U 310

Apartado de la Revista "MINERALES"

RESEÑA SOBRE LAS EXPLORACIONES PETROLIFERAS DE LA ENAP EN LA ZONA NORTE AÑOS 1956 A 1962

Ing. Carlos Mordojovich K.

DOCUMENTACION IREN

REEDITADO POR RELACIONES PUBLICAS DE ENAP.

Año XX Abril-Junio 1965 N.º 89

SANTIAGO DE CHILE

RESEÑA SOBRE LAS EXPLORACIONES PETROLIFERAS DE LA ENAP EN LA ZONA NORTE AÑOS 1956 A 1962

Ing. Carlos Mordojovich K. *

I.— INTRODUCCION

Desde el 29 de diciembre de 1945, fecha del descubrimiento de petróleo en Magallanes, la industria petrolera nacional ha ido creciendo en forma continua, llegando a abastecer gran parte del consumo de combustibles líquidos del país. Esta circunstancia permitió abordar otras zonas del país, para investigar sus posibilidades petroleras, con auxilio de personal técnico formado en esa región.

Al elegirse el Norte Grande como la primera zona para la prospección petrolífera fuera de la cuenca de Magallanes, se tuvo presente dos razones: 1) tratar de paliar en parte la crisis económica de la zona originada por la paralización progresiva de las oficinas salitreras y 2) investigar a fondo los antecedentes geológicos aparentemente favorables, relacionados con demostraciones petrolíferas de la alta cordillera de Antofagasta (Siglia) y Atacama (Pedernales) y con los informes geológicos, como los de Felsch y Fuenzalida que indicaban la existencia de sedimentos marinos de cierta importancia en la provincia de Tarapacá.

II.— FINANCIAMIENTO, ORGANIZACION Y PLAN DE TRABAJO

El financiamiento se hizo en parte con un aporte de los Fondos del Cobre, pero la mayor parte se hizo con fondos de ENAP. El total de inversiones fue de E° 11.171.002,61; de los cuales los Fondos del Cobre aportaron E° 2.550.000,— y el fisco en forma de aporte fiscal por derechos de internación, E° 981.021,— todo esto en Escudos de 1962.

La faena se organizó creando una Oficina Central en Iquique, dependiente del Departamento de Exploraciones, desde la que se dirigieron los trabajos en las tres provincias del Norte: Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Para los efectos de importación de materiales para Atacama, se contó también con la colaboración de la Oficina del Departamento de Antofagasta de la Corporación de Fomento. Un sistema

* Ingeniero Depto. de Exploraciones, Enap.

de radiocomunicaciones servido por Sotelco proporcionó contactos diarios con la Gerencia de Enap en Santiago, mientras que las comunicaciones con las distintas faenas locales se efectuaron con un sistema de radiocomunicaciones propio.

Para la Administración y Oficina Técnica se adquirió un edificio en Iquique. Para bodegas y taller se arrendaron bodegas a la ex-Compañía Salitrera de Tarapacá y Antofagasta. Esta misma compañía facilitó locales en la ex-Oficina Peña Chica del Grupo Nebraska y en la Oficina Alianza en la zona de Victoria. Se contó, además, con la ex-escuela de Zapiga, facilitada por la Oficina de Bienes Nacionales de Iquique.

Para planificar los trabajos exploratorios se efectuó en Septiembre de 1956 un reconocimiento preliminar por las tres provincias con intervención de cuatro funcionarios del Depto. de Exploraciones de Enap. De este reconocimiento se dedujo la conveniencia de programar levantamientos geológicos tanto en la Cordillera de la Costa como en la Cordillera de Los Andes y la absoluta necesidad de estudiar la Geología de la Pampa del Tamarugal por todos los medios geofísicos disponibles.

III.— EXPLORACIONES GEOLOGICAS

La investigación geológica se efectuó con comisiones geológicas livianas, movilizadas con jeeps y utilizando campamentos de carpas. Desde 1957 a 1961 trabajaron varias comisiones geológicas. Los informes detallados de estas comisiones obran en los archivos de Enap y han sido resumidos en un estudio global preparado por García, titulado "Geología del Norte Grande de Chile" de diciembre de 1962.

La investigación geofísica de la pampa del Tamarugal comprendió las siguientes etapas:

1.°—Levantamiento aeromagnetométrico, con líneas de vuelo Norte-Sur y Este-Oeste, espaciadas cada 16 Kms.

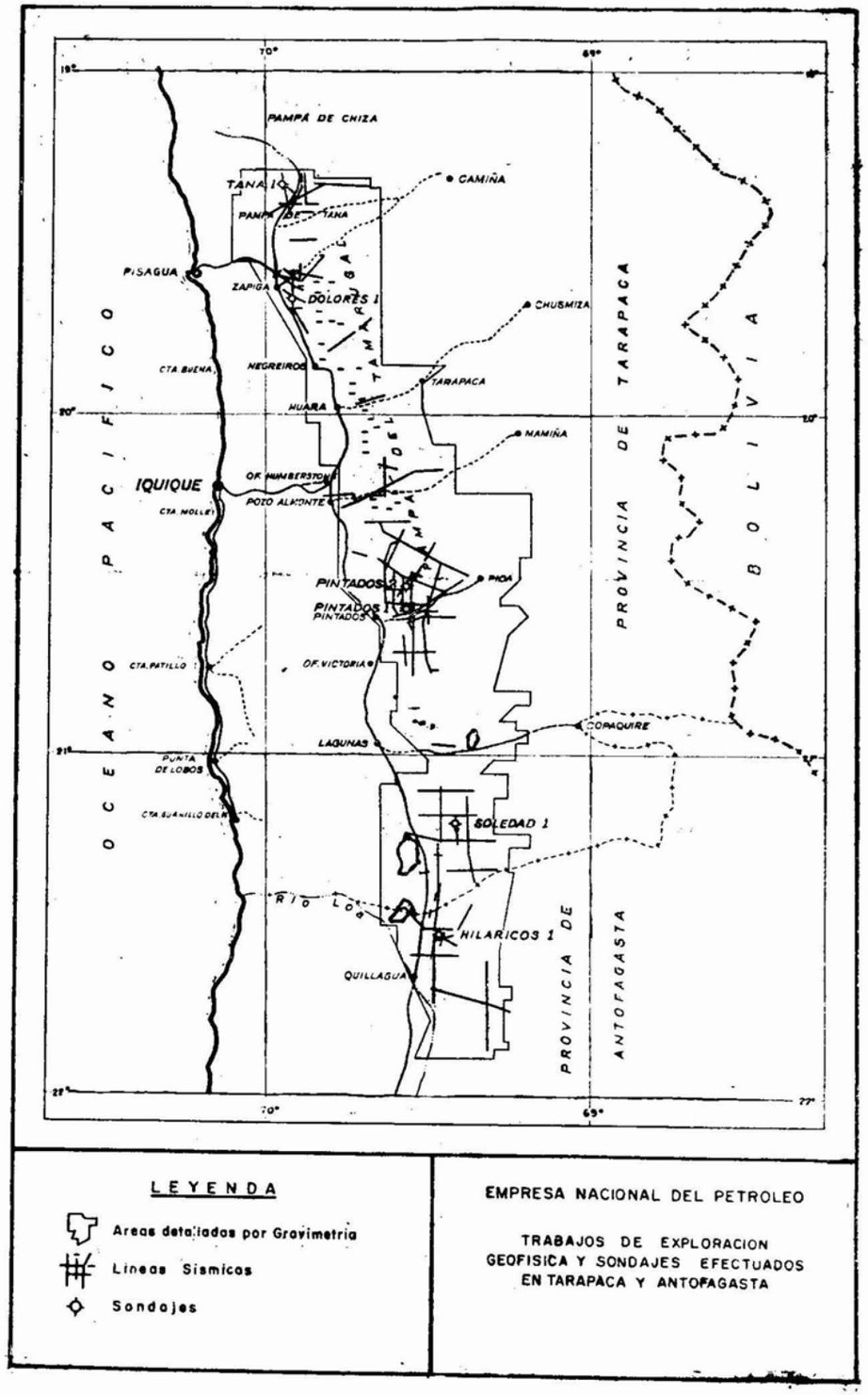
2.°—Levantamiento gravimétrico sistemático.

3.°—Estudio magnetométrico terrestre en puntos de interés especial.

4.°—Estudio sísmico tanto por método de reflexión como refracción.

El levantamiento aeromagnetométrico fue contratado con la Fairchild Aerial Surveys, Inc., la cual entre noviembre y diciembre de 1956 cubrió un total de 5.000 Kms. volados entre las latitutdes 18° 30' y 21° 30' Sur y desde la costa hasta las estribaciones de la Cordillera de Los Andes.

El espaciamiento de 16 kms. entre cada línea de vuelo, tanto Este-



Oeste como Norte-Sur fue apropiado para un reconocimiento preliminar, no justificándose posteriormente intercalar líneas adicionales para fines petroleros.

El informe correspondiente a este levantamiento fue claramente desfavorable, al señalizar la presencia de rocas ígneas a escasa profundidad en la pampa del Tamarugal. Sin embargo, la posible existencia de mantos lávicos poco profundos que enmascararan la existencia de cuencas sedimentarias importantes, obligó a no descartar esta zona sin probar otros métodos.

