lo que permite suponer asegurada la recarga del sistema.

RECOMENDACIONES

Por lo expuesto, el sistema hidrotermal de Surirá merece una investigación más profunda y se justifica la inversión en estudios geológicos de detalle, la confección de perfiles geofísicos de resistividad o magnetismo y la perforación de dos a tres pozos exploratorios.

La ubicación de estos pozos sería : 1° En el Rincón de Polloquere, en la prolongación de la línea de fracturas que marca la ubicación de las manifestaciones. 2° Los otros dos en una línea perpendicular a dicha línea de fracturas a unos 100 a 200 m. hacia los cerros Tembladeras y Chihuana en el Rincón de Polloquere.

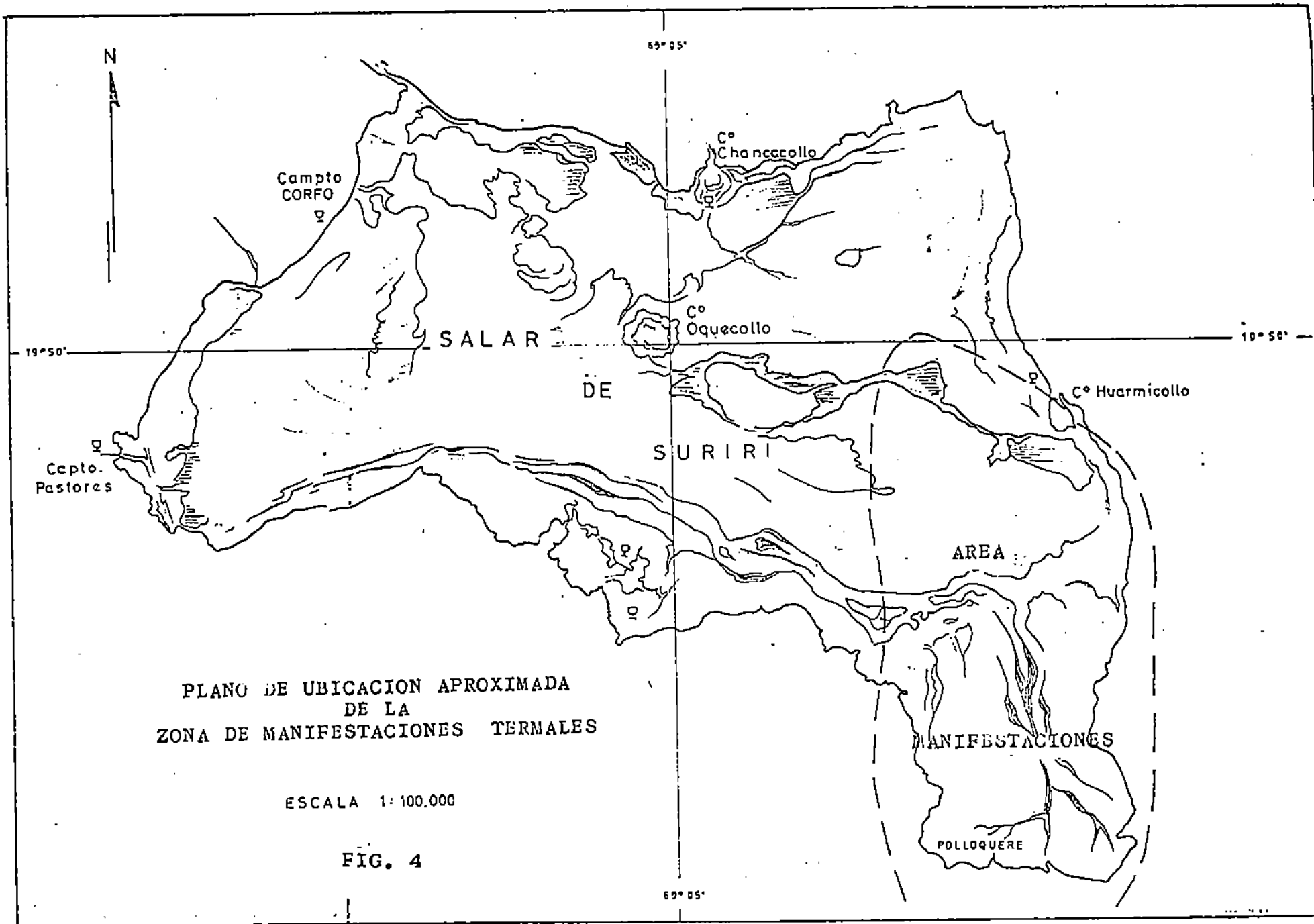
Los estudios geoquímicos es convenientes ampliarlos con nuevos muestreos en los meses de Octubre a Noviembre en que se supone haya bajado el nivel freático del Salar. Sería conveniente prepararse con anticipación los puntos de muestreo excavando pequeños piques para obtener las muestras.

