

01420

CORPORACION de FOMENTO	
Depto. Recursos Hidráulicos	
Ofna. Archivo	No. 7

SONDAJE Y RECURSOS DE AGUA
SUBTERRANEA EN PAMPA SOLEDAD.-

Jorge Alvarez R.

E N A P.

1962.

C O P I A

CCC.

EMPRESA NACIONAL DEL PETROLEO
Corporación de Fomento de
la Producción.

Iquique, 29 de noviembre de 1962.

N° R-285/62

REF: ENVIA COPIA INFORME "POZO
DE AGUA SOLEDAD."

Señores
Corporación de Fomento de la Producción
Departamento de Tarapacá
PRESENTE

Muy señores nuestros:

Rogamos encontrar, adjunto, copia del informe sobre "Pozo de Agua Soledad", que estimamos puede ser de interés en el futuro. Este trabajo complementa el - enviado a Uds. con nuestra carta N°R-279/62 del 20 del presente.

Saluda atentamente a Uds.,

EMPRESA NACIONAL DEL PETROLEO

Carlos Mordojovich K.
Ingeniero Jefe

CMK/fgv.
cc:arch

Incluso: Copia informe y planos.

CCC.

Iquique, 27 de Noviembre de 1962.

N° 399/62

REF: INFORME "POZO DE AGUA SOLEDAD".

Señores
Empresa Nacional del Petróleo
Casilla 3556
SANTIAGO

Muy señores nuestros:

Tenemos el agrado de remitir a Uds. el informe del Sr. Jorge Alvarez sobre el tema de la referencia, en el cual se hace un somero análisis de los recursos hidrológicos de Pampa Soledad.

El sondaje "Soledad N°1" quedó ubicado en una de las zonas más áridas de la Provincia. Resolver en la forma más económica posible el abastecimiento de agua para el sondaje fué un problema urgente que afortunadamente se resolvió en forma relativamente satisfactoria mediante un sondaje ubicado en la única zona que posee agua a profundidad alcanzable con los medios disponibles.

Los antecedentes reunidos en este informe pueden ser útiles en el futuro para otras actividades, por lo que estamos remitiendo copia de este informe al Departamento de Tarapacá de la Corporación de Fomento de la Producción.

Saluda atentamente a Uds.

EMPRESA NACIONAL DEL PETROLEO

Carlos Mordojovich K.
Ingeniero Jefe

CMK/fgv.
cc:Corfo. Iqq.
arch

Incl: 1 Informe
4 planos
4 apéndices

MEMORANDUM

N° 26/62 - Geol.

IQUIQUE, 19 de Noviembre de 1962

A Ingeniero Jefe

DE Geólogo Jefe

REF: ENVIA INFORME "POZO AGUA SOLEDAD Y ^{RECURSOS} ~~RECURSOS~~
DE AGUA SUBTERRANEA EN PAMPA SOLEDAD", POR
JORGE ALVAREZ R.-

Sírvase encontrar adjunto el informe sobre "Pozo de agua Soledad y recursos de agua subterránea en Pampa Soledad" por Jorge Alvarez R.

En este trabajo se incluyen los resultados obtenidos en la perforación de un pozo de agua en la zona noroccidental de Pampa Soledad, el cual ha dado una producción de 1,5 lts/seg. de agua, con salinidad total de 4,34 grs/lt. Esta agua no es apta para la bebida ni riego por su contenido en sulfato que alcanza a 1,864 gr/lt.

Los antecedentes sobre recursos hidrológicos del área son escasos y se restringen a la parte norte del Salar de Llamara. Todas las aguas que allí afloran son inaprovechables para usos normales, lo cual da a la zona un carácter negativo en cuanto a auto-abastecimiento se refiere.

Hacia el Este, en la zona de pampa, no hay demostraciones de la presencia de agua y aún en las perforaciones mismas, tanto sísmicas como profundas en busca de petróleo, no se han tenido indicaciones de napas acuíferas de interés. Esto se debe sin duda a que al Sur de Quebrada Huatacondo la pre-cordillera andina se hace notablemente más árida que hacia el Norte, debido a que el desarrollo drenaje del Río Loa restringe la captación de las aguas a las quebradas que corren hacia el Oeste.

Floreal Garcia A.

FGA/tcs.
cc: 3.

Incl: 1

**POZO DE AGUA SOLEDAD Y RECURSOS DE AGUA
SUBTERRANEA EN PAMPA SOLEDAD**

Jorge Alvarez R.

POZO DE AGUA SOLEDAD Y RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA EN
PAMPA SOLEDAD

J. Alvarez R.

	<u>Páginas</u>
I - RESUMEN	1
II - INTRODUCCION	1-2
III - TRABAJOS ANTERIORES	1-2-3-4
IV - GEOGRAFIA	4-5-6
1) Ubicación	
2) Relieve	
3) Clima	
V - GEOLOGIA DE SUBSUPERFICIE	7-8-9-10
1) Introducción	
2) Paleozoico	
3) Rocas intrusivas del basamento complejo	
4) Cenozoico	
VI - GEOLOGIA DE SUBSUPERFICIE	10-11-12
1) Introducción	
2) Perforaciones que han alcanzado el basamento complejo.	
3) Perforaciones que no han llegado al basamento complejo.	
VII - HIDROLOGIA	12-13-14-15-16
1) Hidrografia	
2) Recarga	
3) Movimiento	
4) Descarga	
5) Afloramientos de agua	
6)	
VIII - SONDAJES PARA EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA	17-18
IX - POZO DE AGUA SOLEDAD	18 al 27
1) Introducción	
2) Enfoque del problema	
3) Solución adoptada	
4) Detalle de trabajos ejecutados y resultados obtenidos	
5) Columna estratigráfica del Pozo de Agua Soledad	
6) Conclusiones	
X - CONCLUSIONES	27-28

LISTA DE PLANOS

- 1.- Plano de Ubicación de la zona.
- 2.- Sección estratigráfica en Pampa Soledad. Ensayo de correlación Soledad N°1 - Hilaricos N°1.
- 3.- Columna estratigráfica del Pozo de Agua Soledad.
- 4.- Secciones estratigráficas Pozos Hilaricos N°1 y Soledad N°1 (por A. Gallardo B.).