IV.— GRAVIMETRIA

El levantamiento gravimétrico estuvo a cargo del Ingeniero Osvaldo Ledezma M. y se efectuó con Gravímetros Worden, cubriendo toda la Pampa del Tamarugal, desde quebrada Camarones hasta algo más al Sur del río Loa y desde la Cordillera de la Costa hasta las estribaciones de la Cordillera de Los Andes. Se hicieron además varios perfiles desde la costa hasta el núcleo de la Cordillera de Los Andes.

La interpretación de este tipo de trabajo se vio enfrentada a problemas excepcionalmente complejos, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

1.°—Desde la Cordillera de la Costa hacia el Oriente, hasta donde alcanzan las poligonales de penetración en la Cordillera de Los Andes, existe una gradiente regional de la gravedad, excepcionalmente fuerte, del orden de 4 mgal|km. Si se considera que las principales anomalías locales fueron del orden de 10 mgals. en extensiones de 5 a 10 kms., se comprende que su detección nunca fue sencilla.

2.°—Los antecedentes geológicos sobre la zona, que se iban adquiriendo simultáneamente con el progreso del levantamiento gravimétrico, fueron indicando cada vez con mayor claridad que las anomalías gravimétricas de importancia local señalaban fundamentalmente las variaciones de espesor del relleno Terciario-Cuaternario de la pampa, ya que estos sedimentos, con un peso específico del orden de 2,0 gr|cm3. contrastaban netamente con toda la serie de sedimentos y rocas ígneas más antiguas, cuyas densidades se mantenían en forma monótona entre 2,6 y 2,75. Por lo tanto, si se descuenta correctamente la gradiente regional de la gravedad, que se debe a causas profundas, las anomalías residuales de la pampa representan fundamentalmente el relieve preterciario sumergido en un espesor variable de sedimentos continentales desérticos, fenómeno que no tiene mayor significado desde el punto de vista de estructuras potencialmente petrolíferas.

En las zonas en que el espesor de los sedimentos del desierto está reducido a un mínimo, o está ausente, las anomalías gravimétricas residuales responden bien a la estructura y composición geológica del subsuelo. Así pudo comprobarse, por ejemplo, que algunos mínimos gravimétricos de la Cordillera de la Costa corresponden a macizos intrusivos de granito, de densidad 2,6 en un ambiente de calizas y lavas porfiríticas del Jurásico (densidad 2,67 a 2,75).

Con los antecedentes dados más arriba es fácil comprender que el método gravimétrico utilizado para detectar áreas con espesor importante de sedimentos jurásicos o cretáceos, correlacionándolas con los mínimos gravimétricos locales, no fue suficiente para interpretar los resultados obtenidos, razón por la cual hubo de confrontarse con todos los antecedentes geológicos y geofísicos disponibles.

V.— MAGNETOMETRIA TERRESTRE

Los trabajos de Magntometría terrestre no tuvieron el carácter de prospección sistemática de la aeromagnetometría y gravimetría. Su objeto fundamental fue estudiar áreas específicas ya analizadas por otro método, con el objeto de investigar la posible existencia de rocas ígneas poco porfundas que pudieran afectar las posibilidades petrolíferas de un sector determinado. Estudios de esta naturaleza fueron, por ejemplo, los efectuados en el Anticlinical Salar, en Pampa Tana, un anticlinical detectado por Geología de superficie donde se observaron frecuentemente diques ígneos que hacían temer la existencia de masas intrusivas a poca profundidad, lo que fue confirmado por Magnetometría; el estudio crítico del Mínimo Gravimétrico de Duplitza, que se encontró libre de cuerpos ígneos, y los estudios magnetométricos a lo largo de las líneas sísmicas en Dolores, Pintados, Soledad, Quillagua, etc. en que los estudios magnetométricos revelaron frecuentemente la presencia de cuerpos ígneos que ayudaron a interpretar los resultados de la prospección sísmica.

Consideramos que en este tipo de terreno, tan frecuente en rocas de origen ígneo, el magnetómetro terrestre constituyó junto a los otros métodos geológicos y geofísicos, una herramienta muy útil.

VI.— PROSPECCION SISMICA

La prospección sísmica se inició en Septiembre de 1958 y se continuó ininterrumpidamente hasta Junio de 1962. La determinación de efectuar estudios sísmicos se tomó sólo después de analizar el conjunto de antecedentes acumulados hasta esa fecha, antecedentes bastante complejos, que podemos resumir en la forma siguiente:

1.°—Tanto en la Cordillera de la Costa como en la Cordillera de Los Andes, los levantamientos geológicos revelaron la existencia de

potentes series sedimentarias marinas del Jurásico en la Provincia de Tarapacá con potentes intercalaciones de lava. También se encontró, aunque en áreas restringidas de la Cordillera de la Costa, sedimentos marinos del Cretáceo inferior. Sin embargo, en ninguna de las zonas cordilleranas fue posible ubicar áreas suficientemente extensas y estructuralmente favorables para los objetivos petroleros, sin que se hicieran presente las intrusiones magmáticas. En la Cordillera de la Costa son frecuentes los emplazamientos de Granodiorita intrusiva en el Jurásico, que ha metamorfoseado en mayor o menor grado estos sedimentos. Además, una tectónica de bloques fallados sumamente frecuentes y la ausencia de demostraciones petrolíferas a pesar de la frecuencia de las fracturas, hacía algo remota la posible subsistencia de yacimientos de hidrocarburos. La Cordillera de Los Andes presenta características tectónicas distintas, pero no más favorables. Aquí toda la serie sedimentaria, hasta el Cretáceo Superior o Terciario Inferior, aparece fuertemente plegada y comprimida, por un plegamiento de posible edad Oligocénica, y con numerosas intrusiones, frecuentemente de carácter ácido. Los pliegues aparecen alineados con rumbo general norte-sur y son frecuentes las fallas longitudinales de gran salto.

2.°—Una notable discontinuidad en la gradiente gravimétrica detectada en las estribaciones de la Cordillera de Los Andes fue interpretada como una falla regional que limitaba la tectónica andina por el Oeste dejando abierta la posible existencia de un graben en la Pampa del Tamarugal, que pudiera haber quedado relativamente libre de las intrusiones magmáticas. La ausencia de perturbaciones magnéticas en algunos sectores de la parte oriental de la Pampa, como la anomalía gravimétrica negativa de Sagasca y Pampa Soledad, tendían a confirmar esta idea. Sin embargo, nunca se obtuvo antecedentes claros sobre una falla regional entre la Cordillera de la Costa y la pampa, falla que vendría a aclarar el concepto de un verdadero graben. Más bien, la fisiografía y los estudios gravimétricos tienden a indicar que existiría continuidad geológica entre la pampa y la Cordillera de la Costa, estando esta última literalmente sumergida bajo los sedimentos de la pampa hasta la cota de 1.000 metros aproximadamente.

3.°—Se pensó que el método Sísmico podría permitir medir el espesor de las series sedimentarias que deberían estar presentes en la Pampa del Tamarugal, especialmente en los mínimos detectados por Gravimetría. En este caso, el sistema de reflexión permitiría detectar estructuras favorables en las zonas de máximo espesor de sedimentos.

La prospección sísmica se organizó a base de un equipo mixto, contratándose con United Geophysical Co. la registración e interpretación y suministrando Enap la perforación, los materiales y el transporte. La supervisión de este trabajo estuvo a cargo de R. A. Laval.

Se inició la prospección sísmica en Pampa Tana, entre las quebradas de Tana y Camarones ,donde las secciones expuestas indican la existencia de buen desarrollo de sedimentos marinos del Jurásico, y cerca de la zona en que se encontró el Cretáceo Inferior, también en facies marinas. Se empleó desde un principio tanto el método de refracción como reflexión.

El método de refracción tuvo éxito en cuanto a determinación de espesores de los paquetes de rocas de igual velocidad, habiéndose obtenido en general excelentes registros. Sin embargo, la interpretación de los antecedentes obtenidos no siempre fue posible. No hubo dificultad en determinar el espesor de los sedimentos jóvenes del relleno de la pampa, cuya velocidad de refracción es inferior a 3.600 m|seg. Tampoco hubo dificultad seria en diferenciar los macizos graníticos, cuya velocidad sobrepasa los 5.400 m|seg., pero lamentablemente no fue posible diferenciar los sedimentos jurásicos y cretáceos de las potentes series de lava porfirítica de estas mismas edades que se intercalan en estas series sedimentarias y cuya velocidad de refracción es del orden de 4.000 a 5.000 m|seg., coincidente con la de los sedimentos de interés.

El método de reflexión se empleó infructuosamente, tratando de detallar la estructura geológica de este sector. No se obtuvo suficiente retorno de energía libre de interferencias, capaz de producir reflexiones correlacionables. Se emplearon cuantos métodos y técnicas habían disponibles, tales como geófonos múltiples, pozos múltiples, Pattern-shooting, disparos a varias profundidades, etc., sin obtener mejoramientos de significación. Las razones de esta anomalía se deben a condiciones especialmente desfavorables del terreno para este tipo de trabajo, tales como la existencia de una dura costra salina en superficie, seguida por un espesor variable de arena no consolidada y especialmente la ausencia de la napa freática a profundidades alcanzables con las sondas sísmicas. Fueron frecuentes las interferencias producidas por reflexiones múltiples, difracción, viento, etc.

