Rapport sur les possibilités d'exploitation des carbonates de sodium dans le Sud de l'Altiplano bolivien.

INFORME GEOLOGICO - ECONOMICO DE LA LAGUNA COLLPA Y DE LA LAGUNA HEDIONDA

I.- INTRODUCCION.

La búsqueda de minerales de sodio, más propiamente la búsqueda de carbonato de sodio natural, en forma de trona o formando otro tipo de mineral, ha hecho que QUIMBABOL, dentro de sus planes y proyectos, programa y ejecute el Proyecto de Carbonato de Sodio, con el propósito de satisfacer la demanda nacional de este producto que es cada día más creciente. Bajo esta premisa es que se ha encarado el reconocimiento y estudio más profundo de algunas lagunas ubicadas en la región de los Lipez, como ser la de Collpa y Hedionda Sud, analizando las perspectivas que pueden ofrecer para una explotación de carbonato de sodio.

Para este fin se han realizado dos campañas de campo, la primera el año 1976 en el mes de Agosto y la segunda durante el mes de Septiembre de 1977, en el primer caso los resultados han servido de base para programar la segunda campaña con mayor detalle y que las conclusiones de la misma sirvan como resultados que permitan tomar decisiones a nivel industrial, para la segunda campaña se ha contado con la valiosa cooperación de prestigiosos profesionales del convenio UMSA-ORSTOM y de QUIMBABOL.

La Comisión formada para esta campaña se constituyó de la siguiente manera:

Ing. Antonio Echenique M.	QUIMBABOL
Ing. Oscar Ballivián Ch.	UMSA - ORSTOM
Dr. Francois Risacher	UMSA - ORSTOM
Sr. Antonio Mamani	QUIMBABOL

Los miembros de la comisión para el cumplimiento de los objetivos señalados se trasladaron a la región de los Lípez y además de visitar la laguna Collpa, también recorrió la laguna Hedionda Sud, que se encuentra a dos Kms. al Norte de la anterior laguna, posteriormente la comisión visitó otras lagunas de posible interés para obtener una información adecuada a los fines de una evaluación de posibilidades de aprovechamiento industrial de carbonato de sodio.

El traslado de la comisión a la región, fué realizada en dos vehículos, un Jeep de ORSTOM y un Wippon proporcionado por el Comando General del Ejército a QUIMBABOL; recorriendo principalmente las provincias Nor y Sud Lipez, desde el 6 al 24 de Septiembre.

Si bien el trabajo de campo fué realizado en un período de tiempo muy apretado, se ejecutaron todos los objetivos planteados, especialmente se efectuaron titulaciones de todas las muestras de aguas obtenidas, el muestreo, estimación en el terreno de las posibilidades económicas, etc.

El trabajo de laboratorio demandó mayor cantidad de tiempo debido a la complejidad de las aguas de las lagunas, determinando en muchos casos morosos procesos de filtración y decantación de materia sólida, determinaciones mediante Rayos X de una muestra sólida obtenida como producto de congelamiento, la que corroboró que al evaporarse el agua, la sal que se forma es termonatrita.

Dentro de los análisis se aplicaron las técnicas más adecuadas bajo supervisión directa del Dr. Francois Risacher, con lo que se obtuvo un alto grado de confiabilidad en los valores obtenidos.

Fonds Documentaire ORSTOM
010005586

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : B* 5586 Ex : 1

I.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

Se tiene conocimiento que por los años 1958 a 1960, se efectuó una explotación de trona en la laguna Cachi, mediante la Empresa QUIMICA BOLIVIANA, cuyo Gerente el Sr. Ing. Alejandro Barrero llegó inclusive a realizar algunas exportaciones a la República de Chile.

Posteriormente COMIBOL ha realizado explotaciones muy temporales, con el propósito de utilizar el carbonato de sodio de Collpa en pequeñas cantidades como fundente, para lo que destacó en varias ocasiones camiones a fín de recoger el mineral en las lagunas; como su consumo es mínimo unas cuantas toneladas les servía para uno o dos años.

Hacia el año 1972, la laguna comenzó a ser explotada por comunarios de la zona, los que se agruparon formando la cooperativa San José, quienes aprovechan el congelamiento que se produce en la superficie de la laguna durante los meses de invierno, para extraer el Na_2CO_3 que forma una película aflorescente de algunos cms. de espesor sobre la calota de hielo. El procedimiento simplemente se realiza raspando el carbonato de sodio dejándolo posteriormente secar en montones acumulados en las orillas de la laguna tal como se puede apreciar en las fotografías 1 y 2; en algunos casos se lo somete a calcinación moderada en planchas de hierro, las que son calentáe con yareta como combustible, mediante este sencillo proceso se logra elevar la ley del carbonato de sodio por encima del 60%.

Este material así tratado es embolsado y enviado a la ciudad de Oruro para su entrega a ENAF, quién les compra al precio de $b. 3.000.- por tonelada con ley de 60% de carbonato, puesto Oruro.

En función de trabajos de investigación ó reconocimientos cabe señalar que el año 1967 el Ing. Genaro Zegarra recorrió esta zona, habiendo obtenido muestras de cada laguna las que fueron analizadas por boratos y trona, posteriormente en algunos trabajos de geología regional de GEOBOL mencionan las lagunas de Cachi y Collpa como posibles depósitos de Trona.

En la Tésis de Grado preparada por el Ing. R. Cardona de la zona de Quetena, señala la existencia de las lagunas Collpa y Hedionda, sin referencias específicas sobre su quimismo.

En los meses de Septiembre y Diciembre de 1974, el Ing. C. Soruco de COMIBOL por encargo de la Gerencia de Exploración de esa entidad, efectuó dos trabajos preliminares de evaluación con el propósito de explotación de la laguna para abastecimiento de sus fundiciones.

El año 1976 como ya mencionamos anteriormente, una comisión destacada por QUIMBABOL y compuesta por el Ing. Antonio Echenique ha realizado un reconocimiento preliminar de las lagunas de Sud Lipez, con un enfoque más detallado de las lagunas Collpa y Hedionda, además en el informe respectivo se señalan otras lagunas con análisis de sus aguas.

Los objetivos primordiales que se trató de alcanzar son los siguientes:

I.1.1. Reconocimiento geográfico y geológico general de la zona.

I.1.2. Naturaleza petrográfica de las rocas de influencia.

I.1.3. Muestreo sistemático de la laguna Collpa y muestreo parcial de las demás lagunas.

I.1.4. Estudio de los aportes de agua (caudales).

I.1.5. Quimismo de las aguas de la laguna y de los aportes.

I.1.6 Cantidad de sales disueltas.

I.1.7 Estimación de la cantidad y calidad de las sales renovables.

I.1.8 Estudio de los posibles sistemas de explotación.

Con los resultados obtenidos se alcanzó a tener un claro concepto de la laguna Collpa, de sus reservas de carbonato de sodio y de los sistemas que se pueden emplear para la extracción del mismo.