LAS MANIFESTACIONES TERMALES

En 1972, el Comité Geotérmico CORFO efectuó un estudio preliminar del Salar de Suriri, el cual comprendía un inventario y evaluación de las manifestaciones, hecho por P. Trujillo. En la zona se contabilizaron 133 lugares con manifestaciones termales, las cuales cubren una superficie de 5 x 3 Km. Ellas se alinean en sistemas de fracturas de sentido N-NE asociadas a las fallas del mismo sentido definidas por Trujillo 72 y Salas 75.

La importancia de estas manifestaciones en flujo y temperaturas decrece de Sur a Norte. En el trabajo llevado a cabo para elaborar el presente informe, se comprobó que la mayoría de las manifestaciones ubicadas más hacia el interior del Salar, según el inventario de 1972 Trujillo, habían desaparecido o descargaban por debajo de la costra salina, por lo que el muestreo se limitó al extremo Sur llamado Rincón de Polloquere. Es probable que este hecho se deba a la variación del nivel freático del Salar producido por las lluvias, por lo cual en ocasiones las manifestaciones quedan bajo agua.

Casi todas las manifestaciones son vertientes termales que fluyen por fracturas en la costra del Salar, las que se amplían hasta formar pozas. En el margen Sur (Rincón de Polloquere) se observan pequeños domos que se elevan unos pocos centímetros asumiendo las características de geysers, son éstas las manifestaciones de mayor temperatura (83°C).



No existen fumarolas en el área, pero muchas de las pozas descargan burbujas de gases con el olor característico del ácido sulfhídrico.

Ninguna de las manifestaciones descarga a la temperatura de ebullición que es de 85,5°C para la altitud. La mayor temperatura registrada fue de 83°C.

El extremo Sur donde están las manifestaciones de mayor importancia es el punto de mayor cota del Salar, el agua de las manifestaciones fluye hacia el Norte, hacia el interior del Salar, constituyendo un pequeño río, formando lagunas y zonas anegadas. No se ha hecho un aforo de este caudal. Sin embargo, Salas lo estima en unos 500 l/seg en su informe.

GEOQUIMICA DE LAS MANIFESTACIONES

La tabla N° 1 representa los resultados del análisis de 13 muestras de fluidos termales correspondientes a 12 manifestaciones, tomadas en octubre de 1978 y abril de 1979. Las manifestaciones elegidas son las de mayor flujo y temperatura, ubicadas en el extremo Sur del área, en la vecindad del llamado Rincón de Polloquere.

Los análisis (Ver Anexo) demuestran que las aguas termales están influidas por la masa de agua que constituye el nivel freático del Salar y que fluyen a través de dicha masa sufriendo contaminaciones, diluciones y enfriamiento. Es clara la contaminación con Sulfatos de Calcio y Sodio y el enfriamiento ya que ninguna fluye a temperatura de ebullición.

Los análisis señalan que todas las manifestaciones provienen de una fuente común y las pequeñas diferencias que se observan se deben, como se ha dicho, a contaminación y enfriamiento. El tipo de agua, por la composición de sus sales es el mismo que hemos observado en los sistemas de El Tatio y Puchuldiza las razones molares de los elementos claves son muy similares, lo que demostraría su asociación a formaciones dacíticas, como ya se ha establecido para El Tatio y Puchuldiza. El grado de concentración de sales en el agua termal de Suriri es prácticamente el mismo que el encontrado en Puchuldiza, tal vez ligeramente inferior, lo que podría explicarse por dilución en el caso de Suriri.