A P E N D I C E

ANALISIS DE AGUA DEL SERVICIO DE MINAS DEL ESTADO.

REGISTRO DE TEMPERATURAS EN HILARICOS N°1 Y SOLEDAD N°1.

JAR/tcs.
cc:4.

CCC.

I - R E S U M E N

Se reúne toda la información de interés hidrogeológico registrada por Enap, en razón de sus trabajos de exploración petrolífera en Tarapacá, y que tienen relación con el agua subterránea de Pampa Soledad, sector sur de la Pampa del Tamarugal.

Se informa de los trabajos realizados y resultados obtenidos en el Pozo de Agua Soledad, sondaje de 89 m de profundidad ubicado en el borde oriental del Salar de Llamara, sector sur-occidental de Pampa Soledad.

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

El imperativo de proveer de agua adecuada al equipo y campamento adyacente, para la perforación del Pozo de Exploración Soledad N°1, condujeron a ejecutar un sondaje para agua, con resultados positivos, que quedó ubicado en el borde oriental del Salar de Llamara o Salar de Soledad, 50 m al oeste de la carretera panamericana.

Se han reunido los antecedentes que Enap ha logrado registrar con motivo de sus diferentes faenas de investigación petrolífera en el área de Pampa Soledad y que tienen relación con el conocimiento del agua subterránea de esa zona.

Con excepción del pozo de agua R-89-P4 y del Pozo de agua Soledad, no se ha ejecutado ningún trabajo de terreno

especialmente orientado al conocimiento del agua subterránea.

Por lo tanto, muchas de las observaciones de terreno y registro de datos, son incompletos o sólo parcialmente adecuados para un trabajo de esta naturaleza. Sin embargo hemos intentado coordinar esta información con la pretensión de hacer una contribución, en la medida de su valor, al mejor conocimiento del agua subterránea en este sector ^{SUR} de la Pampa del Tamarugal.

Se presenta un plano de ubicación de la zona - (Plano N°1), una sección Estratigráfica de Pampa Soledad, entre los pozos Soledad N°1 e Hilaricos N°1 (Plano N°2) y una Columna Estratigráfica del Pozo de Agua Soledad (Plano N°3).

Cuando hablamos del Vértice Soledad, nos referimos al hito Soledad del levantamiento de la Superintendencia del Salitre.

III. TRABAJOS ANTERIORES

No tenemos mucha información bibliográfica de estudios ejecutados sobre Pampa Soledad relacionados con agua subterránea.

J. Taylor Jr. en su interesante trabajo "Ground Water Studies in the Province of Tarapacá, Chile" (1947), se refiere someramente en unas pocas líneas a este sector. Propone dos ubicaciones: 1) a lo largo del ferrocarril entre Estación Cerro Gordo y Estación Ramaditas, y 2) en el triángulo formado por el camino Iquique-Antofagasta y una línea imaginaria entre la prominencia norte de Cerro Soledad y Estación Ramaditas. Estima que pozos de 100 a 200 m serían suficientes para probar las posibilidades acuíferas de esas zonas. Previene contra la posibilidad de encontrar aguas de inferior calidad química a menos de 2 Km de proximidad a las rocas del

"basement complex." Termina diciendo que existe posibilidad de encontrar entre Cerro Término y Cerro Soledad, agua de similar calidad a la de la Quebrada Guatacondo.

Octavio Castillo V., geólogo del Instituto de Investigaciones Geológicas en su completo estudio "El Agua - Subterránea en el Norte de la Pampa del Tamarugal", 1960, se refiere a la posibilidad del movimiento del agua subterránea hacia el Sur, fuera del área por él estudiada a través del subsuelo de la angostura de los Cerros Cachango y Gordo. El límite Sur del área estudiada por el Sr. Castillo está muy próxima al límite Norte de nuestra área.

El Dr. Brügger en "Fundamentos de la Geología de Chile (1950), al referirse al desarrollo de Los Andes del Norte de Chile después de su solevantamiento terciario, habla del gran "Lago Soledad" formado por un solevantamiento que sufrió la zona Norte de la pampa del Tamarugal en el Plioceno. Este lago creado por el estancamiento de las aguas de la alta cordillera a las cuales se agregaban las aguas del río Loa ocupó todo el Valle Longitudinal desde los Cerros Cachango y Cerro Gordo en el Norte hacia más allá de Quillagua. Hacia el Oeste ocupó toda la depresión del Salar de Iamará y mandó un largo y ancho golfo hacia el N.W. que rellenó la depresión del Salar Grande. El límite occidental se encontró en el relleno Terciario del bolsón de Calate.

La concentración de sales por evaporación de las aguas habría dado origen a las enormes depósitos de cloruro de sodio del Salar Grande y los mantos de más de 10 m. de espesor en "Meseta de la Sal" en el sector sur-oriental de Pampa Soledad.

Por último el desborde de las aguas del lago a la altura de Calate habrían excavado el enorme cañón del río Loa entre Calate y el mar.

IV - G E O G R A F I A1) UBICACION

El área de Pampa Soledad corresponde al Sector ^{SUR} de la Pampa del Tamarugal ubicado en los extremos Sur y Norte de las Provincias de Tarapacá y Antofagasta respectivamente, entre los paralelos 21° y 21° 35'. Limita al Norte con los C°s Challacollo, Gordo y Buitres, al Sur por el Cono de deyección de Quebrada Arca y las elevaciones de Loma de Sal, al Este con los faldeos del borde occidental de la Cordillera Andina y al Oeste con el Borde oriental de la Cordillera de la Costa.

El Salar de Soledad o Salar de Llamara constituye una suave depresión topográfica, interserrana, del sector sur-occidental de Pampa Soledad. Limita al Nor-oeste con la Sierra de Lagunas al oeste con el cordón formado por los C°s. Llamara, Desamparado y Calate, al Sur con los C°s ~~Llamara, Desamparado~~ de Hilaricos y al Sureste con el grupito de C°s Soledad.