I.2 UBICACION Y ACCESO

La laguna Collpa, centro principal de operaciones se encuentra ubicada en el cantón Quetena Grande, Provincia Sud Lipez del Departamento de Potosí, dentro de las coordenadas geográficas, aproximadas de 22° 30' de latitud sud y 67° 30 'de longitud oeste, sobre una altura promedio de 4.510 m/snm. altura que representa el nivel medio de las extensas pampas desde la laguna Colorada al Sud (Mapa de Ubicación).

Existen dos vías de acceso desde la localidad de Uyuni; la primera que sale de dicha población y llega hasta las proximidades de Río Grande, pasando por la estancia Culpina - Soniquera- Quetena Chico - Quetena Grande - Laguna Collpa, con un total de 306 Kms.

La segunda vía de acceso es más larga; saliendo de Uyuni, hacia Chiguana (Estación Ferroviaria) - Corina - Laguna Colorada- Salar de Chalviri- Collpa Laguna, con un recorrido de más de 500 Kms.

La elección de cualquiera de los caminos depende mucho de la época del año en que se realiza el recorrido, en tiempo de lluvias es más seguro transitar por la vía de Chiguana. En caso de efectuar una explotación más intensiva, se puede utilizar la Estación de Chiguana como punto de embarque, lo que ahorrará tiempo almmovimiento terrestre de carga.

La población de Quetena Grande que también se conoce con el nombre de Barrancos, sirve de base a los de la Cooperativa San José que actualmente explota la laguna, cuenta con una Estación de Radio que comenzará a operar normalmente en el mes de Marzo del presente año (ENTEL), además con servicios mínimos a nivel de pequeña comunidad rural.

Desde Quetena y/o desde Collpa Laguna se tiene conexiones con las minas de azufre de Río Blanco y Laguna Verde, también con la mina del cerro Uturuncu ubicada cerca de Quetena, mediante caminos de tercera clase.

II. AMBIENTE GEOGRAFICO.

Esta región geográfica se caracteriza por su aridez, cordones alineados avenamiento centrípeto y bajos con evaporitas.

Es posible observar en el sector, conspicuos picos volcánicos como ser cerro Quetena (5615 msnm), Zapaleri (5656 m.s.n.m.) Uturunco (6008 m.s.n.m.), Soniquera (5896 m.s.n.m.), Polques (5425 m.s.n.m.) Putana (5460 m.s.n.m), Michina (5537 m.s.n.m); que contrastan grandemente con depresiones que constituyen amplias lagunas como ser, L. Colorada, L. Hedionda, Laguna Collpa, Laguna Verde, etc., como también salares de distintas formas y dimensiones que se ubican entre los 4000 y 4500 m.s.n.m. y que se encuentran en su mayor parte rodeados de volcanes.

El clima es seco y frío, los meses de Julio y Enero corresponden a los más fríos y más cálidos respectivamente. Las temperaturas mínimas de invierno (Mayo a Agosto) alcanzan los - 30°C existiendo medias de 15 a 20°C.

Las precipitaciones son relativamente escasas (entre los Isohietas de 100 - 200 mm).

Los vientos son un rasgo dominante en el clima, contribuyen a aumentar la evaporación en los salares y lagunas; y tienen una dirección predominante Noreste- Sudoeste, alcanzando sus mayores valores en los meses de Agosto y Septiembre.

El producto de las precipitaciones en la región se concentra en pequeñas cuencas de evaporación, incrementando los acuíferos de salares y lagunas o evaporándose parcialmente en la superficie.

El agua superficial es limitada, encontrándose sólo algunos arroyos temporales que se insumen en sectores vecinos a salares y lagunas, es de mencionar que en las cercanías a Quetena Grande, tiene su inicio el Río Grande de Lipez (foto Nº 3) que después de recorrer muchos kilómetros pierde su caudal en el inmenso e impresionante salar de Uyuni donde deja el material en suspensión y solución (Estación Río Grande).

La altura, el clima excesivamente riguroso que tiene una clara influencia sobre el organismo, especialmente de personas poco resistentes, han impedido que se arraiguen en estos parajes poblaciones de cierta importancia.

En toda la región no se observa ningún indicio de vida floreciente solo existen pequeños caseríos como ser: Quetena Grande, Quetena Chico, etc. donde es posible encontrar auxilio elemental como posta sanitaria, telégrafo, algún modestísimo almacén. En lo que respecta a mano de obra se puede conseguir alguna, siempre y cuando las necesidades sean mínimas.

El aspecto de la zona es desértico; la vegetación es pobrísima estando constituída en su mayoría por paja brava, thola y yareta, estos 2 últimos sirven de combustible, la fauna es abundante y diversa, viscachas, en las lagunas patos, huallatas y pariguanas, a mayores alturas en las pampas se encuentran grupos de vicuñas.

El agua si bien no es muy abundante, es suficiente para las necesidades culinarias y de explotación, además de que en lugares del área es posible observar vertientes de agua potable como también fuentes termales de diversa temperatura que llevan en solución diversas sales; dentro el gran área de Sud Lipez el sector que nos interesa, en forma particular, es el de Collpa, lugar de estudio y Quetena Grande, poblado donde hicimos campamento base.

Las condiciones de clima y recursos naturales anotadas anteriormente son las imperantes en el lugar específico de trabajo.

El cantón Quetena Grande fué la base de nuestras operaciones, es un lugar óptimo para pernoctar, pués siempre existe la voluntad de las autoridades para proporcionar vivienda adecuada y mano de obra, además de que el aprovisionamiento de agua y combustible es sencillo y práctico, pués el arroyo Quetena pasa a escasos 200 metros del lugar y la thola y yareta es abundante en zonas aledañas a la localidad.

Collpa Laguna también cuenta con un pequeño campamente que puede ser utilizado, son 4 habitaciones alguna de ellas con estufa donde es posible acampar, lógicamente por ser un lugar mas descubierto el viento y el frío se siente con mayor intensidad, pero, el estar situado este campamento sobre el sitio de trabajo, lo hace importante, especialmente en lo relacionado al tiempo efectivo de trabajo por día.

III GEOLOGIA GENERAL

El área está caracterizada especialmente por la presencia de rocas volcánicas de edad miocena o reciente (determinaciones efectuadas con K-Ar), estas vulcanitas que constituyen grandes espesores han sepultado sedimentos de edad diversa.

Estableciendo una síntesis general podemos decir que en el S W boliviano, existen afloramientos de distintas rocas y edades variables entre las que se destacan podemos mencionar:

- Cuarcitas, areniscas y filitas de edad ordovícica.
- Calizas, areniscas calcáreas del Cretácico (Fm. el Molino, Santa Lucia, Cayaca, AHLFELD y Branisa, 1960).
- Primeras lavas correspondientes a la Formación Potoco que en su base presentan areniscas rojisas, limolita, etc) (Paleoceno-eoceno).
- Areniscas amarillas grisáseas de la Formación Quehua (oligoceno), en su parte superior presenta algunos estrato volcanes.