TABLA N° 1

ANÁLISIS DE LAS AGUAS TERMALES
en mg/l

Manifes- tación N°	Temp. °C	pH	Na	K	Li	Ca	Rb	Ca	Mg	Cl	SO ₄	As	HCO ₃	CO ₃	CO ₂	B	SiO ₂
30	66	6,52	1187	195	6,5	1,1	1,2	190	48	1704	984	2,9	154	0	41	38	145
30	64	6,30	1155	204	6,6	1,1	1,2	202	46	1690	992	2,9	151	0	48	40	156
35	73	6,70	1182	193	8,2	1,5	1,6	132	26	1870	493	3,2	204	0	43	50	218
55	75	6,85	1120	157	8,2	1,6	1,5	101	14	1820	259	3,1	259	0	41	51	221
70	83	7,00	1295	213	8,6	1,6	1,5	145	29	2050	597	3,5	82	0	20	55	234
71	83	6,85	1515	227	11,0	2,6	2,4	90	7,5	2540	229	4,2	144	0	25	72	235
72	83	6,55	1395	222	9,7	1,7	1,7	143	28	2250	549	4,2	139	0	35	60	238
73	75	6,85	1317	205	8,4	1,6	1,8	148	32	2084	596	3,6	162	0	25	52	218
75	80	7,55	1155	171	8,4	1,7	1,5	88	13	1870	236	3,3	236	0	25	50	225
80	75	6,65	1305	192	9,4	1,9	1,6	109	14	2150	270	4,0	211	0	47	60	215
81	78	7,01	1142	161	7,8	1,8	1,8	92	15	1845	240	3,2	232	0	28	48	222
85	75	6,95	1062	154	7,8	1,5	1,5	83	12	1715	210	2,8	239	0	31	47	209
90	69	6,80	1038	137	7,4	1,5	1,2	90	12	1640	237	2,8	245	0	42	43	218

GEOTERMOMETROS

Aplicando el geotermómetro de Sílice en los 13 análisis (Tabla N°2) se observa consistencia en las estimaciones sobre 170°C alcanzando 176-177°C en las manifestaciones números 70, 71 y 72. A pesar de que estas manifestaciones muestran un mayor grado de contaminación en CaSO_4 aparentemente sufren menos enfriamiento por dilución.

TABLA N° 2Geotermómetro de Sílice

Manifestación N°	Fecha muestreo	Temperatura Sílice (Según Fournier-1966)
30	Oct. 78	151°C
30	Abr. 79	153°C
35	"	172°C
55	"	173°C
70	"	176°C
71	"	176°C
72	"	177°C
73	Oct. 78	172°C
75	Abr. 79	173,5°C
80	"	171°C
81	Oct. 78	173°C
85	Abr. 79	169°C
90	"	172°C

El geotermómetro de Na-K-Ca propuesto por Fournier y Truesdell: (1973) da resultados sorprendentes por su constancia a pesar del diferente grado de contaminación que presentan las muestras con sales de Calcio.

TABLA N° 3

Geotermómetro de Na-K-Ca

Manifestación N°	Fecha muestreo	Temperatura $\log \text{Na}/\text{K}+1/3 \log \sqrt{\text{Ca}/\text{Na}}$ (Según Fournier y Truesdell 1973)
30	Oct. 78	226°C
30	Abr. 79	228°C
35	"	228°C
55	"	222°C
70	"	230°C
71	"	234°C
72	"	230°C
73	Oct. 78	226°C
75	Abr. 79	226°C
80	"	226°C
81	Oct. 78	222°C
85	Abr. 79	225°C
90	"	216°C

La temperatura cercana a los 230°C que señala este geotermómetro es la misma que por el mismo método se obtuvo en los sondajes de Puchuldiza. Para la naturaleza de las manifestaciones y el grado de distorsión en que emergen los fluidos termales, esta temperatura es prometedora.

Como contrapartida a estas predicciones optimistas hay otros elementos en la composición de los fluidos que no son tan alentadores. El contenido en Magnesio es un indicador cualitativo de la temperatura de un sistema ; a menor contenido mayor temperatura. El magnesio en las muestras analizadas es alto para aguas termales y por lo tanto un indicador poco favorable, pero su presencia se podría explicar como contaminación de

la masa de agua del nivel freático.