Este Salar presenta la forma de dos manchas - alargadas en el sentido Noroeste-Sureste unidas por una estrecha garganta a la altura de Cerro Mogote.

2) RELIEVE

El salar está en una cota de alrededor de 750 m s.n.m. en su parte más baja. Los cerros de la Cordillera de la Costa que lo rodea alcanzan las siguientes altitudes s.n.m.: C°s Lagunas entre 1.200 y 1.400 m, C°s Desamparado y Calate, alrededor de 1.200 m y C°s Soledad alrededor de 1.000.

Hacia el Este se desarrolla la pampa en una

extensión transversal de 50 Km., como una planicie ascendente muy suave que alcanza la cota 1.200 m en las proximidades de los primeros faldeos cordilleranos. En el sentido N.S., Pampa Soledad, tiene una extensión aproximada de 70 Km y ^{presenta} ~~presta~~ un relieve ligeramente cóncavo que muestra un desnivel, con respecto al sector central, de 100 m más alta en el extremo norte y 180 m más alta en el extremo sur.

El relieve al Este de la pampa, al entrar~~ar~~ en los faldeos del Borde Occidental de la Cordillera Andina^{se}, desarrolla como un plano ascendente rápido que en una extensión de 30 Km alcanza la planicie cordillerana con una cota de alrededor de 4.000 m. Esta planicie tiene escaso desarrollo más hacia el Este al quedar interrumpido por la depresión longitudinal de la cuenca superior del río Loa que corre N-S.

Este Borde Occidental Andino al oeste de la cuenca del Loa, está cortado por numerosas quebradas transversales generalmente angostas, que corren aproximadamente paralelas de Este a Oeste. Estas quebradas encuentran su nivel base en el borde oriental de la pampa.

3) CLIMA

El clima de la zona es el conocido para la Pampa del Tamarugal y clasificado como desértico normal.

Algunos controles de temperatura llevados por ENAP, indican una notable variación entre la máxima y mínima registradas.

En el sector de Hilaricos 10 Km al Este de la Estación del mismo nombre, el 24 de Junio se registró una variación de 30°C entre la temperatura diurna y nocturna. En el sector de pampa ubicado a unos 18 Km al Este-NE de C° Soledad se registró una variación de 32°C.

Sin embargo no podemos decir que estas son las máximas variaciones de temperatura que se producen durante el año - porque el control se llevó sólo entre el 18 de Junio y el 31 de Julio en el Sector de Hilaricos y entre el 10 de Agosto y 5 de Septiembre en el Sector de Soledad, en conexión con los trabajos de perforación.

La temperatura más baja registrada generalmente no descendió de 0°C. excepto los días 25 de Junio y 13 de Julio - que se registró -2°C y -1°C respectivamente, en el Sector de Hilaricos.

En los meses de Invierno se presentan neblinas densas, conocidas como "camanchaca" que traen los vientos del oeste en el atardecer y permanecen durante toda la noche, hasta - que son despejadas, temprano, por el brillante sol,

No se conocen precipitaciones en la región de pampa. Las precipitaciones son de tipo torrencial durante el verano, en la región de la Cordillera Andina.

V - GEOLOGIA DE SUPERFICIE

1) INTRODUCCION

La información geológica de los afloramientos que circundan el área de Pampa Soledad es abundante en la actualidad, debido a los trabajos que en esas zonas han efectuado los geólogos de Enap.

Del Paleozoico y Mesozoico, están expuestas formaciones sedimentarias de ambiente continental y marino y rocas ígneas extrusivas e intrusivas, tanto en los Cerros de la Cordillera Andina como en los de la Cordillera de la Costa. Del Cenozoico hay rocas sedimentarias y efusivas cubriendo discordantemente las formaciones más antiguas de la Cordillera Andina y series sedimentarias cubriendo el relleno de la pampa y adosadas al pie de los faldeos orientales de los cerros de la Cordillera de la Costa.

El conjunto de rocas pertenecientes a los períodos Paleozoico y Mesozoico es conocido como basamento complejo en el lenguaje hidrogeológico y marcan el límite basal de los sedimentos del Cenozoico con capacidad para contener napas acuíferas.

2) PALEOZOICO Y MESOZOICO

Perteneciente al Paleozoico Superior se ha reconocido la Formación El Toco, integrada por pizarras y cuarcitas, que afloran en el sector de C^os Desamparado y Calate, en la Costa y al interior de Quebrada Arca en la Cordillera Andina.

En los cerros de la costa que bordean pampa Soledad, están presentes, con poco espesor, sedimentos marinos del Ju

rásico Inferior y Medio. Hay calizas del Lías en C° Gordo y areniscas, brechas y calizas, que se han correlacionado con formaciones de edad Bajociano y ^{Caloviano} Coloviano, en los sectores de Cono - de Hilaricos y C°s Soledad.

En el borde occidental andino, el Mesozoico está representado por estratos del Jurásico Superior y del Cretácico, que afloran en una extensa faja N-S. Del Jurásico se ha reconocido la Formación Majala (marina) integrada por lutitas negras fosilíferas e intercalaciones de cuarcita y la formación Huatacondo (continental) formada por una sucesión de lutitas chocolate-rojizo e intercalaciones de limolita cuarcítica café-rojizo. Del Cretácico están presentes los estratos continentales de la Formación Empexa, compuesta por brechas y conglomerados arenosos de rocas porfiríticas con frecuentes episodios de efusiones volcánicas.

3) ROCAS INTRUSIVAS DEL BASAMENTO COMPLEJO.

Intrusiones ígneas pre-jurásicas y post jurásicas están presentes y ^{han} alterado los estratos del basamento complejo.