En el mioceno empezaría en forma amplia la actividad volcánica. Las rocas volcánicas tempranas son en su mayor parte de composición ácida del tipo dacitas, riodacitas de estructura ignimbrítica y que se caracterizan por cubrir extensas áreas formando relieves bajos, planicies (Foto nº4). Estas ignimbritas son claramente identificables por su gran potencia, extensión morfología y por la típica geoforma que presentan, un rasgo sobresaliente es su típica erosión desordenada.

Estas ignimbritas agrupadas en la Formación Ignimbrítica corresponden al plioceno (Fernández, 1973) y cubren casi todo el área.

Durante el cuaternario un gran número de estrato-volcanes fueron expulsados sobre las ignimbritas. Los volcanes principalmente son de composición riodacítica y latiandesítica, la mayor parte de los volcanes son del pleistoceno (Kussmaul, Jordán, Ploskonka, 1975).

Como parte final de la estratigrafía general podemos incluir a depósitos aluviales diversos como ser varios niveles de terrazas, conos aluviales, gravas de terrazas recientes, abanicos, etc.

Depósitos Morrénicos se encuentran en altitudes superios a los 5000 m. cubren áreas reducidas por efecto de la erosión (Cerro Uturunco).

El cuaternario muy superior está constituído por sedimentos clásticos y químicos, estos últimos representados por calizas y evaporitas.

Las evaporitas se encuentran en los salares y constituyen una costra de sal que cubre la superficie de dichas cuencas.

III.1 GEOLOGIA LOCAL DE LA LAGUNA COLLPA.

La región de Collpa Laguna no se aparta del común denominador del área de Sud Lipez, es decir, se caracteriza por su clima de extrema aridez, grandes variaciones diarias de temperatura, precipitaciones moderadas en verano, Las condiciones imperantes en este ambiente determina una evaporación fuerte incrementada por los vientos secos.

La vegetación es casi nula existiendo solo las variedades ya enumeradas anteriormente, la fauna de la laguna se reduce a pariguanas que parecen encontrar alimento adecuado en los sedimentos del fondo.

El marco geológico de los afloramientos rocosos existentes alrededor de Collpa, corresponden a vulcanitas de composición ácida a mesosílícica, posiblemente riodacitas a latiandesitas. Es claro observar que la depresión lagunar es rodeada en el sector Norte por un relieve positivo (cerro Collpa Laguna) (fotos 1), conformado por rocas de un color marrón obscuro a claro, luego el relieve hacia el Sur Este y W se suaviza dando lugar a pendientes de inclinación relativa hacia la laguna y, conformadas por rocas de colores sensiblemente más claras y diaclosadas, con estructura ignimbrítica (ver foto nº 6).

Las lomadas se hallan recubiertas por material inconsolidado volcánico.

En el borde de la depresión es clara la presencia de fragmentos de roca en diverso tamaño, ya en contacto con el agua y siempre en el borde se ven limos y arcillas. Es de acotar que todo el borde más próximo a la laguna se encuentra recubierto por un tenue tapiz de carbonato de sodio.

Como se dijo anteriormente la composición química de las rocas de influencia de la laguna, no varían grandemente en composición, si, es notoria la diversa morfología que presentan, de todas maneras es importante reconocer que el constante lixiviado de las Riodacitas y Latiandesitas terciarias dan lugar a la formación después de procesos fisicoquímicos complejos a las diversas sales en solución de la laguna.

Algunos pozos efectuados cercanos a la laguna (entre y a 1 m) del borde, nos confirmaron la presencia del nivel freático (de aguas muy dulces) muy cerca a la superficie, entre 10 -20 cm de tal manera se determinó que las entradas suterráneas son evidentes; a estas, es necesario sumar los aportes superficiales que son 5,más el aporte pluvial que mantienen con pequeñas variaciones, constante el nivel de agua de la laguna (algunos años disminuye por efectos de una estación seca).

Los sedimentos del fondo de la laguna Collpa están constituídos por lodos negruscos, compactos con fuerte olor a amoniaco (material orgánico). En Rayos X da material esencialmente amorfo con algo de calcita e illita.

Para mayor información sobre el carácter petrográfico de las rocas aflorantes como de los procesos erosivos a los que fueron sometidas éstas y, los controles físico-químicos actuantes, es necesario obtener los resultados últimos de laboratorio que serán procesados y publicados posteriormente en un informe científico en elaboración.

IV. QUIMISMO DE LAS LAGUNAS.

IV-I Collpa Laguna: Se trata de una laguna típicamente carbonatada sódica. En el campo hemos sacado 25 muestras de aguas superficiales de 4 perfiles Oeste - Este A,B, C, D (fig. 2 y foto no 6) para cubrir toda la laguna. En el centro de la laguna hemos tomado 3 muestras de aguas del fondo (en los perfiles B y C).

En el campo mismo hemos efectuado enseguida para todas esas 28 muestras una titulación con pH-metro, para determinar la alcalinidad total y las concentraciones en $CO_3^{=}$ y HCO_3^{-} (ver cuadro Nº 1) los valores marcados en la figura 2 indican la alcalinidad total. Notamos la gran uniformidad de esos valores, en la superficie como en el fondo lo que indica claramente una concentración bien uniforme de las sales en casi toda la laguna. Una delgada franja al Este presenta valores ligeramente menores (al Este de la línea punteada en la figura). El promedio de los valores de la alcalinidad total en la mayor zona al Oeste de la línea punteada es de 558 meq (H^+)/lt. Todos los demás valores están dentro de: 558 ± 1% meq (H^+)/lt. Al Este el valor más bajo es de 483 meq (H^+)/lt ó sea 14,5% más bajo que el promedio del Oeste.

Tomando en cuenta esa uniformidad hemos reducido considerablemente la cantidad prevista de análisis de aguas: hemos analizado completamente las muestras de los puntos C1, C3, C3P (muestra de fondo) y B7 (muestra menos concentrada). Todos los demás iones tienen también concentraciones muy vecinas (ver los análisis en el cuadro Nº 2). También hemos analizado 2 muestras de aguas dulces de manantiales: al Norte y al Sur, cada una representativa de las respectivas zonas de aportes.

Una primera constatación es que la concentración por evaporación de esas aguas dulces conduce bien a una salmuera carbonatada sódica. Los cálculos exactos para demostrar rigurosamente este punto son un poco largos y teóricos.

Estos son descritos en detalles en una publicación de Hardie and Eugster (1971) y de Risacher (1978). Entonces el quimismo de la laguna se debe a un fenómeno actual y las sales son, con casi toda seguridad, traidas por las aguas dulces de los bordes.