Los contenidos de Calcio y Sulfato también son altos y desfavorables como indicadores de temperatura, su presencia en cierta proporción se puede deber a contaminación, pero mucho de este contenido es característico en su magnitud en las aguas de El Tatio (263°C) y Puchuldiza y se debe a la naturaleza de las rocas que lixivian el sistema hidrotermal.

RAZONES MOLARES

La Tabla N°4 muestra las razones molares de algunos elementos en las aguas termales, en los sondajes, en una vertiente que fluye en las cercanías del Volcán Oquecollo, que está en medio del Salar, y el agua surgente que fluyó del sondaje N°5 después de su perforación y que a nuestro parecer representaría la masa de agua que subyace el Salar.

Las muestras de las manifestaciones termales señalan constancia en las razones molares entre los elementos más solubles : Na/K, Na/Li, Cl/B, Cl/As y Cl/Cs, lo que indica su origen común. Estas mismas razones se mantienen en sus valores en las salmueras de los sondajes, salvo la razón Cl/B que en estas salmueras ha precipitado como ulexita (boronatocalcita) que es la forma mineralógica en que se encuentra el Boro en el Salar. Esta relación entre las razones molares indicadas de las manifestaciones termales y las salmueras demuestra que el origen de los depósitos salinos y evaporitas del Salar está en las manifestaciones termales

Comparando las razones molares de las aguas termales con el agua surgente del sondaje N°5 y la vertiente del Volcán Oquecollo, se encuentra una relación más cercana que demuestra más claramente la relación que se postula.

TABLA N° 4

RAZONES MOLARES

Manifestación N°	Na/K	Na/Li	Na/Ca	Cl/B	Cl/As	Cl/SO ₄	Cl/Cs
30	10,3	55	10,9	13,7	1.241	14,7	5.809
30	9,6	53	10,0	12,9	1.230	4,6	5.761
35	10,4	43	15,6	11,4	2.030	10,3	4.675
55	12,1	41	19,3	10,9	1.240	19,0	4.266
70	10,3	45	15,6	11,4	1.217	9,3	4.805
71	11,3	42	29,3	10,8	1.262	30,0	3.663
72	10,7	46	17,0	11,4	1.229	11,1	4.963
73	10,9	47	15,5	12,2	1.118	9,5	4.864
75	11,5	41	22,9	11,4	1.197	21,5	4.125
80	11,5	42	20,9	10,9	1.135	21,6	4.243
81	12,0	44	21,6	11,7	1.218	20,8	3.844
85	11,7	41	22,3	11,1	1.317	22,1	4.287
90	12,9	42	20,1	11,6	1.237	18,7	4.100
<u>SONDAJES</u>							
Sondaje N°1	10,2	43	138	29,7		24,5	-
N°2	11,2	48	183	30,6		14,8	-
N°3	9,8	47	9,0	5,8		5,5	-
N°4	9,4	41	143	34,8		31,1	-
N°5	8,5	61	11,1	6,4		6,2	-
N°6	10,0	42	40,1	12,1		12,4	-
N°7	8,6	37	93,7	21,0		14,3	-
N°8	10,5	41	81,8	23,3		13,4	-
N°9	12,4	54	109	23,8		8,5	-
N°10	9,9	63	28,7	16,6		4,0	-
Vert. Volcán Oquecollo	9,2	40	648	13,7		11,9	-
Sondajes N°5 surgente	9,5	46	28,5	8,1		6,3	-

ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La prospección geoquímica de un área termal está basada fundamentalmente en la interpretación de los análisis de los fluídos termales que descarga el sistema, en el presente caso esta información está alterada por contaminación y enfriamiento, por lo que las conclusiones de una interpretación pueden no ser muy fidedignas. Se debe hacer presente que la alteración de la composición de los fluídos inclina la interpretación hacia una apreciación pesimista.

A pesar de las condiciones poco favorables el geotermómetro de Sílice da una temperatura mínima de 177°C, esta temperatura representa un equilibrio de solubilidad cercano o inmediato. El geotermómetro de Na-K-Ca que representa un equilibrio químico más lejano da una temperatura de 230°C, ambas temperaturas no son despreciables para información, que sabemos, no es directa del sistema.