Condiciones muy similares a las descritas se encontraron en la mayor parte de los trabajos sísmicos realizados en la Pampa del Tamarugal. Sólo en las áreas de Pintados-Sara y Dolores-Negreiros, las únicas zonas de la pampa donde el nivel de la napa freática está a escasa profundidad, fue posible obtener suficiente energía reflejada que permitiera hacer mapeo estructural de sub-superficie por reflexión. Esto permitió ubicar dos sondajes estructurales en Pintados y uno en Dolores. En el resto de la Pampa la exploración sísmica debió concretarse a perfilaje de refracción, que si bien no proporcionó antecedentes suficientes para delinear detalladamente la estructura geológica, permitió, sin embargo, orientar las perforaciones hacia las zonas de máxima pro-

fundidad del basamento y aclaró en parte la tectónica general, especialmente en relación con las principales fallas que cruzan la pampa.

En resumen, se trabajó con un equipo sísmico durante poco menos de cuatro años, investigándose todos los sectores de la Pampa del Tamarugal que pudieran tener posibilidades de rendir información aprovechables, con resultados que podemos calificar de pobres, pero en los cuales debió basarse el plan de sondajes exploratorios.

VII.— PROVINCIA DE ANTOFAGASTA Y PARTE NORTE DE LA PROVINCIA DE ATACAMA

Estas provincias fueron objeto de un exhaustivo reconocimiento geológico. Si se exceptúa el extremo norte de Antofagasta, en la zona de pampas que puede considerarse como una extensión de la Pampa del Tamarugal, no se observaron áreas en que fuera necesario recurrir a los estudios geofísicos. En general, la exposición de las rocas de la corteza es suficientemente buena para poder estudiar las posibilidades petrolíferas directamente con geología de superficie. El predominio de las rocas volcánicas y macizos graníticos sobre las rocas sedimentarias es más notable aún que en Tarapacá; si se exceptúan unas pocas zonas que fueron objeto de estudios detallados, la mayor parte de estas provincias puede ser descartada a priori de toda posibilidad petrolífera.

Las zonas de mayor interés fueron:

1.o.—El distrito de Pedernales, en la Alta Cordillera del Depto. de Chañaral.

2.o.—La zona de Siglia en la frontera de Antofagasta y Salta.

3.o.—San Pedro de Atacama y el Cordón de la Sal en la provincia de Antofagasta.

4.o.—Los esquistos bituminosos de El Pular, en la provincia de Antofagasta.

Otros sectores, como la quebrada del Way, Cerritos Bayos, Caracoles, etc. fueron interesantes por la información estratigráfica que rindieron, pero pueden considerarse carentes de interés petrolífero.

El distrito de Pedernales es incuestionablemente el de mayor interés petrolífero estudiado hasta la fecha en el norte grande. En el Salar de Pedernales hay demostraciones de petróleo, cuyo origen había sido materia de mucha especulación. Pocos kilómetros al Oeste, aflora una larga faja de rocas sedimentarias del Jurásico y Cretáceo, fuertemente plegadas y falladas, pero libres de rocas volcánicas y de cuerpos intrusivos. La serie marina del Jurásico se apoya en un complejo de rocas ígneas, observándose en la discordancia una arenisca basal cuarzosa, de desarrollo esporádico, pero que naturalmente podía constituir una roca potencialmente acumuladora de petróleo. El levantamiento geológico detallado de un sector de la banda de afloramientos permitió delinear un sector estructuralmente favorable, aunque tectónicamente complejo, en el cual se recomendó la perforación de varios sondajes exploratorios.

La zona de Siglia fue reconocida, confirmándose la existencia de manifestaciones de hidrocarburos. Sin embargo, los antecedentes geológicos reunidos sobre esta zona fueron más bien negativos. Las coladas de lava cubren la mayor parte del sector, haciendo imposible un plan de prospección geológica o geofísica de amplitud. Las manifestaciones petrolíferas están en una pequeña ventana geológica que muestra sedimentos continentales plegados del Terciario o Cretáceo superior, cercano a cuerpos intrusivos. Más al norte se descubrieron interesantes afloramientos del Paleozoico inferior, que podría ser el origen de estas manifestaciones. También aquí la zona expuesta se limita a escasos km2. La tectónica sumamente compleja y la cubierta basáltica hicieron prácticamente imposible la prospección sistemática tanto por Geología como por métodos geofísicos. Si a esto se agrega que Siglia se encuentra a 4.500 metros de altura en una zona de difícil acceso, se comprende que esta zona haya sido descartada del plan de sondajes por falta de información de las condiciones que imperan en subsuperficie.

En San Pedro de Atacama fue estudiada con especial interés la geología regional. Los anticlinales del Cordón de la Sal constituyen posiblemente los pliegues anticlinales mejor expuestos del país. Sin embargo, desde el punto de vista petrolero no se pudo encontrar argumentos a favor de un plan de sondajes, por cuanto toda la sección estratigráfica, muy bien expuesta en la zona, está constituída por sedimentos continentales, y en general, de origen desértico, sin el menor rastro de materia orgánica. No se observaron tampoco formaciones que pudieran albergar horizontes porosos, y desde luego, faltaban en absoluto demostraciones de hidrocarburos. Parece tratarse de una cuenca de sedimentación Cretáceo-Terciaria intermontana, aislada del Geosinclinal Jurásico por una cadena pre-cretácica de rocas ígneas y entre las cuales existe una notable discordancia ya que los conglomerados continentales cretácicos contienen rodados fosilíferos del Jurásico marino.

Los esquistos betuminosos de El Pular fueron reconocidos y muestreados en forma somera. No se hizo un estudio de las posibilidades económicas de explotación de estas rocas por caer fuera del objetivo

de nuestra campaña y por el hecho de existir ya un informe detallado sobre la materia.

VIII.— LOS SONDAJES DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL

La campaña de sondajes se limitó sólo a dos sectores del Norte Grande: Seis en la Pampa del Tamarugal y tres en Pedernales.

En la Pampa del Tamarugal se perforaron los siguientes pozos:

Pintados N.o 1	Lat.	20°	34½,	Long.	69°	34'
Pintados N.o 2	"	20°	30½'	"	69°	34'
Dolores N.o 1	"	19°	41'	"	69°	55'
Tana N.o 1-A	"	19°	20'	"	69°	57'
Hilaricos N.o 1	"	21°	32'	"	69°	28'
Soledad N.o 1	"	21°	12'	"	69°	25'

Todos estos sondajes se hicieron con un equipo National 75, bajo contrato con la firma Loffland Brothers of South America y se perforaron entre Enero de 1961 y Diciembre de 1962.

Pozo Pintados Nº 1

Se ubicó en una estructura detectada por sísmica de reflexión. El sondaje está a 10,2 km. al Noreste de la Estación Pintados, en la Provincia de Tarapacá. Cota del terreno: 1.001,7 m. Cota de referencia para el sondaje (mesa rotary): 1.006 m. Iniciada la perforación el 9 de enero de 1961 y abandonada el 14 de mayo de 1961. Profundidad alcanzada: 2.475 metros.

El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta	161 m.	24"
Hasta	605 m.	15"
Hasta	2.475 m.	9.5/8"

Tuberías colocadas:

Hasta	133 m.	16"
Hasta	602 m.	10¾"

Sección geológica perforada

1.—Desde 0 a 293 m.—Arcilla pardo rojiza con intercalaciones de areniscas y conglomerados porosos, con napas de agua dulce. Las principales napas acuíferas se encuentran entre 114 y 200 metros.

2.—Desde 293 a 329 m.—Calizas lacustres con frecuentes tallos de plantas silicificados, correlacionadas con las "Calizas del Loa", del Pleistoceno.

3.—Desde 329 a 378 m.—Arcillas pardas, con bancos de toba y caliza blanca; mantos de lava laparítica entre 352 y 378 metros.

4.—Desde 378 a 526 m.—Conglomerados tobáceos, con predominio de rodados porfiríticos, intercalados con arcilla roja a parda. Napas de agua salobre.

5.—Desde 526 a 577 m.—Conglomerado de brecha porfirítica. La parte basal con buena porosidad y agua salada.

La serie sedimentaria encontrada entre 329 y 577 metros está escasamente cementada y por sus constituyentes litológicos ha sido correlacionada con la formación "Altos de Pica" o Liparítica, de posible edad Mioceno.

6.—Desde 577 a 647 m.—Lavas porfiríticas amigdaloidales pardas, con intercalaciones de lutita silícea chocolate. Intrusionada por diques de roca diorítica. Se ha supuesto que estas rocas, que se diferencian de las que siguen a continuación, representan el ciclo efusivo del Cretáceo.

7.—Desde 647 a 2.475 m.—Brechas y lavas andesíticas, en general vesiculosas, y con frecuentes mantos intrusivos de tipo diorítico. Escasas intercalaciones de lutitas y limolitas pardas. En un principio se pensó que esta potente serie podría corresponder a la formación Suca, efusivos de edad cretácica, por lo que era esperable encontrar bajo ellos los sedimentos del Cretáceo inferior y especialmente el Jurásico marino. Sin embargo, a medidas que se acumulaba información de este pozo y se coordinaba con los antecedentes del levantamiento sísmico y especialmente con un re-estudio de la Geología regional, se llegó a la conclusión que esta serie efusiva debería corresponder a rocas anteriores al Jurásico marino. Dada además la frecuencia de cuerpos intrusivos, se decidió abandonar el sondaje a los 2.475 metros. A esta serie volcánica, que aflora en la Cordillera de la Costa al Oeste de la Estación Pintados, se le dió el nombre de "Formación Pintados", de posible edad Triásica.