En el sector de la Cordillera de la Costa afloran: Granito Mesa (pre-Jurásico) en C°s Soledad y Término y apófisis del batolito de la Cordillera de la Costa, conocido como ~~Granodiorítica~~ ^{Granodiorita} Camarones (Mesozoico Pre-Cretácico) en los C°s. Soledad, Hilaricos, Término y Cachango.

En el Borde Occidental Andino están bastante difundidos los intrusivos. Afloran: granito pre-jurásico en el sector más oriental y apófisis intrusivos de composición básica, intermedia y ácida de rocas granudas y porfiríticas que cortan claramente los estratos jurásicos. Es posible que algunas de las intrusiones ácidas sean de edad Cretácico.

4) CENOZOICO

Los afloramientos de rocas del Cenozoico atribuidas al Terciario están expuestas en el sector de la Cordillera Andina.

En Quebrada Sama afloran más de 420 m de una serie de conglomerados rojos que tentativamente hemos referido al Terciario, ubicándolos en una posición estratigráfica bajo la Formación Altos de Pica por la cual aparecen cortados discordantemente. Esta serie de Sama está compuesta por más de 420 m de conglomerados rojos brechosos, mal clasificados, de tamaño variable principalmente entre 3 y 40cm constituido generalmente por roca afanítica verde claro y gris medio con guías de calcita y roca ígnea compuesta de feldespatos y abundante moscovita, unidos con cemento arcilloso-calcáreo café-rojizo.

También ha sido atribuida al Terciario la Formación Altos de Pica (designación de C. Galli) o Formación Riolítica (designación de J. Brügen) integrada por capas de conglomerados y areniscas continentales y mantos de tobas y lavas riolíticas, que en la región Andina alcanzan gran extensión cubriendo con discordancia las rocas del "basamento complejo."

Como pertenecientes probablemente al Cuaternario han sido referidas las capas de la Formación El Loa, expuestas parcialmente en el extremo sur-oeste de Pampa Soledad y poco más al Sur en el Valle del Loa. La sección en el valle del Loa está integrada con espesor reducido y variable por bancos de arenisca fina y limolita chocolate en la parte inferior ^{Toba arenisca tobífera, kieselguhr y algunos bancos de...} y bancos de caliza arenosa gris clara con textura tubular en la parte superior. En el extremo sur-oeste de Pampa Soledad aflora la parte superior de esta serie con

intercalaciones de bancos de yeso y anhidrita (F. García A. "Reconocimiento Geológico en la parte Sur de La Provincia de Tarapacá y Norte de la Provincia de Antofagasta", 1960).

Los sedimentos recientes cubren toda la pampa y han sido aportados por las avenidas periódicas que han arrastrado los derrubios de las cuencas andinas. Variando de acuerdo a los volúmenes de agua que se han derramado sobre el sector de pampa, próximo a los faldeos andinos se encuentran los conglomerados más gruesos y cercanos a los cerros de la Cordillera de la Costa se han depositado los sedimentos finos de arcillas y limos.

VI - GEOLOGIA DE SUB-SUPERFICIE

1) INTRODUCCION

Como parte del plan de exploraciones petrolíferas de la zona Norte desarrollado por ENAP, se ejecutaron trabajos de gravimetría combinados con levantamientos magnetométricos y posteriormente completados por el método de exploración sísmica, que han proporcionado un conocimiento previo indirecto en cuanto a estructura, posible naturaleza y posibles espesores de las formaciones de subsuperficie de extensos sectores de Pampa Soledad.

Ultimamente dos sondajes exploratorios, uno de ellos en actual ejecución, han revelado la estratigrafía de la sub-superficie de esta pampa, proporcionando valiosa información directa, para reevaluar los antecedentes obtenidos por las técnicas geofísicas.

Una vez completados estos trabajos, la información geológica de la sub-superficie de esta zona, será abundante.

2) PERFORACIONES QUE HAN ALCANZADO HASTA EL BASAMENTO COMPLEJO:

El Grupo del relleno de la pampa, que cubre el basamento complejo, ha sido totalmente atravesado por las dos perforaciones, en Pampa Soledad.

Las perforaciones corresponden al Pozo Hilaricos N°1 ubicado 10 Km al S.E. de la Estación de Ferrocarriles Hilaricos, que encontró 930 m de sedimentos sobre el basamento complejo y el Pozo Soledad N°1, en actual ejecución, ubicado 17,85 Km al Este N.E. del Vértice Soledad, que ha atravesado 601 m de sedimentos sobre dicho basamento.

Se acompañan las Columnas Estratigráficas de estos dos pozos, confeccionadas por A. Gallardo en base al estudio de los cuttings y además del perfil eléctrico, en el caso de Hilaricos N°1. A base de estas columnas se presenta un ensayo de correlación entre las unidades litológicas encontradas en ambos pozos.

De las columnas estratigráficas se puede deducir un abrupto relieve del basamento complejo. En Hilaricos N°1 del techo del basamento tiene cota + 32 m. s.n.m. y en Soledad N°1 cota + 334 m. s.n.m. Como consecuencia de ello hay una notable diferencia en el espesor del relleno sobre el basamento complejo: 930 m en Hilaricos y sólo 601 m de espesor en Soledad.

Un intento de correlación de las respectivas unidades en ambos pozos presume notables acúñamientos, cambios laterales de facie y hiatus de sedimentación que se explicarían en un tipo de sedimentación aluvional y lacustre sobre una superficie de abrupto relieve topográfico.

VII - H I D R O L O G I A

1) HIDROGRAFIA

Las factores relacionados con los recursos de agua subterránea de Pampa Soledad, igual que en el resto de la Pampa del Tamarugal, está íntimamente ligados al régimen torrencial de lluvias del faldeo occidental de la Cordillera Andina que las limitan hacia el Este.

Una observación de los rasgos hidrográficos de la zona, obtenida de las fotos aéreas, muestra que las avenidas periódicas provocadas por las lluvias torrenciales de la Cordillera Andina, atraviesan la pampa y convergen hacia la depresión del Salar de Llamara o Soledad. No hay ningún curso de agua permanente que cruce la pampa.