La concentración y naturaleza de los elementos disueltos en las aguas termales indican que ellas pertenecen a un sistema hidrotermal, especialmente las concentraciones de Boro, Arsénico, Litio, Cesio y Rubidio, que son elementos característicos en la lixiviación que se produce en un proceso hidrotermal que se desarrolla a altas temperaturas y presiones. Si se tratara de aguas meteóricas calentadas por inducción su concentración y composición sería muy diferente.

No sabemos de ningún otro sistema hidrotermal en el mundo en que se pueda ubicar su descarga salina como en Surirí, a manera de especulación, en base a los datos proporcionados por el estudio del señor Salas, se puede estimar la descarga salina del sistema hidrotermal de Surire en: $1,44 \times 10^{10}$ toneladas de

sales, considerando la superficie del Salar de 120 Km² y un espesor de la capa salina de 60 m. y un peso específico de 2. Esto representaría $2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de agua termal, suponiendo su contenido salino actual de 5 g/l, estas cifras aunque especulativas, como se ha dicho, dan una idea de la importancia que ha tenido el sistema en el pasado y que debe seguir teniendo, porque geológicamente pertenece al presente.

La cuenca del Salar de Suriri tiene una superficie aproximada de 570 Km², medidos en la carta 1:50.000 del I.G.M. y una precipitación promedio de 250 mm anuales, lo que asegura una buena recarga al sistema.

La geología todavía no estudiada desde el punto de vista geotérmico presentaría condiciones favorables a la existencia de un sistema hidrotermal muy semejante a los de El Tatio y Puchuldiza. Existen los elementos necesarios para configurar dichas condiciones: una fuente de calor asociada a un volcanismo reciente, un sistema de fallas, y una formación sedimentaria antigua que serviría de sello impermeable al sistema.

Haciendo un balance de las posibilidades que presenta Suriri, podemos afirmar que son promotoras y que merecen un estudio más profundo.

A N E X O

P L A N I L L A S D E A N A L I S I S
D E L A S A G U A S T E R M A L E S

- - - - -

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 30
Poza Polloquere. Temp. 66 °C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Octubre de 1978

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	190	9,48	Hidróxidos(OH)	0	
Magnesio (Mg)	48	3,95	Carbonatos(CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.187	51,61	Bicarbonatos(HCO ₃)	154	2,52
Potasio (K)	195	4,99	Sulfatos(SO ₄)	984	20,49
Litio (Li)	6,5	0,94	Cloruros(Cl)	1.704	48,05
Cesio (Cs)	1,1	0,01	Boro (B)	38	
Rubidio (Rb)	1,2	0,01	Arsénico (As)	2,9	
			Sílice (SiO ₂)	145	
Balance Ionico		70,99			71,06
Dureza total:	672	mg/l CaCO ₃	pH:	6,52 a 21°C	
" carbonatosa:	126	" "	Anh. Carbónico dis.(CO ₂):	41 mg/l	
" no carbonatosa:	546	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.578	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.660	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo

de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 30
Poza Polloquere, Temp. 64°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril de 1979

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	202	10,08	Hidróxidos(OH)	0	
Magnesio (Mg)	46	3,78	Carbonatos(CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.155	50,22	Bicarbonatos(HCO ₃)	151	2,48
Potasio (K)	204	5,22	Sulfatos(SO ₄)	992	20,65
Litio (Li)	6,6	0,95	Cloruros(Cl)	1.690	47,66
Cesio (Cs)	1,1	0,01	Boro (B)	40	
Rubidio (Rb)	1,2	0,01	Arsénico (As)	2,9	
			Sílice (SiO ₂)	156	
Balance Ionico		70,27	70,79		
Dureza total:	693	mg/l CaCO ₃	pH: 6,30 a 12°C		
" carbonatosa:	124	" "	Anh. Carbónico dis.(CO ₂): 48 mg/l		
" no carbonatosa:	569	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos,suma:	4.570	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.650	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

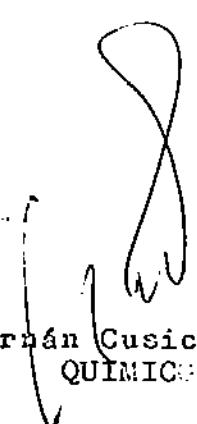
Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 35
Temp. 73°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril 1979