La ausencia de la serie sedimentaria del Jurásico, significó la pérdida de las principales perspectivas petrolíferas de este sector de la Pampa. Para investigar si esto se debía a alguna falla importante, y al mismo tiempo, para investigar el significado del aumento de espesor

de la parte superior de las capas de alta velocidad hacia el norte, detectando por sísmica, y reunir mayores antecedentes sobre la napa de agua salado encontrada entre 526 y 577 mettros, se decidió perforar un segundo pozo a 8 km. al norte, pozo que se denominó Pintados N.º 2.

Pozo Pintados Nº 2

Se ubicó a 7.650 metros al norte de Pintados N.o 1. Cota del terreno: 988,8 metros. Cota de la mesa rotary: 992,8 m. se inició la perforación el 17 de junio de 1961 y se abandonó el 15 de julio de 1961. Profundidad alcanzada: 1.255 metros. El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta 165 metros 24"

Hasta 1.255 " 9.5/8"

Tubería colocada:

Hasta 165 m. 16"

Sección Geológica perforada

La sección superior, incluyendo desde los sedimentos recientes a la base del Terciario, es similar en todo a la sección encontrada en Pintados N.o 1. Sólo la quinta unidad, correspondiente al conglomerado brechoso, que se presenta entre 541 y 704 metros, indica un considerable aumento de espesor. Bajo la discordancia del Terciario también se encontró un notable aumento de espesor de las lavas y brechas pardas que han sido atribuídas al Cretáceo, y se extienden desde los 704 a los 1.137 metros.

Las rocas andesíticas atribuídas al Triásico se encontraron a los 1.137 metros, perforándose hasta los 1.255 metros.

Se hizo una prueba con probador de formaciones en pozo abierto entre 972 y 982 metros, obteniéndose en una hora una columna con 900 m. de agua salada de 12,3 gr. de Na Cl/lit. La roca porosa consiste en una lava amigdaloide alterada. No hubo ninguna clase de demostraciones de hidrocarburo.

Se colocó un tapón de cemento en pozo abierto a los 240 m. de profundidad, quedando, por lo tanto, abierta la sección entre este punto y el zapato de la tubería de 16", ubicado a los 165 metros, a fin de ser aprovechado como pozo de agua dulce.

Los resultados de este pozo indicaron que las lavas amigdaloides alteradas pueden actuar como excelentes rocas acumuladoras de fluídos. Sin embargo, la ausencia de indicios petrolíferos y de series sedimentarias adecuadas, llevaron al abandono definitivo de la zona de Pintados.

Pozo Dolores Nº 1

Este sondaje fue ubicado en un anticlinal detectado por sísmica de reflexión. La ubicación queda a 3,7 km. al Este de la localidad de Dolores. Cota del terreno: 1.127 metros; Cota de la mesa rotary: 1.131 m. Se inició la perforación el 4 de agosto de 1961 y fue abandonada el 13 de Febrero de 1962. Profundidad total alcanzada: 2.827,5 metros, siendo el sondaje más profundo de la zona norte.

El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta 115 metros: 24"
Hasta 423 " : 15"
Hasta 2.827,5 " : 9.5/8

Tuberías colocadas:

Hasta 113,34 metros de 16"
Hasta 423,0 " " 10¾"

Objetivo

Probar en un anticlinal cerrado la serie sedimentaria marina del Caloviano al Bajociano expuesta en la Cordillera de la Costa al Oeste de Dolores y, atravesando las vulcanitas de la formación Cuya (Bajociano) reconocer la serie marina que aflora en la desembocadura del río Camarones, por debajo de la formación Cuya.

Sección perforada

Se perforaron las siguientes rocas:

1.—87 metros de sedimentos de relleno de la pampa, posiblemente Cuaternario, con napas importantes de agua dulce entre 7 y 35 metros y napas de menor importancia a mayor profundidad.

2.—Desde 87 a 195 metros.—Calizas oolíticas, limolitas y lutitas del Caloviano. Compactas y sin demostraciones de hidrocarburos.

3.—Desde 195 a 2.827 metros.—Mantos de lava porfirítica de la formación Cuya, con diques dioríticos y cuerpos intrusivos gradualmente más frecuentes hacia abajo, hasta ser reemplazados francamente por diorita cuarcífera en los últimos 200 metros.

Como se desprende de la descripción anterior, el escaso desarrollo de la sección de sedimentos marinos del Caloviano, y la presencia de un macizo granodiorítico en el núcleo de este anticlinal, resta toda posibilidad petrolífera a esta estructura.

Pozo Tana Nº 1-A

Pampa Tana fue una zona de especial interés para nuestra plan de sondajes. Ubicada entre la quebrada de Tana al Sur y Chiza (afluente del Camarones) al Norte y a poca distancia de la Cordillera de la Costa, está rodeada por tres lados de buenos afloramientos de rocas del Jurásico marino, y está a escasos kilómetros de los interesantes afloramientos de las areniscas marinas de la formación Blanco, del Cretáceo inferior. Tanto por encima de las areniscas cretácicas como por debajo de las calizas del Caloviano se conocían potentes series volcánicas, de modo que los trabajos de exploración geofísica de Pampa Tana se orientaron en busca de un sector que permitiera probar ambas secciones de sedimentos marinos, evitando en lo posible perforar miles de metros en rocas volcánicas. Ya hemos mencionado las dificultades experimentadas en la exploración sísmica de este sector, razones por las que no fue posible determinar un lugar óptimo para un sondaje estructural. Sin embargo, utilizando los antecedentes gravimétricos y magnetométricos, se seleccionó un sector aparentemente poco perturbado y que prometía tener un desarrollo interesante de las series sedimentarias. El pozo Tana fue, por lo tanto, un sondaje de reconocimiento estratigráfico. La ubicación quedó a 13 km. al Norte de quebrada Tana y a 5 km. al poniente del camino fiscal Iquique-Arica.

Cota del terreno: 1.266,6 m.; Cota de la mesa rotary: 1.270,6 m.; perforación iniciada el 14 de marzo de 1962 y abandonada el 16 de junio de 1962. Profundidad total alcanzada: 2.230,3 metros.

El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta	98	metros:	24"
Hasta	538	metros:	15"
Hasta	2.230,3	metros:	9.5/8"

Tuberías colocadas:

Hasta	97,5	metros:	16"
Hasta	538	metros:	10¾"

Sección Geológica perforada

1.—*Relleno de la pampa.*—Tiene un espesor de 432 metros, que puede ser dividido en dos unidades: Una superior, posiblemente de edad pleistocénica, de 170 metros, compuesta de areniscas y conglomerados finos, con matriz arcillosa roja a parda, y una inferior, de 237 metros, posiblemente del Terciario superior, con arcillas arenosas, color gris verdoso claro, con intercalaciones de areniscas y conglomerados con franco predominio de rodados de liparita. entre ambas unidades se intercalan unos 21 metros de sedimentos lagunares calcáreos, correlacionados con las calizas del Loa. Termina esta serie con un conglomerado basal brechoso, con abundantes fragmentos de lava porfirítica.

2.—*Cretáceo.*—Bajo el relleno de la pampa se encontró, entre 432 y 1.041, la formación Suca, con 609 metros de espesor, formada por brechas y lavas pardo rojizo, y después la formación Atajaña, de areniscas y lutitas rojas, con conglomerados y brechas de material porfirítico que alcanzó un espesor de 676 metros a la profundidad de 1.717 metros. En el Cretáceo se presentaron frecuentes zonas muy fracturadas, con grietas abiertas, que obligaron a múltiples faenas de control y cementación. Varias pruebas de formación hechas para probar el tipo de fluído contenido en las grietas sólo registraron entrada de barro de perforación.

La formación Blanco, constituída por sedimentos marinos, y que debió encontrarse entre las volcanitas de Suca y los sedimentos continentales de Atajaña, está ausente en este sondaje. El paso de Suca a Atajaña es abrupto, por lo que se sospecha una discordancia. El Crétáceo termina con un conglomerado basal, con rodados de caliza del Caloviano y bloques de porfirita.

3.—*Jurásico.*—Desde 1.717 a 2.103 metros se perforaron sedimentos marinos constituídos por lutitas obscuras fosilíferas, calizas cristalinas y lutitas arenosas. Determinaciones de J. Corvalán permitieron identificar en un testigo cortado a los 1.756 metros Posidonia Alpina Grass, del Bajociano inferior, lo que significa que en este sondaje falta el Jurásico Superior y gran parte del Jurásico Medio, cuyos sedimentos marinos eran el principal objetivo del sondaje. Los fuertes manteos encontrados en los testigos hacen presumir la presencia de una falla importante que ha desplazado esta sección.