Se hace notar además que la cuenca hidrográfica del río Loa está desligada de la hidrografía del sector, en lo que a recarga se refiere.

El régimen fluvial del sector de la Cordillera Andina que drena hacia nuestro sector de pampa está compuesto, por las siguientes cuencas enumeradas de Norte a Sur:

Cuenca de Huatacondo
Cuenca de Pintados-Maní
Cuenca de Piscala-Sipuca
Cuenca de Tambillo-Sama
Cuenca de Arca

Ellas cubren una extensión longitudinal Norte-Sur de más de 88 Km entre los paralelos 20°55' y 21°42' en el faldeo occidental de la Cordillera Andina; pero como dijimos ninguna de estas cuencas provee un curso permanente de agua superficial que cruce la pampa.

La cuenca de Huatacondo en el extremo Nor

te tiene tendencia a entregar sus avenidas hacia el Norte, pero queda limitada por la elevación topográfica formada por los cerros Challacollo, C° Gordo, Cerro Buitre y C° Término (estos dos últimos extremos orientales de la cordonada de C°s Lagunas), que definen la barrera topográfica Norte de Pampa Soledad.

En el extremo Sur la cuenca de Arca debe considerarse solo parcialmente relacionada con la hidrología de Pampa Soledad. Desemboca en una extensa planicie que en forma de abanico reparte sus derrubios hacia el Norte a la depresión de Soledad o Llamara y hacia el Sur a la depresión de C°s Joya. El cono de deyección de Arca constituye un alto topográfico transversal que limita Pampa Soledad por el Sur.

2) RECARGA DE AGUA SUBTERRANEA

La fuente de recarga de los depósitos de agua subterránea, está en las precipitaciones que se producen en las cuencas que drenan hacia esta zona.

No tenemos información de valores de precipitaciones registradas en estas cuencas. Sólo podemos decir que hemos observado que estas quebradas son mucho más secas que las del Borde Occidental Andino ubicadas más al Norte, por comparación de visitas efectuadas en Primavera, cuando la sequía es regional en la Cordillera Andina de Tarapacá.

Esta sequedad aumenta, dentro de las cuencas que estamos comentando, en el sentido Norte-Sur. Ejemplo típico es la comparación entre Quebrada de Huatacondo en el extremo Norte con regular provisión de agua desde su curso inferior, y Quebrada - Arca, en el extremo Sur, en la que hay que internarse más de 30 Km para encontrarla en escasa cantidad.

Los factores principales que regulan la cantidad de agua que fluye como corriente superficial son: área drenada, in

filtración y precipitación media. La sequedad general observada en los lechos de estas quebradas, en ~~la~~ comparación con las ~~áreas~~ del área al Norte de Huatacondo, sin duda que está determinada - principalmente por el factor área drenada, debido a la poca extensión, hacia el Este de sus hoyas hidrográficas al quedar limitadas por la hoya del curso superior del río Loa. Pero la sequedad relativa observada dentro de la zona que aumenta en el sentido Norte-Sur tal vez esté determinada principalmente por el factor precipitación media, al haberse producido algún cambio local muy reciente de las condiciones meteorológicas que regulan las precipitaciones del lugar.

En todo caso, de lo comentado, se puede inferir que la precipitación total en las cuencas de recarga del área en estudio tiene que ser bastante inferior a la precipitación total del área de cuencas ubicadas al Norte de Huatacondo, entre Tana y Huatacondo, donde Octavio Castillo calculó una precipitación anual - aproximada de ~~660.000 m³~~ ^{660.000.000 m³} de agua (20 m³/seg). (Octavio Castillo V. "El agua subterránea en el Norte de la Pampa del Tamarugal", Boletín N°5 del I.I.O - 1960).

La calidad química de las aguas es variable, mejorando en general en el sentido Oeste-Este. Siempre hemos encontrado aguas de mejor calidad en las vertientes que afloran pendiente arriba de las quebradas.

No se han ejecutado análisis de las aguas que hemos encontrado, pero las comparaciones de su sabor, facilidad para cocer los alimentos o para el lavado y reacciones orgánicas experimentadas, nos han dado una buena pauta para comparar su ~~grado~~ ^{GRADO} de salinidad.

3) MOVIMIENTO.

Suponemos que el movimiento del agua subterránea des

de las fuentes de recarga que se efectúa hacia la depresión de Llamara a través de los horizontes porosos del subsuelo de Pampa Soledad, en general, en forma similar a la que muestran las líneas de desplazamiento de las actuales avenidas, por lo menos para el primer acuífero.

No disponemos de información suficiente para la confección de un plano de curvas isohipsas que nos pudieran mostrar el movimiento del agua subterránea. Sin embargo por el conocimiento de la estratigráfica del Cenozoico de la pampa, habrá que esperar napas subterráneas profundas aisladas y cursos subterráneos independientes con movimientos de las aguas más profundas en direcciones insospechadas e independientes del actual relieve de la pampa.

4) DESCARGA DEL AGUA SUBTERRANEA

La descarga del agua subterránea es esencialmente natural y se efectúa principalmente en el sector del Salar de Llamara.

La más importante se produce por movimiento del agua fuera del área por Quebrada Amarga, que lleva un pequeño hilo de agua permanente que nace en el extremo Sur del Salar de Llamara. Quebrada Amarga drena su agua al río Loa y este a su vez descarga al mar.

La evaporación contribuye aquí también a la descarga natural. Las eflorescencias salinas que han constituido el Salar, son el producto de esta actividad favorecida por la proximidad de la hapa freática a la superficie.

Pequeñas superficies de agua expuestas a la atmósfera junto con algunos árboles y escasa y raleada maleza contribuyen también en pequeña medida a la descarga natural ~~por~~ por evaporación y transpiración.

La descarga artificial por extracción de agua para usos industriales o de ganadería es prácticamente nula. Ha tenido significación escasa y muy ocasional, cuando se ha utilizado agua para el riego en la construcción de caminos o para abreviar unas pocas cabezas de ganado menor que se ha llevado a pastorear al sector de arboledas.