En cuanto a las salmueras tenemos como STD (= Sales totales disueltas): Na_2CO_3 y Na Cl. Las impuresas más importantes son cloruros, sulfatos, bicarbonatos, boratos de Na y K que corresponden al 6% de las STD.

Podemos calcular a partir de los análisis la cantidad total de STD en la laguna y de Na_2CO_3 en solución, tomando en cuenta las 2 zonas de la laguna. La superficie total es de 900.000 m2 y la profundidad media de 1.5 m.

(Informe: Antonio Echenique de 1976).

Zona	Superf. m2	Volumen de agua m3	STD g/l	Na_2CO_3 g/l	STD ton.	Na_2CO_3 Ton.
Oeste	765.000	1.147.500	43	29	49.300	33.200
Este	135.000	202.000	39	26	7.900	5.300
		TOTAL			57.200	38.500

Esos valores que redondeamos a 57.000 y 38.000 toneladas corresponden al stock actual que hay en la laguna, inmediatamente recuperable.

El modo de recuperación más simple consiste a evaporar la salmuera en piletas (detalles técnicos más abajo). En este caso la ley de la sal que se puede obtener va a depender de las otras sales (NaCl) y sobre todo del grado de deshidratación. La sal mayor que se depositaría sería el natrón: (Na_2CO_3, $10H_2O$ que se transforma por deshidratación en thermonatrita: Na_2CO_3. H_2O. Hay muy poco HCO_3 para que se tome en cuenta la trona: (Na_2CO_3, Na H CO_3,$2H_2O$).

Variedad de carbonato obtenido	Ley en Na_2CO_3 de la sal que se deposita.
Natron: Na_2CO_3, 10 H_2O	31,3 %
Thermonatrita: Na_2 CO_3 , $H_2$2	59,8 %
Na_2CO_3 anhidro	66 %

Por acción del sol es difícil deshidratar más alla de la thermonatrita, ó sea más o menos a 59% Na_2 CO_3.

IV. 1 REABASTECIMIENTO DE LA LAGUNA

El punto importante es de saber cuantas sales se pueden sacar anualmente sin que la laguna se agote, o dicho de otra manera, cuanto tiempo demoraría para que la laguna se llene de nuevo, con la misma concentración, después de haberla vaciado completamente (foto 7).

Tenemos que suponer que las infiltraciones por el fondo de la laguna son mínimas, Hemos sacado una muestra de fondo, barrosa, compacta, lo que nos permite concluir en este sentido.

En este caso lo que se puede sacar anualmente e indefinidamente sin agotar el stock anual en Na_2CO_3 corresponde a las cantidades de sales que entran cada año en la laguna. Vamos a estimar esta cantidad de dos maneras distintas:

1) Hemos medido el caudal de todos los manantiales visibles (ver cuadro Nº 3). Esto nos dá un volúmen de agua dulce de 638.000 m3/año. Este valor es es muy por debajo de la realidad, porque:
   - No hemos podido medir todos los aportes. Hay algunos por debajo de la laguna, en los bordes. También las capas de aguas de los bordes alimentan la laguna de manera difusa a todo lo largo de las orillas.
   - En época de lluvias los caudales pueden aumentar bastante. La misión tuvo lugar en una época seca.

2) Si suponemos que no hay infiltraciones y que la evaporación anual es de 1,5 m, entonces como el nivel de la laguna ee estable, podemos decir que han entrado 900.000 m2 x 1,5 m de agua o sea 1.350.000 m3 (lo que corresponde easualmente al volumen de la laguna). Notamos que este valor es el doble de lo que hemos medido, lo que es bien lógico. Si hubiéramos medido un valor igual o superior a 1.350.000 m3, eso hubiera querido decir que hay en realidad muchas infiltraciones.

En definitva tomamos este último valor de 1.350.000 m3 de aguas dulces. Por los análisis vemos que tienen una concentración en STD promedios de 0,1 g/l, lo que es muy poco. Entonces entran cada año 135 toneladas de STD en la laguna, o sea 90 toneladas de Na_2CO_3 (= 67 % STD).

Entonces se puede sacar cada año solamente 135 toneladas de STD es decir 90 Tn de Na_2CO_3. Si se vacía de una vez completamente la laguna, demoraría:

57.000/135= 38.000/90 = 420 años para volver de nuevo al mismo estado.

Podemos considerar que a la escala humana el yacimiento no es renovable, y se debe solamente contar con el stock actual de 38.000 Tn de Na_2CO_3.

IV. 2 LAGUNA HEDIONDA SUR.

Se trata también de una laguna carbonatada sódica (foto Nº 8).Haremos los mismos cálculos que para la laguna Collpa. No vamos a entrar más en detalles:

Hemos sacado 4 muestras solamente en las orillas, 3 de ellas muy d distantes unas de las otras, muestran una composición muy similar. Así consideraremos que toda la laguna tiene esa misma composición (muestras H1, H2, H3, H4, ver ubicación en la figura Nº 3).

La concentración en STD (sales totalmente disueltas) es más baja (33,5 g/l) que en Collpa Laguna (43 g/l). La ley en Na_2CO_3 es también más baja. Tenemos más: Cl, $SO_4^=$, K^+.

La superficie total es de 2.820.000 m2 con una profundidad media de 0.75 m (A. Echenique, informe 1976), la que nos dá un volumen total de 2.115.000 m3, de aquí:

	STD	Na_2CO_3
Concentración g/l	33,5	18,9
Cantidad total Toneladas (redondeadas).	70.000	39,000

Las leyes de las sales obtenidas por evaporación son:

Sal depositada	Ley en Na_2CO_3 de la sal depositada.
Natron Na_2CO_3,10 H_2O	28, 7 %
Thermonatrita Na_2CO_3, H_2O	50,9 %
Na_2CO_3 anhidro	55,7 %

Se nota que las leyes son inferiores a las de Collpa Laguna. Además, hay que tomar en cuenta una importante concentración en materias orgánicas, difícilmente cuantificable.

No hemos visto manantiales en esta laguna. Así que estimaremos el volúmen de agua dulce que entra multiplicando la superficie de la laguna por la altura de evaporación o sea:

2.820.000 m2 x 1,5 m= 4.230.000 m3.

Esas aguas dulces que deben entrar de manera difusa por las orillas tienen probablemente la misma concentración total quellas aguas dulces de Collpa Laguna, que se encuentra muy cerca (2 Km). Entonces entran cada año: 4.230.000.000 litros x 0,1 g/l o sea más o menos 400 toneladas STD.

Cada año la cantidad en STD de la laguna aumenta de 400 Ton. y la cantidad de $Na_2 CO_3$ en 220 Ton (= 400 x 55,7 %).

Podemos sacar las mismas conclusiones que para Collpa laguna. Solamente se puede disponer del stock actual de 39.000 ton. de $Na_2 CO_3$. Necesitaría 200 años para reconstruirla si se vaciara completamente la laguna.