Desde los 1.940 metros empiezan a aparecer síntomas de metamorfismo, y a los 1.995 metros se cortó un testigo de roca andesítica verde obscuro, posiblemente un dique intrusivo. Hacia abajo los cuerpos ígneos se hacen cada vez más frecuentes y el metamorfismo de los sedimentos más marcado.

A los 2.103 metros se penetró en la formación Cuya, formada por lavas amigdaloides de composición andesítica, con fuertes manteos (40° a 60°) y frecuentes síntomas de alteración. La perforación se suspendió a los 2.203,3 metros por considerarse que ya no había objeto en continuar.

Pozo Hilarico Nº 1

Este es el único sondaje efectuado en la provincia de Antofagasta.

Esta ubicado a unos 8 kms. al oriente de la carretera Panamericana y a 15 kms. al sur del límite con la provincia de Tarapacá.

En el río Loa, a pocos kms. al sur de la localidad de Quillagua, aflora una interesante sección de sedimentos marinos con fósiles del Caloviano, que descansa con discordancia notable sobre un macizo de granito del Paleozoico. La formación basal del Caloviano es una arenisca cuarzosa, de grano medio, poco cementada, que constituye un horizonte ideal como roca acumuladora. La secuencia de lutitas obscuras y calizas constituyen excelentes rocas madres y a la vez sello adecuado. La tectónica local es simple, pero ya a pequeña distancia se observan perturbaciones tectónicas fuertes. El objetivo fundamental de la prospección sísmica en esta zona fue la búsqueda de una estructura cerrada donde pudiera probarse esta formación. Hacia el sur de esta localidad se observó la ausencia de sedimentos Jurásicos sobre el Granito o rocas paleozoicas, pero hacia el Norte y Este se detectó con sísmica de refracción un notable profundizamiento de la cuenca. Lamentablemente no hubo resultados satisfactorios con sísmica de reflexión, por lo que se decidió finalmente ubicar un sondaje basado en los trabajos de refracción, en un punto que debía estar en una nariz estructural, a unos 20 Kms. al Noreste de los afloramientos del Jurásico.

La cota del terreno es 960 m.; la de la mesa rotary: 964 m. El sondaje se inició el 5 de julio de 1962 y se terminó el 2 de agosto de 1962, siendo abandonado como pozo seco a la profundidad de 1.153,3 metros.

El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta 117 m.: 24"
Hasta 1.153,3 m.: 9.5/8"

Tuberías colocadas:

Hasta 115 m.: 16"
No hubo necesidad de otras entubaciones.

Sección Geológica perforada

La perforación encontró 926 metros de sedimentos del Relleno de la pampa, de posible edad Cuaternario o Terciario, pasando después a perforar rocas ígneas efusivas de carácter ácido, alteradas, cuya edad no ha sido posible determinar, perforándose 223,3 metros de estas rocas, sin encontrar variaciones importantes. Se da a continuación una breve descripción del Relleno de la pampa.

Hasta los 29 metros hay grava, rodados gruesos y arena poco cementada. De 29 a 44 metros hay predominio de rodados, con intercalaciones cada vez más frecuentes de yeso y ceniza volcánica. Desde los

44 a los 122 metros la sección es fundamentalmente de yeso, en parte de muy alta pureza. Entre 122 y 174 metros hay arcilla color pardo rojizo, a veces plástica, con pocas intercalaciones de toba. Desde 174 hasta los 238 metros reaparece el yeso, pero esta vez en bancos alternados con arcilla pardo rojizo. Sigue hasta los 482 metros una sección de arcilla parda rojiza, en parte arenosa a conglomerádica.

La sección comprendida entre 482 y 930 metros consiste fundamentalmente en conglomerados gruesos, constituídos por rodados redondeados de granito, lavas y metasedimentos, todo con cemento arcilloso pardo rojizo, algo de yeso y posiblemente algo de sal, que generalmente se obtiene en las muestras como pequeños trozos redondeados parcialmente disueltos por la inyección. Llama la atención la ausencia de las liparitas de la formación Altos de Pica.

A los 930 metros se encontró la base del relleno de la pampa, penetrándose en rocas ígneas, aparentemente efusivas, que han sido clasificadas como río-dacitas. Se penetró hasta 1.153,3 metros, sin encontrarse variaciones importantes. El alto grado de alteración de estas rocas, así como su gran espesor, descarta toda posibilidad de correlación con rocas efusivas del Terciario. Rocas volcánicas ácidas similares a éstas son frecuentes en el Cretáceo (formación Augusta Victoria, provincias de Antofagasta y Atacama) y rocas del Triásico, siendo más probable esta última edad. Sin embargo, sólo una determinación de edad absoluta por métodos radioactivos podría resolver o dar luces sobre este aspecto.

Es posible que el abandono de este pozo sin resolver este problema podría considerarse prematuro, no obstante que las posibilidades de encontrar sedimentos del Jurásico en buenas condiciones por debajo de esta serie efusiva son discutibles y el hecho de que los antecedentes estructurales determinados por sísmica de refracción para las capas más profundas ya no tendrían el significado que sirvió de base para recomendar este sondaje.

Pozo Soledad Nº 1

Este sondaje constituyó el último intento para investigar las posibilidades petrolíferas de la Pampa del Tamarugal. Fundamentalmente fue un sondaje estratigráfico, apoyado débilmente en antecedentes estructurales de sísmica de refracción. Es el sondaje más distante de la costa, en una zona de extrema aridez, ubicada a 18 km. al oriente del camino longitudinal. Para facilitar el acceso se debió preparar un camino de 20 km. Para el abastecimiento de agua para el sondaje se debió hacer prospección de agua subterránea a los pies de la Cordillera de la Costa, lográndose ubicar una napa acuífera a 37 metros de profundidad junto al camino longitudinal y transportar el agua con camiones. Esta napa produce agua salobre, por lo que el agua potable

para el campamento se debió transportar en camiones desde la ex-Oficina Prosperidad, ubicada a más de 100 kilómetros al Sur.

Cota del terreno: 935 m. Cota de la Mesa Rotary: 939 m. Perforación comenzada el 24 de agosto de 1962. Profundidad total: 2.295,5 m. Pozo abandonado como seco: 1º de diciembre de 1962.

El pozo tiene los siguientes diámetros:

Hasta 133 m.: 24"
Hasta 611,2 m.: 15"
Hasta 2.295,5 m.: 9.5/8"

Tuberías colocadas:

Hasta 131,89 m.: 16"
Hasta 606,24 m.: 10¾"

Sección Geológica perforada

La sección correspondiente al relleno de la pampa es similar a la de Hilaricos, y se compone de:

1.—O a 109.—Gravas, arenas y conglomerados poco consolidados, todo sedimentado como avenidas de régimen torrencial.

2.—109 a 188.—Arcillas rojas, con guías y bancos de grava y arena.

3.—188 a 315 m.— Tobas grises claras, con intercalaciones de arcilla parda, bancos de conglomerado y horizontes yesosos.

4.—315 a 474 m.—Arcilla parda a rojiza, con intercalaciones de tobas, en parte calcárea y de yeso impuro.

5.—474 a 574 m.—Fundamentalmente yeso bastante puro, con intercalaciones de tobas y arcillas pardas.

6.—574 a 603 m.—Conglomerado basal, formado por rodados de yeso de 18 m. de espesor seguido hacia abajo por clastos brechosos de rocas ígneas, principalmente porfiritas.

Bajo el relleno de la pampa se encontró una potente serie de volcanitas y sedimentos continentales con franco predominio de material piroclástico, que abarca desde los 603 a los 1.717 metros. Estas rocas han sido correlacionadas con la formación Empexa, de la Cordillera de Los Andes de Tarapacá, atribuídas al Cretácico, y que consiste fundamen-

talmente en conglomerados y brechas de porfirita. En forma resumida, la sección encontrada fue:

1.—603 a 693.— Lavas andesíticas color gris pardusco.

2.—693 a 1.221.—Tobas silíceas claras, con pocas coladas de lavas ácidas a intermedias. Los cien metros basales con potentes coladas de lava andesítica.

3.—1.221 - 1.745.—Sedimentos continentales, con predominio de conglomerados y brechas de andesita, con intercalaciones de areniscas y lutitas tobáceas verdes. Los sedimentos basales, comprendidos entre 1.717 y 1.745 metros están constituídos por una arenisca gris verdosa, arcósica, algo calcárea y con abundante pirita.

4.—A los 1.745 metros hay un salto abrupto de la litología, pasándose a una serie de lutitas negras con intercalaciones de caliza, de origen indiscutiblemente marino. El contacto es posiblemente uno de discordancia, ya que en los horizontes superiores la posición de los estratos es sensiblemente horizontal, mientras que las lutitas negras presentan inclinaciones de 10 a 15 grados. Los escasos fósiles recuperados sugieren una edad jurásica superior (Oxfordiano?). Estos sedimentos tienen 105 metros de espesor.

5.—A los 1.850 metros se penetra en una nueva formación, constituída por evaporitas y calizas, con escasas intercalaciones de lutitas negras y cuarcitas compactas, de grano muy fino. La roca es fundamentalmente una anhidrita blanca, muy pura.

6.—Desde los 2.100 metros se empiezan a observar síntomas de metamorfismo térmico y las rocas toman un aspecto de roca córnea, pasándose a un hornfels de granate.