5) AFLORAMIENTO DE AGUA

Como mencionamos en el acápite anterior, pequeñas superficies de agua aparecen expuestas en el Salar de Llamara.

Estos afloramientos de agua salobre son desde largo tiempo conocidos, una de ellas figura en las Planchetas del Instituto Geográfico Militar con el nombre de Puquio de Los Guatacondos. Está ubicado al centro de la parte del Salar que constituye la mancha Norte unos 15 Km. al Noroeste del Vértice Soledad y constituye una pequeña lagunilla de unos 5 m. de diámetro y 40 cm. de profundidad. La superficie freática está alrededor de la cota 750 m.

Hay otras lagunillas unos 8 Km. al Oeste del Vértice Soledad. Una de ellas de unos 17 m. de diámetro y de más de 3 m. de profundidad (cifra mínima estimada, no se ha medido su profundidad real), proporciona abundante agua salobre que se usó en el riego de la carretera panamericana durante su construcción.

VIII- SONDAJES PARA EXTRACCION DE AGUA
SUBTERRANEA

1) SONDAJE EN R-89

Durante el desarrollo de los trabajos de investigación sísmica ejecutados por Enap en Junio de 1961, en el área de Pampa Soledad, se ejecutaron numerosas perforaciones de poca profundidad con el objeto de hacer disparos. Algunas de estas perforaciones atravezaron napas acuíferas.

En el punto R-89 se hicieron 5 pozos que se enumeraron del 0 al 4 y alcanzaron las siguientes profundidades:

R-89	54 m.
P1	53
P2	53
P3	54
P4	48

De ellos el P4 se trabajó hasta hacerlo producir agua. La información técnica pertinente a la perforación de este pozo es la siguiente:

<u>Nombre</u>	R-89 - P4
<u>Ubicación</u>	1,5 Km. al NE. del Hito Soledad del levantamiento de la Superintendencia del Salitre.
<u>Fecha de ejecución</u>	Junio de 1961.
<u>Profundidad total</u>	54 m.
<u>Tubería</u>	Casing de 3" hasta 45 m.
<u>Zona productora</u>	No se determinó
<u>Nivel estático</u>	En 24 m. y se mantuvo sin variación durante las pruebas de producción.

Producción: 2,73 lts/seg.

Calidad del agua: Salobre. No hay análisis.

Método de extracción: Sistema de air lift. Se sopló con tubería de 3/4" en 44 m.

Estado actual del Pozo: Se retiró toda la tubería y se disparó. Actualmente derrumbado.

2) Pozo de Agua Soledad

En Agosto de este año Enap realizó, con éxito, un sondaje de 89 m. de profundidad con el exclusivo objeto de obtener agua para el sondaje de Exploración Soledad # 1. Los detalles y resultados de este sondaje para agua se relatan en el capítulo siguiente.

IX - POZO DE AGUA SOLEDAD

1) INTRODUCCION

Se trataba de proveer agua a distancia razonable y adecuada a las necesidades del equipo y campamento adyacente para la perforación del Pozo de Exploraciones Soledad N° 1.

El Pozo Soledad N° 1, está ubicado en Pampa homónima a 17,85 Km. al Este NE. del Vértice Soledad y con un camino de regulares condiciones de 17 Km. de extensión que hacia el oeste, lo conecta con la carretera Panamericana.

2) ENFOQUE DEL PROBLEMA

Las fuentes de agua conocidas y posibles de utilizar eran:

- A) Quillagua que podía proveer agua del Río Loa en cantidad y calidad aceptables para los fines perseguidos, pero a más de 50 Km. de trayecto por la carretera panamericana hacia el Sur.
- B) Las lagunas del Salar de Llamara. La más próxima a 10 Km. al oeste de la panamericana capaz de proveer agua en la cantidad requerida pero de calidad química tal que hacía su utilización muy restringida para los fines requeridos. Agua con alto contenido de sales.
- C) Agua subterránea de la que se tenían antecedentes de producción por las perforaciones sísmicas efectuadas en R-89, ubicado 1 Km. al oeste de la carretera panamericana en el borde occidental del Salar de Llamara.

3) SOLUCION ADOPTADA

Se eligió la solución de extraer agua subterránea, por la menor distancia de transporte y la posibilidad de obtener mejor calidad química del elemento.

En Agosto de este año se revisaron los pozos perforados en R-89, encontrándose derrumbados y sin posibilidades de ser utilizados, por lo que se decidió una nueva perforación.

Esta nueva perforación se ejecutó con una sonda Frank F-5, Modelo 51.

Fue necesario hacer tres sondajes hasta obtener producción satisfactoria a las necesidades requeridas. En la primera tentativa hubo de abandonarse el pozo

por derrumbes que se produjeron después de haber logrado hacerlo producir. De la segunda perforación se obtuvo una producción insuficiente por razones de estrechez de la columna de producción de las tuberías. De la tercera perforación se lograron resultados más satisfactorios.

Para hacer producir el pozo, se usó el método de air lift, soplando aire con un compresor rotatorio Gardner-Denver.

4) DETALLE DE TRABAJOS EJECUTADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se relatan los trabajos realizados, observaciones y resultados obtenidos en cada una de las tres perforaciones ejecutadas hasta lograr dejar en producción el pozo de agua Soledad.

Primera Perforación - Se ubicó un punto 4 Km. al Este NE. del Vértice Soledad, próximo al faldeo del Cerrito más septentrional del Grupo Soledad.

Perforó hasta 71 m. con trépano de 6.1/4". Colocó tubería de disparo de 3" hasta 64 m. se hizo air lift soplando con tubería de 3/4". Estuvo un y medio día en producción, manteniendo el nivel estático en 32 m.

Produjo agua salada, no se midió el gasto ni hay informe de la salinidad°

El pozo cesó de producir por derrumbe de la arena después de 1 1/2 días de producción y hubo que abandonarlo.

Se recuperó la tubería de 3" y quedó el pozo abierto. Estado actual: derrumbado.