Lo que también limita su explotación sólo al stock actual.

V. METODOS DE EXPLOTACION

V. 1. POR CRISTALIZACION ENCIMA DEL HIELO

Las temperaturas muy bajas en el invierno (-20° hasta - 30°C) hacen bajar la solubilidad del natron que cristaliza encima de la costra de hielo que cubre la laguna. Esta sal tiene una ley más alta que la sal depositada por evaporación porque la salubilidad de muchas de las impurezas no es afectada por la disminución de temperatura. Este método produce pocas cantidades porque hay solamente una cosecha al año (ver informe del Ing. Antonio Echenique, 1976; él calcula 1440 ton/año recuperables). Por este método se puede explotar 30 Tn/Ha./año.

2. POR EVAPORACION EN PILETAS

Es el método que dá más rendimiento, pero con una ley inferior (ver los cuadros de leyes en las páginas anteriores).

El fondo de las piletas debe ser completamente impermeable, arcilla compacta o cemento. El tamaño de cada pileta no debe ser demadiado grande. Aconsejamos 1,5 - 2 m de largo; 0,75 - 1 m de ancho; 20 - 30 cm de alto para las paredes.

Una superficie superior no es aconsejable porque el viento muy fuerte podría producir un oleaje perjudicable. También hay que poner la parte más larga de la pileta perpendicularmente a la dirección principal del viento. Hay que evitar, además, los lugares muy polvorosos. Se puede considerar 2 posibilidades:

- Disponer las piletas inmediatamente cerca de las lagunas en este caso habrá que impermeabilizar los fondos de las piletas porque el terreno es muy permeable. (gravas).

- Llevar las salmueras por cisternas a lugares más lejos pero más propicios (en una laguna seca con el fondo arcilloso impermeable, por ejemplo). En este caso no hay que guardar almacenadas las salmueras mucho tiempo porque hay algas que crecen rápidamente.

V. 3. RENDIMIENTO DE LAS PILETAS

Tenemos que efectuar tres suposiciones:

- La evaporación anual es de 1,5 m. Si tomamos 300 días efectivos sin lluvias, eso nos dá 5 mm diarios de evaporación.

- No se puede utilizar las piletas todo el año. Las lluvias y el congelamiento impedirán este tipo de explotación. Podemos contar solamente con 5 meses/año.

- La laguna tiene siempre el mismo volumen de agua, entonces la concentración es constante (veremos más abajo lo que pasa si el volúmen varía).

Con esas hipótesis calculamos fácilmente el rendimiento anual por hectáreas de piletas para las dos lagunas:

LAGUNA	Concentración en STD (g/l)	concentración Na_2CO_3 (g/l)	tonelaje STD	tonelaje Na_2CO_3
Collpa	43	39	320	290
Hedionda	33,5	18,9	250	140

O sea que podemos tener un rendimiento mediante piletas de 430 tn/hectáreas/año de Na_2CO_3 para las 2 lagunas.

Para calcular esos valores hemos utilizado las concentraciones que habían durante nuestra visita a las lagunas. Pero esas concentraciones son suceptibles de cambiar considerablemente, en época de lluvias pueden bajar, después de un largo período seco pueden aumentar. Como el stock de sales queda constante eso significa que el nivel de las lagunas puede cambiar, lo que nos han asegurado los campesinos del lugar. Entonces si se saca en las piletas la salmuera cuando el nivel es más bajo (es decir cuando las concentraciones son más altas), el rendimiento será más elevado. Al límite si las lagunas se secan completamente bastaría recoger las sales en sus fondos mismos.

Entonces esos datos de rendimiento que damos, constituyen un orden de magnitud; pueden cambiar considerablemente. Es mejor sacar las salmueras cuando los niveles de agua de las lagunas están lo más bajos.

V. 4. OTRAS REFERENCIAS.- Laguna Cachi.

Otra de las lagunas que contiene carbonato de sodio, aunque en menor concentración que la de Collpa es la de Cachi laguna, que tiene una concentración de sales totales disueltas (STD)= 84 g/lt y 42,4 gr/lt de Na_2CO_3 , el carbonato de sodio anhidro tiene una ley de de 50,4%, de acuerdo a muestras y análisis obtenidos.

La superficie de la laguna es de 100 has. con una profundidad media de 0.5 mts. lo que nos dá:

TIPO DE SALES	VOLUMEN Laguna m3	CONCENTRACION g/lt	TONELAJE ACTUAL Tn
STD	500.000	84,0	42.000
Na_2CO_3	500.000	42,4	21.000

El aporte actual anual de las aguas, suponiendo 80 Has. efectivas, y una evaporación similar a la de Collpa laguna de 1,5 m/año, además las aguas superficiales llevan en STD de 300 mg/lt= 0,3 g/lt en base a esto tenemos:

STD que entra 80 x 10.000 x 1,5 x 1000 x 0,3 = 360 Tn/año

Na_2CO_3 que entra = 181 Tn/año

Tiempo de renovación si se vacia completamente la laguna.

21.200.181 = 117 años

En esta laguna se tiene un solo aporte superficial de consideración en la parte Sudoeste.

LAGUNA KHARA.

Esta laguna se encuentra al Este del camino entre laguna Colorada y Cachi laguna, a primera vista tiene un volumen mayor de aguas que las otras lagunas citadas y con ácido clorhídrico produce efervecencia, lo que informa que contiene carbonatos en solución, aunque la concentración de los mismos es considerablemente menor que en Collpa laguna y Cachi, de acuerdo a apreciaciones preliminares del Dr. Risacher; muestras obtenidas de la laguna aun se encuentran en etapa de análisis, una vez que se obtengan los resultados se contará con mayor información.

Sin embargo, es de hacer notar que siendo la concentración menor que las demás lagunas, la cantidad de carbonato que se pueda recuperar será considerablemente inferior a la de las demás lagunas; tal vez será interesante efectuar un cálculo del volumen de las aguas de la laguna y muestreos del fondo de la misma.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- De acuerdo a lo reconocido en el campo en las lagunas visitadas, las posiblidades de encontrar mayores reservas de carbonato de sodio son escasas, incluyendo a la laguna Khara, que si bien no se conoce el volumen total de la laguna la concentración baja en 5 a 10 veces menor que la de Collpa, que presentan sus aguas. Limita las reservas de sales totales disueltas.

2.- En las lagunas Collpa y Hedionda Sud, que están cerca la una de la otra, donde se tienen ciertos volúmenes explotables, se debe considerar además que, si se explota anualmente y regularmente las lagunas, sus volúmenes no van a cambiar, pero sus concentraciones en Na_2CO_3 van a bajar cada año, hasta que se llegue al punto que solamente quede agua dulce. Llegará un momento en que la concentración será demasiado baja para permitir una evaporación suficiente en las piletas, (el tiempo relativamente corto que puede ser aprovechado para este sistema de explotación, es decir entre dos épocas de lluvias, sin tomar en cuenta el congelamiento) Entonces lo mejor es vaciar rápidamente las lagunas, no demorando más de dos o tres años. Este factor de "Todo o nada"limita también las posiblidades de explotación.