CATIONES			ANIONES		
	mg/l	me/l		mg/l	me/l
Calcio (Ca)	132	6,59	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	26	2,14	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.182	51,39	Bicarbonatos (HCO ₃)	204	3,54
Potasio (K)	193	4,94	Sulfatos (SO ₄)	493	10,26
Litio (Li)	8,2	1,18	Cloruros (Cl)	1.870	52,73
Cesio (Cs)	1,5	0,01	Boro (B)	50	
Rubidio (Rb)	1,6	0,02	Arsénico (As)	3,0	
			Sílice (SiO ₂)	218	
Balance Ionico		66,27	66,33		
Dureza total:	437	mg/l CaCO ₃	pH: 6,7 a 12°C		
" carbonatosa:	167	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂): 43 mg/l		
" no carbonatosa:	270	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.278	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.370	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979


 Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 55
Temp. 75°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril de 1979

CATIONES			ANIONES		
	mg/l	me/l		mg/l	me/l
Calcio (Ca)	101	5,04	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	14	1,15	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.120	48,70	Bicarbonatos (HCO ₃)	259	4,24
Potasio (K)	157	4,02	Sulfatos (SO ₄)	259	5,39
Litio (Li)	8,2	1,18	Cloruros (Cl)	1.820	51,32
Cesio (Cs)	1,6	0,01	Boro (B)	51	
Rubidio (Rb)	1,5	0,02	Arsénico (As)	3,1	
			Sílice (SiO ₂)	221	
Balance Ionico		60,12	60,95		
Dureza total:	310	mg/l CaCO ₃	pH: 6,85 a 12°C		
" carbonatosa:	212	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂): 41 mg/l		
" no carbonatosa:	98	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	3.884	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.100	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 70
Temp. 83°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril 1979

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	145	7,24	Hidróxidos(OH)	0	
Magnesio (Mg)	29	2,38	Carbonatos(CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.295	56,31	Bicarbonatos(HCO ₃)	166	2,72
Potasio (K)	213	5,45	Sulfatos(SO ₄)	597	12,43
Litio (Li)	8,6	1,24	Cloruros(Cl)	2.050	57,81
Cesio (Cs)	1,6	0,01	Boro (B)	55	
Rubidio (Rb)	1,5	0,02	Arsénico (As)	3,5	
			Sílice (SiO ₂)	234	
Balance Ionico		72,65			72,96
Dureza total:	481	mg/l CaCO ₃	pH: 7,00 a 17°C		
" carbonatosa:	136	" "	Anh. Carbónico dis.(CO ₂): 20 mg/l		
" no carbonatosa:	345	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.715	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.950	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUÍMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 71
Temp. 83 °C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en

CATIONES			ANIONES		
	mg/l	me/l		mg/l	me/l
Calcio (Ca)	90	4,49	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	7,5	0,62	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.515	65,87	Bicarbonatos (HCO ₃)	144	2,36
Potasio (K)	227	5,81	Sulfatos (SO ₄)	229	4,77
Litio (Li)	11	1,59	Cloruros (Cl)	2.540	71,63
Cesio (Cs)	2,6	0,02	Boro (B)	72	
Rubidio (Rb)	2,4	0,03	Arsénico (As)	4,25	
			Sílice (SiO ₂)	235	
Balance Ionico		78,43	78,76		
Dureza total:	256	mg/l CaCO ₃	pH:	6,85 a 12°C	
" carbonatosa:	118	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂): 23 mg/l		
" no carbonatosa:	138	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	5.007	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	5.120	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 72
Temp. 83 °C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril de 1979

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	143	7,14	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	28	2,30	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.395	60,65	Bicarbonatos (HCO ₃)	139	2,28
Potasio (K)	222	5,68	Sulfatos (SO ₄)	549	11,43
Litio (Li)	97	1,40	Cloruros (Cl)	2.250	63,45
Cesio (Cs)	1,7	0,01	Boro (B)	60	
Rubidio (Rb)	1,7	0,02	Arsénico (As)	4,25	
			Sílice (SiO ₂)	238	
Balance Ionico		77,20			77,16
Dureza total:	472	mg/l CaCO ₃	pH:	6,55 a 17°C	
" carbonatosa:	114	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂):	35 mg/l	
" no carbonatosa:	358	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.970	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	5.100	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUÍMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 73
Temp. 75°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Octubre de 1978