7.—Entre 2.220 y 2.225 metros se cortó un dique diorítico.
El pozo fue terminado a los 2.295,5 metros.
Este sondaje fue, por lo tanto, el único que encontró un espesor

relativamente importante de sedimentos marinos en la Pampa del Tamarugal. No presentó horizontes porosos ni indicios de hidrocarburos. El creciente grado de metamorfismo termal encontrado en los últimos 200 metros hizo abandonar el pozo y las perspectivas petrolíferas de esta zona.

Conclusiones derivadas de los sondajes de la Pampa del Tamarugal

Después de seis sondajes efectuados en una extensión de sobre

220 km. a lo largo de la Pampa del Tamarugal, las perspectivas petrolíferas de la zona se ven extremadamente pobres. Un análisis objetivo de los antecedentes y resultados nos llevan a las siguientes conclusiones:

1.—La prospección geológica previa a los sondajes señaló correctamente que las condiciones generales eran desfavorables para la existencia de importantes yacimientos de hidrocarburos debido al franco predominio de rocas efusivas e intrusivas sobre los sedimentos marinos. Los paquetes de sedimentos marinos cercanos a las rocas intrusivas han sido afectados por éstas y destruídas las perspectivas petrolíferas en la mayor parte del territorio.

2.—No hubo problemas técnicos de perforación que afectaron a los resultados. Todos los sondajes, con la posible excepción de Hilaricos Nº 1, tuvieron suficiente profundidad para investigar totalmente el área que probaban. En ningún sondaje hubo demostraciones de hidrocarburo. Niveles con porosidad sólo se encontraron en rocas volcánicas.

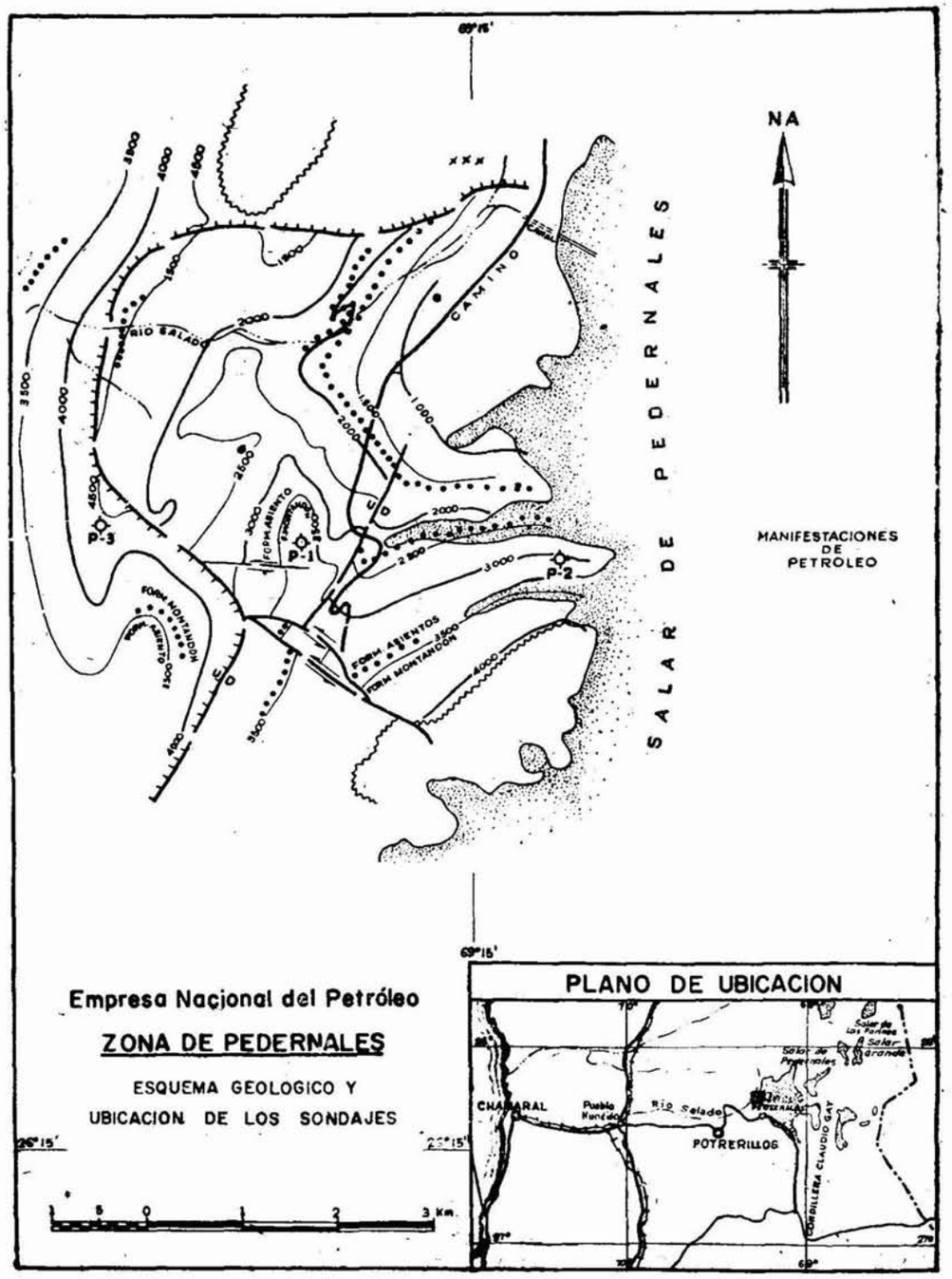
3.—En vista de la gran extensión del territorio investigado, esta campaña de sondajes puede considerarse bastante exhaustiva. Es nuestra opinión que las técnicas actuales de prospección petrolífera no son suficientes para la ubicación de nuevas áreas libres de rocas ígneas y con suficiente espesor de sedimentos que justifiquen nuevos sondajes exploratorios en este terreno.

IX.— PEDERNALES

1.— Antecedentes Geológicos

Las manifestaciones de petróleo del Salar de Pedernales son conocidas desde 1922. Fueron descubiertas por un señor Holberton, a raíz de la explotación de boratos que existen en las márgenes del Salar.

El Salar, ubicado en la Cordillera de Los Andes, a 3.400 m. de altura, en la Provincia de Atacama, tiene, en el lugar de las manifestaciones petrolíferas, una costra de sal de aproximadamente 1,5 metros de espesor. Sigue hacia abajo por lo menos 20 metros de agua saturada de sales, de densidad 1,2. El petróleo se presenta en una extensión de unos 30 metros de diámetro, en forma de manchas obscuras, y es posible extraerlo en las hondonadas de la sal, mezclado con gran cantidad de agua. Un análisis, efectuado en la Refinería de Concón, de una muestra tomada por la ENAP indicó una emulsión con 22% de petróleo, 30% de agua y 48% de barro y sal cristalizada. Al destilar el petróleo dio 10% de nafta, 14% de diesel liviano, 12% de gas oil y



64% de crudo reducido, lo que indica que ha perdido la mayor parte de los componentes livianos, posiblemente debido a la larga exposición a los agentes atmosféricos.

Estas manifestaciones petrolíferas atrajeron la atención de numerosos geólogos que hicieron estudios de la zona y establecieron varias hipótesis sobre el origen de las demostraciones.

Enap inició los estudios de este sector en abril de 1959. El informe final, con la recomendación para hacer los sondajes exploratorios, se terminó en julio de 1960. Estos estudios que estuvieron a cargo de Floreal García, establecieron en forma definitiva la estratigrafía y tectónica general de la zona. El área reconocida abarca unos 450 km2., de los cuales se detallaron 36 km2., vecinos a la zona en que se encuentran las manifestaciones superficiales, donde se recomendó la perforación de varios pozos exploratorios de aproximadamente 2.000 metros de profundidad máxima. La zona estudiada está inmediatamente al Poniente del Salar de Pedernales.

Desde el punto de vista petrolero, la zona tiene un basamento de rocas graníticas y volcánicas antiguas, sobre el cual se verificó la ingresión del mar del Mesozoico, especialmente en el Lías inferior (formación Montandón, + 600m.). Es importante señalar que la topografía existente en el momento de la ingresión marina fue notablemente irregular, de modo que no existe un conglomerado o arenisca basal uniforme, sino sumamente variable en calidad y espesor. Puesto que el resto de la serie marina del Lías está constituído por lutitas y calizas en general muy compactas, la arenisca basal constituye, a pesar de su irregular distribución y calidad, el principal objetivo como horizonte productivo de la zona.

Sobre el Lías sigue la serie del Dogger (formación Asientos, 200 a 700 m.) con capas marinas constituídas por areniscas arcillosas verdes, lutitas y calizas, que no presentan horizontes especialmente porosos y que constituyen, desde luego, niveles de menores posibilidades petrolíferas.

Falta luego el Jurásico superior sobre el Dogger, sigue la serie volcánica del Cretáceo inferior (formación Pedernales, 500-600 m.) que encierra también algunos paquetes de sedimentos marinos con fósiles del Neocomiano, la cual a su vez está cubierta en aparente concordancia por la formación Agua Helada, constituída por más de 900 metros de sedimentos rojos de posible origen continental. No hay antecedentes para determinar la edad de esta formación, que es la más alta que aflora en la zona.