3.- Las explotaciones actuales que se vienen realizando en la laguna Collpa, (cuando se congela la superficie) y en la laguna Cachi son temporales, sin embargo aún en el caso de que QUIMBABOL, no efectúe la explotación en forma directa; por el carácter de Empresa creada para el adecuado aprovechamiento de los recursos de esta parte del país, deberá controlar la forma de explotación de las cooperativas a fin de evitar que una explotación indiscriminada agote el carbonato de sodio, ya que si bien los tonelajes no son muy elevados, constituyen reservas naturales de esta materia prima que bien pueden ser aprovechados en condiciones contingentes.

4.- Se sugiere incrementar los trabajos de investigación de otras sales, como ser: boratos, sulfatos de sodio, y otros elementos minoritarios de interés económico, con fines de aprovechamiento industrial. Como asimismo, estudiar la parte Oeste del salar de Coipasa en busca de trona o carbonato de sodio (no se conocen investigaciones de esta zona).

5.- Si QUIMBABOL considera que las reservas de carbonato de sodio natural, actualmente no justifican una industrialización, se sugiere la investigación y estudio de los diferentes factores para ver la posibilidad de producir carbonato de sodio por otros métodos a partir de minerales abundantes en la región (Solvay).

6.- Se recomienda la participación de QUIMBABOL en los trabajos de reconocimiento e investigación que otras entidades tienen planeado realizar en la región, aunando esfuerzos para obtener mejores resultados en beneficio del país.

Por último agradecemos la cooperación prestada para alcanzar los objetivos propuestos, a las diferentes instituciones y personas.

La Paz, Febrero 1978

Dr. Francois Risacher
ORSTOM

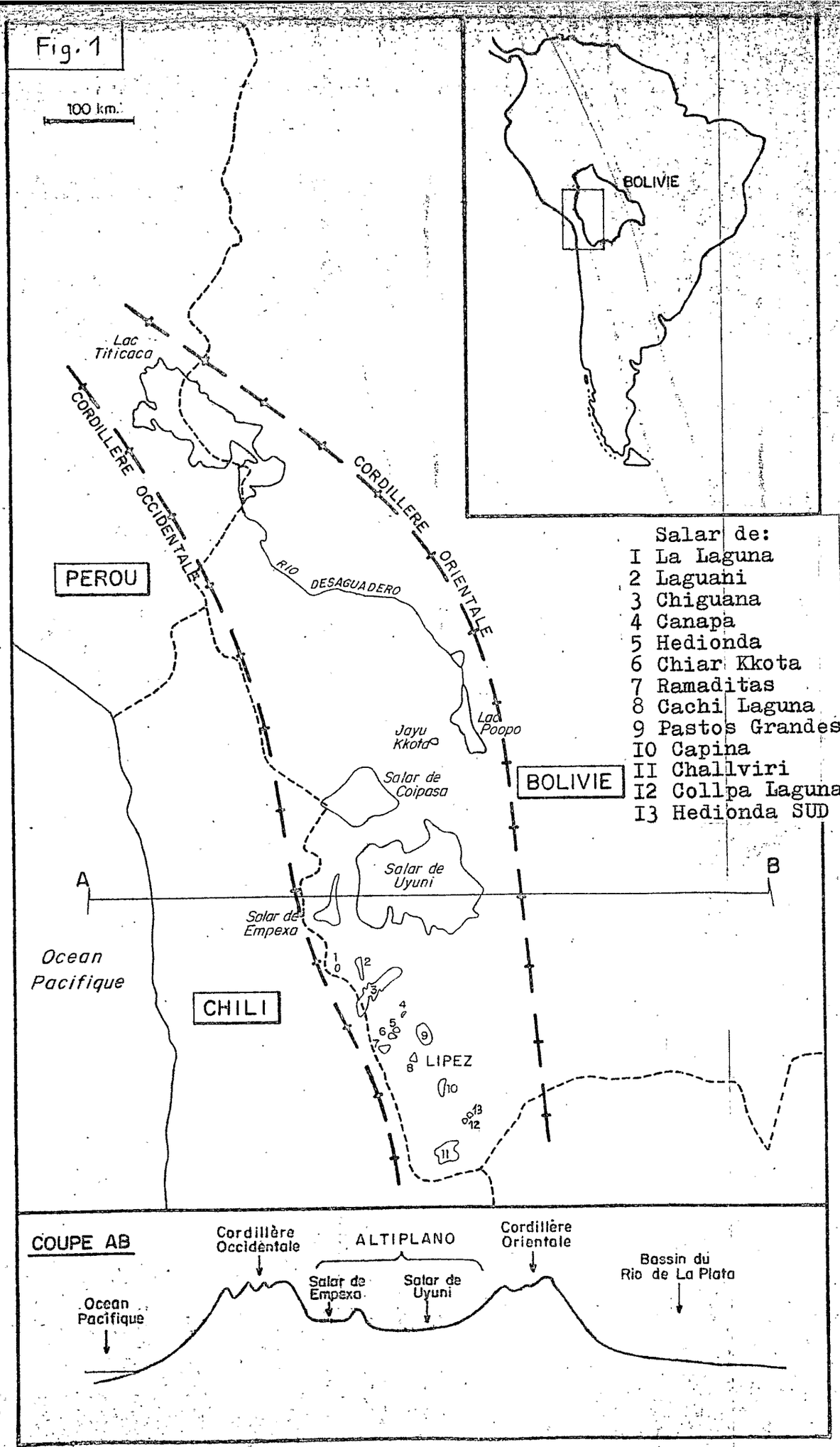
Ing. Oscar Ballivián
ORSTOM

Ing. Antonio Echenique M.