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	148	7,39	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	32	2,63	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.317	57,26	Bicarbonatos (HCO ₃)	162	2,66
Potasio (K)	205	5,24	Sulfatos (SO ₄)	596	12,41
Litio (Li)	8,4	1,21	Cloruros (Cl)	2.084	58,77
Cesio (Cs)	1,6	0,01	Boro (B)	52	
Rubidio (Rb)	1,8	0,02	Arsénico (As)	3,6	
			Sílice (SiO ₂)	218	
Balance Ionico		73,76			73,84
Dureza total:	501	mg/l CaCO ₃	pH:	6,85 a 21°C	
" carbonatosa:	133	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂):	25 mg/l	
" no carbonatosa:	368	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.747	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.900	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 80
Temp. 75°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril de 1979

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	109	5,44	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	14	1,15	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.305	56,74	Bicarbonatos (HCO ₃)	211	3,46
Potasio (K)	192	4,91	Sulfatos (SO ₄)	270	5,62
Litio (Li)	9,4	1,35	Cloruros (Cl)	2.150	60,63
Cesio (Cs)	1,9	0,01	Boro (B)	60	
Rubidio (Rb)	1,6	0,02	Arsénico (As)	4,0	
			Sílice (SiO ₂)	215	
Balance Ionico		69,62			69,71
Dureza total:	330	mg/l CaCO ₃	pH:	6,65	a 12°C
" carbonatosa:	173	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂):	47	mg/l
" no carbonatosa:	157	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	4.436	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.540	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo

de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 75
Temp. 80°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril 1979

CATIONES			ANIONES		
	mg/l	me/l		mg/l	me/l
Calcio (Ca)	88	4,39	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	13	1,07	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.155	50,22	Bicarbonatos (HCO ₃)	236	3,86
Potasio (K)	171	4,37	Sulfatos (SO ₄)	236	4,91
Litio (Li)	8,4	1,21	Cloruros (Cl)	1.870	52,73
Cesio (Cs)	1,7		Boro (B)	50	
Rubidio (Rb)	1,5	0,02	Arsénico (As)	3,3	
			Sílice (SiO ₂)	225	
Balance Ionico	61,28				61,50
Dureza total:	273	mg/l CaCO ₃	pH:	7,55 a 17°C	
" carbonatosa:	193	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂):	25 mg/l	
" no carbonatosa:	80	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	3.939	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.160	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 81
Temp. 78°C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Octubre de 1978

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	92	4,59	Hidróxidos(OH)	0	
Magnesio (Mg)	15	1,23	Carbonatos(CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.142	49,65	Bicarbonatos(HCO ₃)	232	3,80
Potasio (K)	161	4,12	Sulfatos(SO ₄)	240	5,00
Litio (Li)	7,8	1,12	Cloruros(Cl)	1.845	52,03
Cesio (Cs)	1,8	0,01	Boro (B)	48	
Rubidio (Rb)	1,8	0,02	Arsénico (As)	3,2	
			Sílice (SiO ₂)	222	
Balance Ionico		60,74			60,83
Dureza total:	291	mg/l CaCO ₃	pH:	7,01 a 21 °C	
" carbonatosa:	190	" "	Anh. Carbónico dis.(CO ₂)	28 mg/l	
" no carbonatosa:	101	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	3.894	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	4.120	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán
Cusicanqui



ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - CORFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 85
Temp. 75 °C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	83	4,14	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	12	0,99	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.062	46,18	Bicarbonatos (HCO ₃)	239	3,92
Potasio (K)	154	3,94	Sulfatos (SO ₄)	210	4,37
Litio (Li)	7,8	1,12	Cloruros (Cl)	1.715	48,36
Cesio (Cs)	1,5	0,01	Boro (B)	47	
Rubidio (Rb)	1,5	0,02	Arsénico (As)	2,8	
			Sílice (SiO ₂)	209	
Balance Ionico		56,40			56,65
Dureza total:	257	mg/l CaCO ₃	pH:	6,95 a 12°C	
" carbonatosa:	196	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂):	31 mg/l	
" no carbonatosa:	61	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	3.624	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	3.790	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