SEGUNDA PERFORACION

Después se ubicó un pozo a 4,6 Km. al Norte N.E. del Vértice Soledad (Hito Soledad del levantamiento de la Superintendencia del Salitre), unos 50 m. al lado oeste de la carretera panamericana.

Este pozo alcanzó la profundidad de 71 m.

Se entubó con tubing de 3.1/2" E.U.E. El zapato quedó en 65.80 m. y se dejó una sección ranurada entre 37 y 47 m., frente a la posible napa acuífera.

Metió tubería de 2" hasta 54 m. y sopló con cañería de 3/4" en 53 m.

Produjo agua salobre con un gasto ligeramente superior a 0,5 lts. por segundo.

Un análisis de salinidad dió:

Cloruro de sodio	1.2 grs/lt.
Sulfato de sodio	2.84 grs.Llt.

No se investigaron otras sales.

El nivel estático del pozo en reposo se encontró en 32 m. No se midió en producción.

La producción fue insuficiente para las necesidades que se deseaban cubrir, por lo que se hizo una tercera tentativa, programando perforar a un diámetro que permitiera el uso de tuberías de revestimiento y producción de sección más holgada.

Tercera Perforación. Pozo de Agua Soledad.

Esta ubicación se corrió 50 m. más al Sur de la segunda perforación, siempre al lado oeste de la carretera Panamericana y aproximadamente a 50 m. de ella.

Como Geólogo a cargo del Pozo actuó el suscrito. A cargo de la sonda estuvo René Bitsch asistido por 3 ayudantes y supervisado por Patricio del Solar.

Entre los días 22 y 23 de Agosto perforó con trépano de 6.1/8" y ensanchó a 8 3/4" hasta la profundidad total de 89 m.

El 24 de Agosto entubó y puso en producción el pozo.

Durante la perforación se llevó un control estricto de las muestras, que permitieron confeccionar una columna estratigráfica.

Se hicieron numerosas pruebas para determinar el nivel estático del pozo en reposo y en producción. Así también se ejecutaron varios controles de producción y se tomaron muestras para análisis.

Las determinaciones se ejecutaron durante los días 24 y 25 de Agosto y el 3 de Septiembre.

La información técnica pertinente a la perforación y determinaciones ejecutadas en este pozo se puede esquematizar como sigue:

- Cota de Terreno aprox: 785 m.
- Profundidad total: 89 m. con diámetro de 8 3/4"
- Nombre de Ubicación: Pozo de Agua Soledad
- Ubicación geográfica: 4,6 Km. al Norte del hito Soledad del levantamiento de la Superintendencia del Salitre, 50 m. al oeste de la Carretera Panamericana.
- Tubería de revestimiento: 81 m. de casing de 5" con una sección ranurada entre 31 y 48m
- Zona Productora: Entre 37 y 47 m.
- Tubería de Producción: 78 m. de tubería de disparo de 3" Ranurada entre 75 y 78 m.
- Método de Extracción: Sistema de air lift, soplando aire *... desde un compresor...* por cañería de 3/4" en 70 m.
- Nivel Estático: En 32.7 m. y deprime 0,90 m. cuando está en producción. (medición hecha el 3 de septiembre).

Producción: Se puso en producción el 24 de Agosto. El 3 de septiembre estaba produciendo 1,5 lts/seg.

Calidad del agua: El agua es salobre y muestra ligera turbidez, un análisis hecho por el Servicio de Minas del Estado, de una muestra tomada el 24 de Agosto, dió los siguientes valores:

Cloruro de sodio	1.56 grs/lt.
Sulfato de sodio	2.82 grs/lt.

No se investigaron otras sales.

Otros análisis: - El 3 de septiembre se tomaron dos muestras de agua para análisis, los que fueron solicitados a la Dirección de Obras Sanitarias y al Instituto de Investigaciones Geológicas.

5) COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL POZO DE AGUA SOLEDAD.

La columna estratigráfica pone en evidencia 89 m. de sedimentos en su mayoría de origen aluvional, compuestos por arcillas de textura fina y finamente arenosas, limolitas y areniscas arcillosas de grano fino a muy grueso hasta conglomerados muy finos.

Algunas capas de yeso hacia la parte superior de la columna marcan un período de generación química de sedimentos, depositados por concentración en aguas en lagunas o por eflorecencia, durante períodos de intensa evaporación.

Es decir la columna muestra un ciclo de depositación muy similar al que actualmente se desarrolla en el afea de pampas.

El tamaño de las fracciones clásticas, máximo hasta conglomerado muy fino, así como el predominio de los sedimentos arcillosos, indican una posición relativamente alejada de su fuente de origen para estos sedimentos; algunos rodaditos bien redondeados estarían indicando, también, bastante transporte.

Los clastos tienen su origen en las rocas metamórficas e ígneas, oscuras que actualmente afloran en la Cordillera Andina y algunas arcillas de textura muy fina, probablemente, provienen de la denudación de lutitas rojas de textura fina de la Formación Huatacondo.

Por el tipo de depositación, es fácil presumir rápidos cambios laterales de facie.

Entre 37-47 m. y entre 85-89 m. hay horizontes arenosos y conglomerádicos finos que tienen buenas posibilidades de ser contenedores de napas acuíferas. Entre estas dos unidades acuíferas hay 20 m. de arcilla con muy buenas condiciones de horizonte impermeable.

Una interpretación generalizada de las unidades litológicas que resaltan en la columna, de las capas más jóvenes a las más antiguas, es la siguiente:

4 m. Arcilla café, arenosa hacia la base, con intercalaciones de limolita café y algunas guías delgadas de arena de grano fino.

18 m. Capas de yeso y/o anhidrita con intercalaciones de limolita arenosa y arcilla café. Hay también lentes de arenisca de grano fino a grueso hasta conglomerados muy fino en la mitad inferior.