BIBLIOGRAFIA

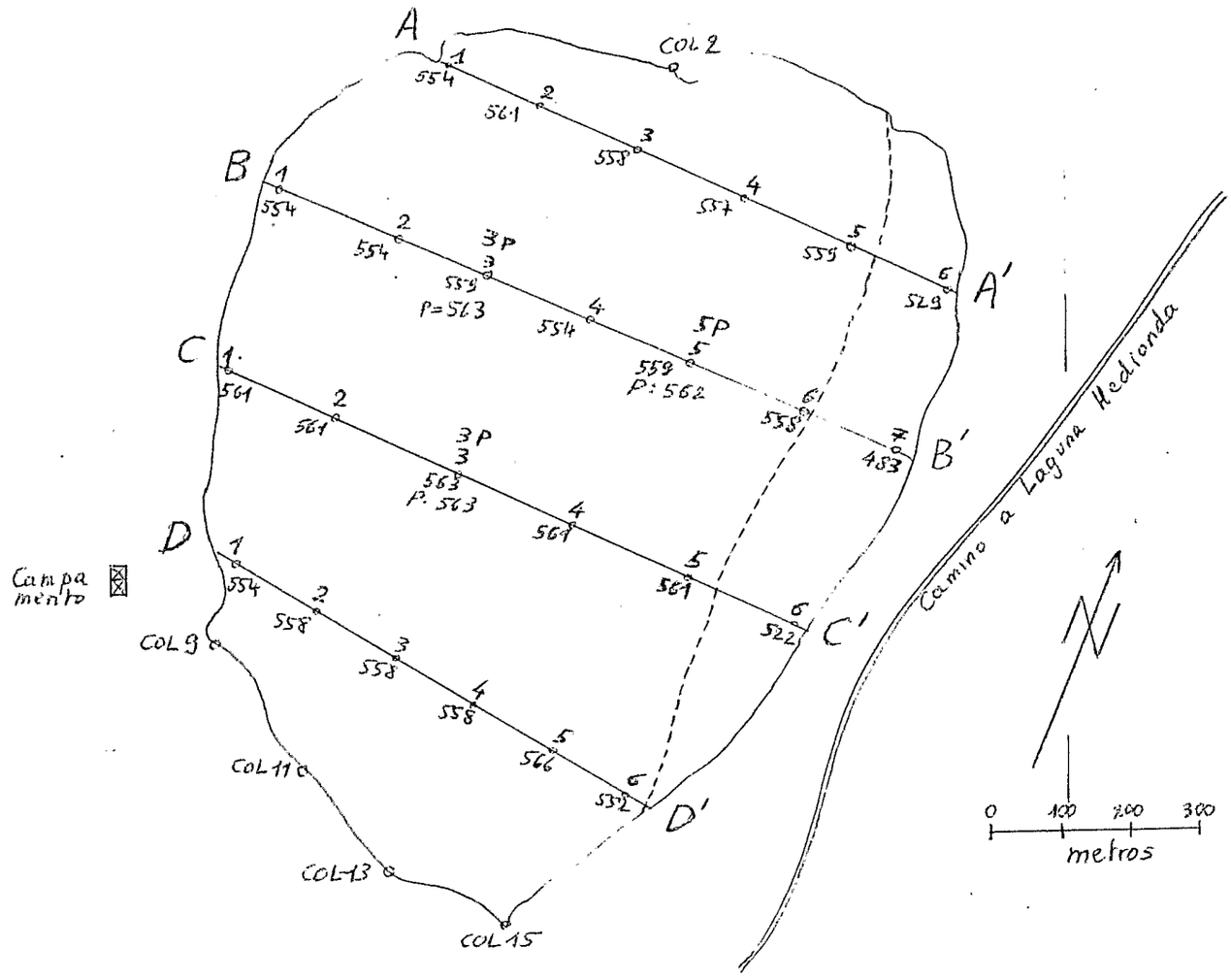
CARDONA Reynaldo	Estudio Geologico de la Region de Quetena, 1974.
ECHENIQUE Antonio	Informe mineralogico de las lagunas de Los Lipes, 1976.
HARDIE L.A. and EUGSTER H.P.	The Evolution of closed basin brines. Mineralog. Soc. America Spec. Publ. 3, 272-290, 1970.
KUSSMAUL S., JORDAN L. y PLOSKONKA	Isotopic Ages of Terciary Volcanic Rocks of SW Bolivia, Hannover, 1975.
RISACHER François	Le cadre géochimique des bassins à évaporites des Andes Boliviennes. Cahier Special ORSTOM, 1978 (en impresion)
SORUCO Carlos	Visita a los depositos de sosa y trona de Kollpa Laguna, 1974.
TURNER J.C.	Geologia Regional Argentina-Puna. 1968.

Fig. 1


100 km.
BOLIVIE
Lac Titicaca
CORDILLERE OCCIDENTALE
CORDILLERE ORIENTALE
PEROU
RIO DESAGUADERO
Lac Poopo
Jayu Kkota
Salar de Coipasa
BOLIVIE
Salar de Uyuni
A
B
Salar de Empexa
Ocean Pacifique
CHILI
LIPEZ
Salar de:
I La Laguna
2 Laguani
3 Chiguana
4 Canapa
5 Hedionda
6 Chiar Kkota
7 Ramaditas
8 Cachi Laguna
9 Pastos Grandes
I0 Capina
II Challviri
I2 Collpa Laguna
I3 Hedionda SUD

COUPE AB
Cordillère Occidentale
ALTIPLANO
Cordillère Orientale
Salar de Empexa
Salar de Uyuni
Bassin du Rio de La Plata
Ocean Pacifique

Fig. 2: COLLPA LAGUNA



UBICACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Las letras grandes AA', BB', etc..., representan los perfiles de muestreo.

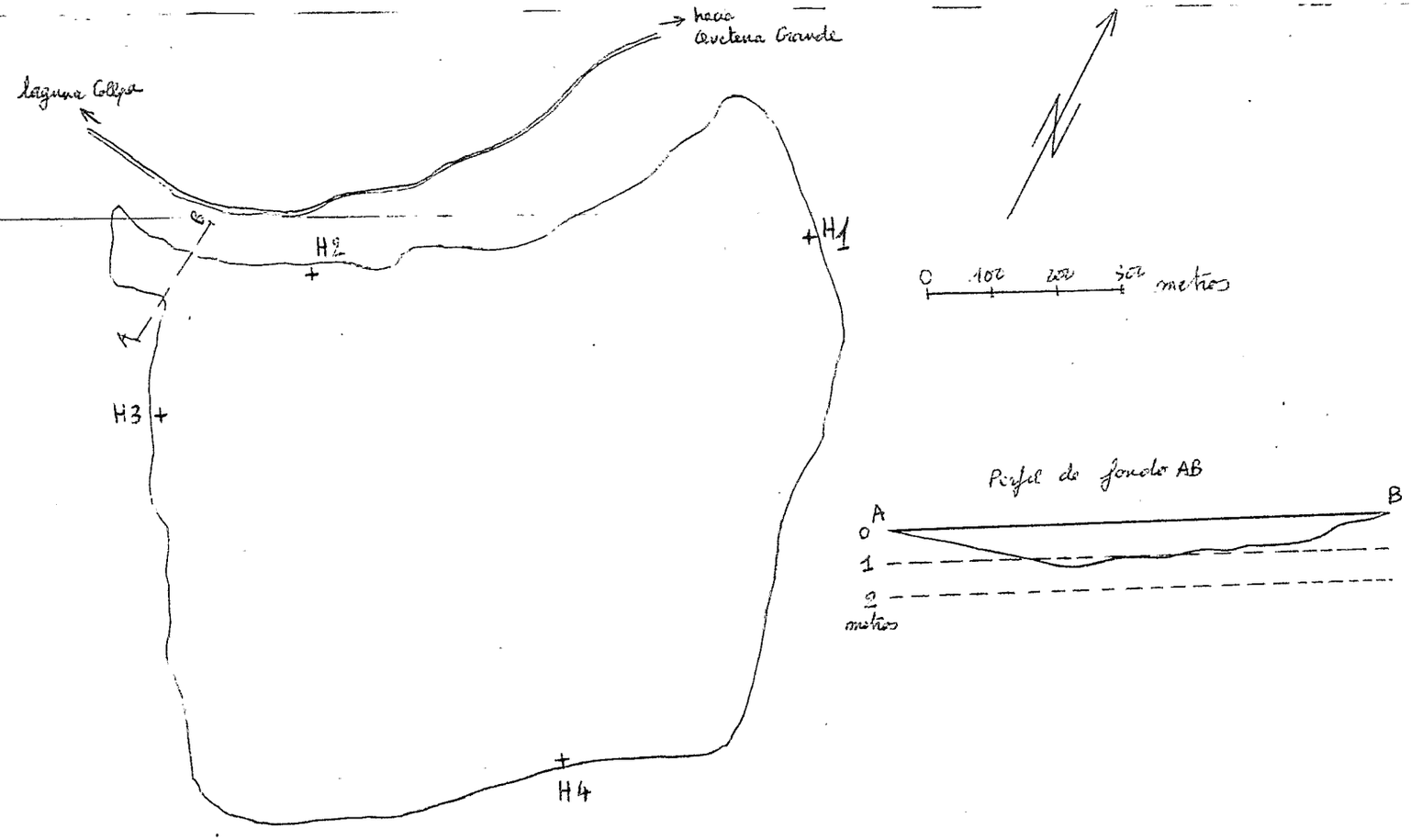
Los numeros encima de los perfiles: I,2,3,etc...,indican los puntos de muestreo.