ANALISIS DE AGUA

Remitente : Comité Geotérmico - COREFO

Procedencia : Suriri, Manifestación termal N° 90
Temp. 69 °C

Muestra tomada por : H. Cusicanqui en Abril de 1979

CATIONES	mg/l	me/l	ANIONES	mg/l	me/l
Calcio (Ca)	90	4,49	Hidróxidos (OH)	0	
Magnesio (Mg)	12	0,99	Carbonatos (CO ₃)	0	
Sodio (Na)	1.038	45,13	Bicarbonatos (HCO ₃)	245	4,02
Potasio (K)	137	3,50	Sulfatos (SO ₄)	237	4,93
Litio (Li)	7,4	1,07	Cloruros (Cl)	1.640	46,25
Cesio (Cs)	1,5	0,01	Boro (B)	43	
Rubidio (Rb)	1,2	0,01	Arsénico (As)	2,8	
			Sílice (SiO ₂)	218	
Balance Ionico		55,20	55,20		
Dureza total:	274	mg/l CaCO ₃	pH: 6,80 a 12°C		
" carbonatosa:	201	" "	Anh. Carbónico dis. (CO ₂): 42 mg/l		
" no carbonatosa:	73	" "			
Alcalinidad Total:		" "			
Sólidos disueltos, suma:	3.548	mg/l			
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C:	3.700	mg/l			

SANTIAGO, 10 de Mayo

de 1979

Hernán Cusicanqui R.
QUIMICO

BIBLIOGRAFIA

- Cusicanqui, H., Mahon W.A.J., Ellis, A.J.
(1975) La geoquímica del Campo Termal de El Tatio al Norte de Chile. Proceedings, 2° U.N. Symposium on the development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, USA (Vol 1 p. 703-711).
- Cusicanqui, H.
(1975) Estudio Geoquímica del Campo Geotérmico de Puchuldiza. Comité Geotérmico, CORFO Inf. Inédito.
- Cusicanqui, H.
(1977) Estudio Geoquímico de los Pozos 1, 2 y 3 del Campo Geotermal de Puchuldiza. Comité Geotérmico CORFO Inf. Inédito.
- Cusicanqui, H.
(1978) Estudio Geoquímico de los Pozos 2, 3, 4 y 5 del Campo Geotermal de Puchuldiza. Comité Geotérmico CORFO Inf. Inédito.
- Cusicanqui, H.
(1978) Evaluación Geoquímica del Yacimiento Hidrotermal de Puchuldiza I Región. Comité Geotérmico CORFO Inf. Inédito.
- Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J.
(1964) Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water/Rock Interaction (Part I). Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol 28 Part. II
Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol 31.
- Ellis, A.J.
(1970) Quantitative Interpretation of Chemical Characteristics of Hydrothermal Systems. Proceedings of the Piza U.N. Geothermal Symposium.

- Fournier, R.O. & Rowe, J.J. Estimation of Underground Temperatures from Silica Content of Water from Hot Springs & Wet-Steam Wells. American Journal of Science Vol 264. (1966)
- Fournier, R.O. & Truesdell, A.H. An Empirical Na-K-Ca geothermometer for natural Waters. Geochimica et Cosmochimica Acta Vol 37. (1973)
- Fournier, R.O. & Truesdell, A.H. Calculation of Deep Temperatures in Geothermal Systems from Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origen. Proceeding 2° U.N. San Francisco Symposium on Geothermal Resources... (Vol 1). (1975)
- Mahon, W.A.J. Silica in Hot Water Discharged from Drillholes at Wairakei, N.Z. N.Z. Jour, Sci. Vol 9. (1966)
- Mahon, W.A.J. Review of Hydrochemistry of Geothermal Systems Prospectings, Development, and Use. Proceedings, 2° U.N. Symposium on the Development and Use Of Geothermal Resources. San Francisco Vol. 1. (1975)
- Salas, O.R. Estudio Geológico del Salar de Surire, Instituto de Investigaciones Geológicas, Inf. Inédito. (1975)
- Trujillo, P. Estudio de las Manifestaciones Termals de Suriri. Comité Geotérmico, CORFO, Inf. Inédito. (1972)
- White, D.E., Geochemistry Applied to the Discovery, Evaluation an Exploitation of Geothermal Resources. Proceedings of the U.N. Geothermal Symposium.(Piza). (1970)