- 4 m. Arcilla limosa crema-amarillento claro; en la base se pone conglomerádica, (conglomerados finos).
- 10 m. Arcilla crema-amarillento, arenosa, con algunas intercalaciones de arenisca a conglomerado fino arcilloso. En la base 3 m. de arcilla plástica arenosa, amarillenta y café.
- 10 m. Arenisca de grano fino a grueso, a conglomerado fino, frecuentemente arcilloso con capas lenticulares de arcilla café. En el centro de la unidad más frecuentes capas de arcilla plástica café. Algunos de los rodaditos denotan bastante transporte. Esta unidad se considera contenedora de napas acuíferas.
- 20 m. Arcilla plástica café, con trocitos de toba blanca incluidos. A veces se presenta limolítica y frecuente un poco arenosa con clastos de grano fino, en la mitad inferior alterna con arcilla café-rojizo de textura muy fina, tipo lutitas rojas de Formación Huatacondo, de las cuales, probablemente, proviene por desgaste.
- Esta arcilla café es higroscópica creando problemas a la perforación, al estrechar el diámetro del pozo por expansión y por sus propiedades adhesivas tipo chicle.
- 18 m. Limolita, arcillosa, arenosa, café; las fracciones arenosas se componen de clastos de grano fino a muy gruesos, generalmente de rocas oscuras, e incluyen también rodaditos de toba blanca. En el tercio su-

perior alterna con capas de arcilla café claro, a veces limolítica, y a veces finamente arenosa y con capas de arcilla café-rojizo de textura fina. En el tercio inferior, se intercalan 3 m. de arcilla café claro, a veces finamente arenosa y arcilla café-rojiza de textura fina. *conglomerado fino arcilloso, clastos de grano fino a muy grueso, hasta...*
 4 m. Arenisca a conglomerádico fino de rocas grises y verde claro.

Hacia la base disminuye el porcentaje de arcilla y aumenta el diámetro del grano.

Esta unidad se considera con posibilidades de contener buenos horizontes acuíferos.

6) CONCLUSIONES

La producción obtenida y la calidad química del agua han sido suficientes para cubrir las necesidades del equipo de perforación y las necesidades sanitarias del campamento adyacente en Soledad N°1. Agua dulce para la bebida y alimentos ha sido necesario transportar de Oficina Salitrera Victoria o Quillagua.

El horizonte productor se estima está entre 37 y 47 m. sin embargo separado de él, por una buena capa impermeable, se perforó entre 85 y 89 m. una unidad conglomerádica fina con mejores condiciones litológicas para contener napas acuíferas que la sección superior y estas condiciones mejoraban hacia la base de la unidad.

No se profundizó más el pozo por falta de barras de perforación. Tampoco se efectuaron pruebas separadas de producción para conocer las posibilidades de la

unidad inferior, pero esta es una información que será necesario tener presente para algún futuro sondaje.

Considerando que el nivel estático deprime 0,90 m. al producir 1,5 lts/seg. y que la diferencia entre el nivel estático (32,7 m.) y el techo de la napa productora (37 m.) es de 4,3 m. se puede inferir teóricamente que con un equipo de mayor capacidad se podría extraer agua haciendo deprimir la napa solo hasta 4,77 veces más ($\frac{43}{0,9}$), lo cual produciría un volumen máximo teórico de 7,16 lts/seg. ($4,77 \times 1,5$). El volumen máximo real será menor.

El agua obtenida aún cuando no apta para ser usada como potable, es de calidad química muy superior a todas las que se conocen en la zona de Soledad.

X- CONCLUSIONES

Con las perforaciones que han atravesado el relleno de la pampa ha quedado de manifiesto, el abrupto relieve del basamento complejo, como ya se había sospechado por los primeros trabajos geofísicos; también se han revelado rápidos y notables acuíferos y cambios laterales de facie del grupo del relleno de la pampa.

Lo anterior tiene especial significación para los efectos de esperar napas subterráneas aisladas en sectores de relieve bajo y movimiento de las aguas más profundas en direcciones insospechadas e independientes del relieve actual de la pampa. Existen también potentes cuerpos de arcilla plástica capaces de actuar como

excelentes capas impermeables de cursos subterráneos independientes.

Los recursos económicos del área de Pampa Soledad, tienen relación principalmente con el desarrollo de la minería no metálica de los variados depósitos lagunares adosados a los faldeos de los cerros que la circundan, en el sector accidental y Sur, insuficientemente estudiados. Enap ha manifestado el descubrimiento de yacimientos de kieselguhr de cierta importancia por su cubicación y calidad. Cualquiera faena extractiva necesitará agua de calidad química adecuada.

La ganadería menor y agricultura, aunque en escala familiar, también puede llegar a tener ^{una} pequeña representación como recurso económico de la zona en el sector del Salar de Llamara, si se pueden proveer de agua menos salobre y a costo adecuado.

Creemos que los antecedentes reunidos podrán ser útiles para ayudar a orientar la búsqueda de agua adecuada para las eventuales necesidades del desarrollo de los recursos económicos de la zona.

IQUIQUE, 15 de Septiembre de 1962.

Jorge Alvarez R

JAR/tcs.
cc: 4.

BIBLIOGRAFIA DE LOS ARCHIVOS TECNICOS DE ENAP

- Berríos, Ruperto y César Vergara - Reconocimiento Geológico
área C°. Gordo, C° Término
C° I.G.M. y C° Calate (Gl.
95-1962).
- Cecioni Giovanni - "Formación El Toco" (Gl.38, 1959).
- García, Floreal - "Reconocimiento geológico en la parte Sur
de la provincia de Tarapacá y Norte de la
Provincia de Antofagasta (Gl.64, 1960).
- Marino, Mario - "Reconocimiento geológico al Noroeste de
Quillagua" (Gl. 10, 1958).
- Alvarez, Jorge - Informe geológico del área entre Quebra-
das Manf-Sipuca (G. 85, 1961).
Informe geológico del levantamiento en
Quebrada Sama y Quebrada Arca (Gl. 96,
1962).
- Gallardo Aquiles - Informes mensuales Hilaricos #1, Soledad
N°1 (1962).

JAR/tcs.
cc: 4.