Los numeros por debajo de los perfiles indican la alcalinidad total en meq(H^+)/litros.

La linea punteada separa la zona menos concentrada del resto uniforme de la laguna.

Fig. 3 LAGUNA HEDIONDA SUD

Alt: 4520 m.



CUADRO Nº 1

MEDIDAS DE ALCALINIDAD $CO_3^{=}$, HCO_3^{-} DE COLAPA LAGUNA, HECHAS EN EL CAMPO . -

Nº	P H	ALCALINIDAD meq(H^+)/l	$CO_3^{=}$ meq/l	HCO_3^{-} meq/l
A 1	10,80	556	16.400	680
A 2	10,82	561	16.500	638
A 3	10,82	558	16.400	652
A 4	10,81	557	16.400	651
A 5	10,81	559	16.400	660
A 6	10,80	529	15.600	618
B 1	10,80	554	16.300	647
B 2	10,82	554	16.300	650
B3	10,82	559	16.400	653
B 3P	10,80	558	16.400	652
B 4	10,80	554	16.300	667
B 5	10,81	559	16.400	643
B 5P	10,79	562	16.500	645
B 6	10,79	558	16.400	652
B 7	10,83	483	14.200	615
C 1	10,81	561	16.500	702
C 2	10,82	561	16.500	656
C3	10,84	563	16.600	616
C 3P	10,87	563	16.600	610
C 4	10,85	561	16.500	626
C 5	10,82	561	16.500	636
C 6	10,84	522	15.300	610
D 1	10,85	554	16.300	647
D 2	10,85	558	16.400	652
D 3	10,80	558	16.400	658
D 4	10,84	558	16.400	656
D 5	10,80	560	16.500	674
D 6	10,82	552	16.200	631

Cuadro 2	Densidad	pH	Alcalinidad total: meq/l	$CO_3^=$	HCO_3^-	Cl^-	$SO_4^=$	SiO_2	B	P	Na	K	Li	Ca	Mg
C1	1,037	10,81		16500	702	6660	473	150	98	4,6	17100	1260	0,6	7,0	3,2
			561,5	275,0	11,5	187,6	4,93	2,50	9,07	0,149	744	32,2	0,086	0,175	0,132
C3	1,037	10,84		16600	616	6670	466	153	96	4,9	17100	1270	0,5	6,8	3,1
			563,5	276,7	10,1	187,9	4,85	2,55	8,88	0,158	744	32,5	0,072	0,170	0,128
C3P	1,037	10,87		16600	610	6640	456	152	94	4,7	17100	1270	0,6	6,4	3,2
			563,4	276,7	10,0	187,0	4,75	2,53	8,70	0,152	744	32,5	0,086	0,160	0,132
B7	1,032	10,83		14200	615	5470	438	132	75	2,2	15000	1050	0,5	7,8	3,1
			483,5	236,7	10,1	154,1	4,56	2,20	6,94	0,071	652	26,9	0,072	0,195	0,128
H1	1,017	10,71		5990	348	3830	772	92	59	1,1	7200	930	0,3	10,2	3,0
			205,3	99,8	5,7	107,9	8,04	1,53	5,46	0,036	313	23,8	0,043	0,254	0,123
H2	1,028	10,60		10700	330	6710	1660	190	113	7,4	12600	1680	0,5	16,4	6,4
			362,0	178,3	5,4	189	17,3	3,16	10,5	0,239	548	43,0	0,072	0,409	0,263
H3	1,028	10,46		10700	336	6710	1350	110	114	2,1	12500	1650	0,5	9,0	2,8
			362,1	178,3	5,5	189	14,1	1,83	10,5	0,068	544	42,2	0,072	0,224	0,115
H4	1,028	10,57		10700	342	6660	1350	135	115	2,1	12600	1670	0,5	17,6	6,0
			362,2	178,3	5,6	187,6	14,1	2,25	10,6	0,068	548	42,7	0,072	0,439	0,247
Col 12	1	7,67		0	32,3	6,51	2,03	34,5	0,4	0,05	6,7	3,0	0	4,56	2,1
			0,530		0,530	0,183	0,021	0,574	0,037	0,0016	0,291	0,077		0,114	0,086
Col 19	1	7,53		0	47,3	8,43	11,2	29,6	0,5	0,2	17,5	2,8	0	4,11	1,8
			0,775		0,775	0,237	0,117	0,493	0,046	0,0065	0,761	0,072		0,102	0,074

CUADRO Nº 3

Manantial	Temperatura (ºC)	pH (de campo)	Conductividad (mhos)	Caudal (l/s)	Volumen Anual m^3
Col 2 (5)	2,0º	7,06	70	10,0	315.360
Col 9 (1)	4,5º	7,90	135	3,94	124.250
Col 11 (2)	5,2º	7,60	310	1,13	35.000
Col 13 (3)	5,1º	7,98	460	0,36	11,350
Col 15 (4)	4,6º	7,43	250	4,8	151.370
			T O T A L :		636.000

CUADRO DE APORTES DE LA LAGUNA COLLPA