La tectónica de Pedernales es compleja; existen apretados pliegues de rumbo N-S, complicados por fallas inversas. Por lo menos parte de las fallas son anteriores al plegamiento, por lo que su investigación y trazado en el terreno fue muy difícil. Las determinaciones paleontológicas han sido aquí una herramienta básica para resolver problemas de carácter tectónico.

2.— Plan de Sondajes

Como hemos mencionado, en el informe final se recomendó la perforación de varios sondajes; algunos de estos sondajes estaban destinados a probar fundamentalmente las areniscas del Jurásico medio en la culminación de una estructura cerrada y en un flanco de la misma estructura, en una posición tal que permitiera probar también el Jurásico inferior dentro del área de cierre estructural. Otros, en cambio estaban destinados a probar fundamentalmente la discordancia basal del Jurásico en un pliegue con cierre por falla inversa, un pliegue anticlinal compromido y una nariz estructural parcialmente expuesta.

3.— Dificultades de la zona

El plan de sondajes en el Salar de Pedernales presentó dificultades poco usuales. Existe un camino de acceso, mantenido por la Andes Copper Mining Co., que tiene por objeto asegurar el abastecimiento de agua para las minas de Potrerillos y Salvador. Sus curvas y pendientes son fuertes y poco adecuadas para el transporte de los equipos necesarios para un sondaje petrolífero. En Invierno la crudeza del clima es un serio impedimento. Fueron frecuentes las temperaturas de 20° bajo cero, y en una oportunidad la nieve aisló el campamento por 15 días. El agua dulce es sumamente escasa; la perforación debió hacerse por esto con agua del Salar, que además de su alta densidad (1,2) provocó fenómenos de corrosión en la sarta de perforación, lo que obligó a emplear barras de aluminio. La altura misma, aunque no es excesiva, resultó intolerable para parte del personal, que debió ser reemplazado. Estos y muchos otros problemas inherentes a la zona de trabajo debieron ser resueltos, con sacrificio del rendimiento y esfuerzo personal.

4.— Contrato.— Problemas de Perforación

El contrato de perforación fue asignado a Santa Fe Drilling Co., quién asumió la responsabilidad de perforar varios pozos de hasta 2.000 m. de profundidad, para lo cual se comprometió a traer desde Estados Unidos el equipo, campamento y personal clave, adecuados a la faena. El contrato fue firmado el 27 de septiembre de 1960, iniciándose las perforaciones el 13 de enero de 1961.

Se hicieron bajo este contrato sólo tres sondajes, que en conjunto demoraron prácticamente dos años, con un total perforado de 6.764,3 m. Este bajo rendimiento se debió principalmente a la presencia de varios factores adversos, entre los que debemos señalar:

a) Dureza del terreno.

b) Fuerte tendencia a la desviación de la vertical, cuyo control se atacó con estabilizadores y disminuyendo el peso sobre el trépano.

c) Pérdida de tiempo por dificultades en el abastecimiento de agua para la perforación, agravada por las pérdidas de circulación en zonas fracturadas del pozo; por las frecuentes heladas que bloqueaban las cañerías de abastecimiento y por dificultades mecánicas de bombeo.

d) Faenas de pesca, en parte debido a fenómenos de corrosión de las barras de perforación. Como ya hemos indicado, esto se corrigió cambiándolas por barras de aluminio.

Fuera de las causas señaladas, no hubo pérdidas de tiempo apreciables debidas a la inaccesibilidad de la zona, a fallas de abastecimiento o de personal, ni a accidentes.

5.— Los sondajes

Sólo se perforaron tres sondajes, denominados respectivamente Pedernales N° 1, Pedernales N° 2 y Pedernales N° 3, que estaban destinados exclusivamente a probar la discordancia basal del Lías, de modo que no fueron investigadas las eventuales posibilidades en el Dogger. La suspensión del plan de sondajes en Pedernales fue resuelta en consideración al alto costo de esta campaña, que no alentaba la esperanza de aprovechar económicamente lo que se descubriere.

Describiremos con cierto detalle la primera perforación, que fue la única que aportó indicios significativos de petróleo.

Pozo Pedernales N° 1

Perforación iniciada: 13 de Enero de 1961.
Perforación terminada: 13 de Septiembre de 1961.
Profundidad alcanzada: 2.261,87 m. B. M. R.
Cota Mesa Rotary: 3.453,30 s.n.m.
Cota terreno: 3.450,10 m.
Diámetro del pozo: 12¼" hasta 100,78.
Diámetro del pozo: 8¾" hasta 2.261,87.
Tubería colocada: 9.5/8" hasta 100,78.

Sección perforada.— La sección perforada fue simple; desde la superficie hasta los 1.632 m. están los sedimentos marinos del Lías inferios, consistentes en margas y limolitas calcáreas. Entre 1.338 y 1.380 se encontraron unos tres diques o mantos de pórfido diorítico, y entre 1.590 y 1.608 m. otro cuerpo ígneo, posiblemente un manto de lava amigdaloide.

Esta sección marina pasa abruptamente a una serie volcánica de carácter ácido a los 1.632 metros, estando, por lo tanto, ausente el conglomerado o arenisca basal, objetivo N° 1 del sondaje. El complejo volcánico se siguió perforando hasta 2.261,87, sin cambios fundamentales. A pesar de que el testigo correspondiente al fondo del pozo fue descrito por el Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile como "Leuco granito", parece que este sondaje no penetró el granito paleozoico.

La estrecha supervisión geológica mantenida en el pozo reveló la completa ausencia de horizontes permeables, lo que fue confirmado por los perfiles eléctricos. Sin embargo, fueron frecuentes las demostraciones de petróleo, que tuvieron las siguientes características:

1.—Fuerte olor en las muestras de canaleta, especialmente en las cercanías de zonas fracturadas, en lutitas calcáreas.

2.—Material fracturado recuperado en los testigos, con manchas y fluorescencia de petróleo en las grietas.

3 —Exudaciones de petróleo en testigos de limolita y en diaclasas selladas por calcita.

Estas demostraciones fueron frecuentes desde los 300 metros hasta el techo de la serie volcánica.

El 22 de febrero de 1961, durante la perforación se experimentó una fuerte pérdida de circulación al perforar una zona fracturada desde los 546,5 metros. Testigos cortados en esta zona indicaron la presencia de fracturas abiertas, en parte con fluorescencia y manchas de petróleo, en parte con manchas de hidróxido de fierro, de modo que esta zona de posible interés había sido invadida por agua meteórica, lo cual dejó en evidencia la falta de cierre de este horizonte. Se hizo una prueba de producción con tester, sin éxito.

Debido a las fuertes pérdidas de barro experimentadas, se decidió seguir perforando sólo con agua salada, procedimiento que se continuó hasta el 14 de mayo, fecha en que, para paliar las dificultades de abastecimiento de agua, se decidió sellar con cemento la zona de fracturas de los 540 metros y proseguir la perforación con barro. La profundidad era entonces 1.333 m.

Se probaron después los intervalos 1.377,5 a 1.395,5; 1.462,1 a 1.478,1 y 1.714,5 a 1.798,5; ésta última ya dentro de la serie volcánica, no obteniéndose sino leves indicios gaseosos sin ninguna importancia.

Una última zona de fracturas que provocaron pérdidas importantes de circulación se encontró a los 1.945 metros en una serie de lavas de carácter ácido sin rastros de hidrocarburos.

Se dió por terminado el sondaje el 7 de septiembre, a los 2.261,87 m. Antes de abandonar el pozo, se cambió el barro por agua salada y se

ordenó hacer una prueba de vaciado, con la esperanza de obtener mayores informaciones sobre los fluídos contenidos en las zonas de fractura. Se bajó tubbing hasta 1.400 metros. El 9 de septiembre se había conseguido vaciar el pozo hasta los 900 metros, éste empezó a fluir agua salada y gas con fuerte olor a petróleo. El pozo llegó a acumular 340 libras de presión y producir agua a razón de 206 lit/min. La salinidad del agua decreció durante las pruebas de 84.000 P.P.M. a 44.000 P. P. M. en iones cloro, lo que indica la afluencia de agua distinta a la empleada en la perforación, proveniente del Salar de Pedernales, que acusa sobre 180.000 P.P.M. de ion cloro. El agua arrastró algunas indicaciones de petróleo que formaron una espuma, con olor y fluorescencia característicos.

El 11 de Septiembre se trató de encender el gas, pero esto no se consiguió. Se tomó una muestra del gas y del agua para su análisis en la Refinería de Concón, que arrojó los siguientes resultados:

Análisis del Gas:

CO_2	87,0 %
N_2	7,0 %
O_2	0,8 %
CH_4	1,6 %
C_2H_6	2,8 %
C_3H_8	0,0 %

Análisis del agua:

Calcio	4.800 P.P.M.
Magnesio	12.500 P.P.M.
Cloruros	50.300 P.P.M.
Sulfatos	3.00 P.P.M.
Petróleo	11 P.P.M.

En vista de este resultado, el día 13 de septiembre, se mató el pozo con agua salada y se hizo un perfil de temperatura, con el objeto de detectar las zonas de afluencia del anhidrido carbónico y del agua. Los resultados obtenidos no fueron fáciles de interpretar a pesar de que la anomalía más signifcativa del perfil térmico ocurrió a los 1.900 m. de profundidad, donde se registró un cambio abrupto de gradiente térmica de 3¼°F/100 m. a 5¼°F/100 m. Este punto coincide bastante bien con la zona de pérdida de circulación encontrada a los 1.945 metros señalada más arriba y debería corresponder a una zona de afluencia de CO_2 y agua caliente, ya que se supone que parte del agua proviene tal vez de puntos más altos, junto con los rastros de petróleo y gases combustibles.

Después del perfil térmico se bajó tubbing hasta 1.100 m., vaciándose nuevamente el pozo, pero éste no fluyó.

Se colocaron tapones de cemento en 1.400 m., 1.100 m. y 120 m., abandonándose el sondaje el 13 de septiembre de 1961.

Pozo Pedernales N° 2

Perforación iniciada: 16 de septiembre de 1961.
Perforación terminada: 12 de mayo de 1962.
Profundidad alcanzada: 2.502 m.
Cota mesa rotary: 3.400,50 s. n. m.
Cota terreno: 3.397,10 s. n. m.
Diámetro del pozo: 12¼" hasta 154 m.

8¾" hasta 1.573,6 m.
6¼" hasta 2.500 m.
5.3/8" hasta 2.502.

Tubería colocada: 9 5/8" hasta 151,35 m.
7"hasta 1.569,6 m.
Tubería recuperada: 862,20 m. de 7"

Sección perforada.— La sección estratigráfica encontrada en este sondaje no pudo ser correlacionada con la perforada en el Sondaje N° 1.

De acuerdo con la descripción de las rocas encontradas en la perforación, el sondaje debió iniciarse en la formación Montandón, muy cerca de su contacto superior, o en la base de la formación Asientos. Se perforaron 490 metros de lutitas limosas obscuras alternadas con bancos de caliza fosilífera, muy fracturada, que causó la frecuente pérdida de circulación, porforándose a menudo sin retorno de inyección. A los 399 metros se cortó un banco prominente de fósiles.

Desde los 480 a los 870 metros se cortó una sección con predominio de areniscas calcáreas finas con colores grises y verdosos, sección no correlacionable con la encontrada en el pozo N° 1, pero que recuerda mucho la formación Asientos.

A los 870 metros se produce un cambio litológico importante, pasándose a una serie de sedimentos rojos, de carácter continental; éstos consisten en lutitas y limolitas pardas, con intercalaciones de areniscas finas, calcáreas y compactas; en general, estos sedimentos presentan buena estratificación en los testigos. Algunas secciones presentan carácter tobáceo. Entre 2.168 m. y 2.318 m. se cortó una intercalación de brechas con fragmentos de granito y de rocas metamórficas, volviéndose nuevamente a la serie de lutitas y limolitas rojas hasta la profundidad total de 2.502 metros.

Este resultado sorprendió bastante, ya que de acuerdo con los es-

tudios geológicos de superficie, sólo se esperaba encontrar la serie marina del Jurásico inferior, con un espesor no superior a 1.000 metros, sobrepuesta a la serie volcánica paleozoica que aflora a menos de 1 km. al sur de la ubicación.

De los antecedentes disponibles, parece desprenderse que existe un pliegue volcado, el cual se perforó inicialmente en el ala superior, pasándose antes de los 400 metros al ala inferior, lo que explicaría la secuencia encontrada; Montandón, Asientos y Agua Helada. Posiblemente entre la formación Asientos y la formación Agua Helada existe una falla inversa a los 870 m., que elimina la formación Pedernales.

Un examen cuidadoso de los perfiles eléctricos tiende a confirmar la presencia de capas volcadas entre los 150 y 350 primeros metros, que corresponderían a la sección encontrada en el pozo N° 1 entre los 200 y 350 metros, pero en posición invertida.

En los 38 testigos cortados se observaron manifestaciones débiles de petróleo en forma de olor y fluorescencia relacionadas con planos de fractura, generalmente sellados por calcita, hasta los 1.143 metros. No se observaron rocas porosas. Más abajo, las demostraciones se redujeron a escasas pintas fluorescentes.

Se hicieron 10 pruebas de formación, recuperándose sólo agua salada proveniente de fracturas, sin el menor indicio de hidrocarburos.

El pozo se abandonó a los 2.502 metros, profundidad que copaba la capacidad del equipo, sin posibilidad de tener a profundidad alcanzable algún horizonte de interés petrolífero.

Pozo Pedernales N° 3

Perforación iniciada: 15 de mayo de 1962.
Perforación terminada: 9 de noviembre de 1962.
Profundidad alcanzada: 2.000,4 metros.
Cota Mesa Rotary: 3.458,18 m.
Cota de terreno: 3.454,91 m.
Diámetro del pozo: 12¼" hasta 150 m.
8¾" hasta 2.000,40 m.
Tubería colocada: 9.5/8" hasta 148,03 m.

Sección perforada.— La sección perforada en este sondaje fue en todo similar a la del pozo N° 1. Se inició el sondaje en la parte superior de la formación Montandón, encontrándose su base a los 1.975,5 metros. Tal como en el pozo N° 1, no se encontró conglomerado o arenisca basal, pasándose directamente a las rocas efusivas pre-jurásicas de la formación La Tabla, en la que se penetró hasta los 2.000,40 metros.

Este sondaje no tuvo mayores problemas de perforación, ya que no se encontraron zonas fracturadas que originaran pérdidas de circulación, ni se experimentó desviaciones importantes de la vertical.

Se observaron numerosas demostraciones de petróleo en toda la sección, con las mismas características del pozo N° 1, pero no hubo rocas permeables ni zonas fracturadas que pudieran servir de acumuladoras de hidrocarburos. A pesar de estas condiciones desfavorables, se hicieron 5 pruebas de formación, todas con resultados negativos.

6.— Conclusiones sobre los sondajes efectuados en Pedernales

Los tres sondajes efectuados demostraron que la formación Montandón es la que presenta mejores indicios de petróleo, y es probablemente la roca que ha generado los hidrocarburos. Sólo dos sondajes atravesaron la base de esta formación, no encontrándose arenas basales ni otras rocas capaces de actuar como acumuladoras de hidrocarburo. Pases abruptos observados en la superficie entre las rocas sedimentarias y las series volcánicas antiguas indican la presencia de una costa de acantilados.

Los estudios geológicos generales indican que si bien las condiciones desfavorables encontradas en los sondajes no pueden extrapolarse a toda la zona de Pedernales, ellas constituyen, sin embargo, un antecedente desfavorable para la prosecución de trabajos sistemáticos de esta índole.

X.— CONSECUENCIAS ADICIONALES DE LA CAMPAÑA DE EXPLORACION PETROLIFERA DE LA ZONA NORTE

Fuera de los asuntos propiamente petrolíferos, la campaña exploratoria tuvo consecuencias de cietra importancia para la zona norte, entre las que cabe mencionar especialmente las siguientes:

1) La confección del plano geológico, que impulsó la prospección cuprífera de Tarapacá en gran escala, tanto por el Instituto de Investigaciones Geológicas como por empresas particulares.

2) Un notable progreso en el conocimiento de las aguas subterráneas de la Pampa del Tamarugal.

3) El descubrimiento de extensos yacimientos de caliza, algunos de alta ley, en las provincias de Tarapacá y Antofagasta, así como de yacimientos de mármol, que ya ha dado origen a una nueva industria regional.

4) Antecedentes sobre yacimientos de Kieselguhr, grafito y apatita, los que han sido puestos en conocimientos de la Corporación de Fomento de la Producción.

XI.— BIBLIOGRAFIA

La mayor parte de la información y antecedentes sobre las exploraciones petrolíferas de la zona norte se ha obtenido de informes internos de Enap. Las siguientes publicaciones hacen referencia a la Geología del Norte.

1) *Brüggen, Juan,* 1950: Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar.

2) Biese, W. *A.,* 1957: Der Jura von Cerritos Bayos — Calama, República de Chile. Hannover.

3) *Cecioni, G. y García, F.,* 1960: Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá, Bol. N.° 6, Instituto de Investigaciones Geológicas, Stgo., Chile.

4) *Galli, C.* 1957: Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá. Minerales N.° 56. Santiago, Chile.

5) *García, F., Pérez, E. y Ceballos, E.* 1962: El Ordovícico de Aguada de la Perdiz, Puna de Atacama, Provincia de Antofagasta, Minerales N.° 77, Santiago de Chile.

6) *García, F.*: Geología del Norte Grande de Chile. En Prensa.

7) *Harrington, H. J.,* 1962: Geology of parts of Antofagasta and Atacama Provinces, Northen Chile. Bull. of the American Association of Petroleum Geology N.° 2.

8) *Hoffstetter, R., et al.,* 1957: Lexique stratigraphique International, Amerique Latine, Chile.

9) *Mordojovich, C.,* 1960: Exploraciones petrolíferas en la zona norte por la Empresa Nacional del Petróleo. Minerales N.° 71, Santiago de Chile.

10) *Mordojovich, C.,* 1957: La Exploración de Yacimientos Petrolíferos. Revista Chilena de Ingeniería N.° 5-6.

11) *Ruiz, C. y otros,* 1961: Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de Granitos chilenos. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N.° 7. Stgo. de Chile.

12) *Wenzel, O.,* 1960: La búsqueda del Petróleo. Revista Chilena de Ingeniería N.° 2-4.