

ORSTOM en BOLIVIE

MISSION DE LA PAZ

17 - 08 - 89

INFORME N° 17

ESTUDIO ECONOMICO

DEL SALAR DE UYUNI

F. RISACHER

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

ORSTOM

ESTUDIO ECONOMICO
DEL SALAR DE UYUNI

por

François RISACHER

Convenio UMSA - ORSTOM - CIRESU

C O N T E N I D O

INTRODUCCION	3
ESTUDIOS ANTERIORES	5
ORIGEN DEL SALAR DE UYUNI	5
CLIMA	7
GEOLOGIA DE LA CUENCA DE DRENAJE	7
TECNICA DE SONDEOS	10
El fluido de inyección	10
Los testigos	10
Muestreo de las salmueras	11
LA COSTRA SUPERFICIAL DEL SALAR DE UYUNI	12
I. NOMENCLATURA	12
II. LA COSTRA SUPERFICIAL	12
1) Geometría	12
2) Litología y estructura	12
3) La salmuera intersticial	28
4) Volúmenes y reservas de sales y salmueras	28
III. LOS SEDIMENTOS	28
1) Litología	28
- los sedimentos lacustres	28
- los sedimentos fluvio-deltaicos ...	31
2) El delta del Río Grande	31
3) El yacimiento de ulexita	31
LAS SALMUERAS DE LA COSTRA SUPERFICIAL	33
I. QUIMISMO GENERAL	33
II. ZONACION LATERAL	33

III. ZONACION VERTICAL	33
IV. RESERVAS EN SALMUERAS	52
1) Reservas en todo el salar	52
2) Reservas en el Sur del salar	52
V. ORIGEN DE LAS ALTAS CONCENTRACIONES - RENOVABILIDAD	52
EL SONDEO PROFUNDO - EL POZO UA	59
CONCLUSIONES	61
CUADRO ANEXO DE ANALISIS DE SALMUERAS	62
REFERENCIAS	66

INTRODUCCION

El salar de Uyuni, con 10 000 km² de superficie, es probablemente la costra de sal más grande del mundo. Está ubicado a 3653 m. de altura en la depresión central del Altiplano Boliviano (fig. 1).

En 1976 el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) detectó la presencia de litio en las salmueras que impregnan la sal. El mismo año el Convenio UMSA-ORSTOM puso en evidencia una fuerte correlación entre litio, potasio y boro en las salmueras de los salares del Altiplano. Conociéndose las borateras se pudo descubrir rápidamente todos los yacimientos explotables en litio, potasio y boro. El más grande se encontró en la desembocadura del río Grande, al sud-este del salar de Uyuni.

En el año 1978 una misión conjunta UMSA-GEOBOL-ORSTOM-USGS perforó dos pozos en el salar de Uyuni con una perforadora rotativa liviana. En estos dos lugares la costra de sal tenía 6-8 metros de espesor y estaba totalmente impregnada de salmuera. Por debajo se encontraron sedimentos lacustres.

Entre 1978 y 1985 no hubo avance notable en el estudio del salar. En 1985 la ORSTOM adquirió una perforadora rotativa saca-testigo. Se perforaron 38 pozos en el salar de Uyuni. El más profundo llegó hasta 121 metros en la zona central del salar y atravesó 12 costras de sales separadas por sedimentos lacustres. Se determinó que las salmueras de la costra superficial eran las que poseían las más fuertes concentraciones en litio, potasio y boro. Se decidió entonces explorar más detalladamente esta costra superficial, además se perforaron otros 37 pozos menos profundos.

Al final de este trabajo disponíamos de 40 pozos en la costra superficial y un pozo profundo en la zona central del salar. A esto hay que agregar 26 pozos manuales (con pala, picota y taladro) en los sedimentos deltaicos de la desembocadura del río Grande. Se analizaron 194 salmueras de todos los niveles del salar. Todos estos datos permiten ahora de dar una descripción más precisa del salar de Uyuni.

Nota . Los elementos que vamos a estudiar se encuentran disueltos en las salmueras o cristalizados en las sales. El litio, potasio y magnesio se presentan casi exclusivamente como iones en las salmueras. Los demás elementos se encuentran a la vez en las salmueras y en las sales. Los principales minerales que existen en el salar de Uyuni están indicados en el cuadro 7.

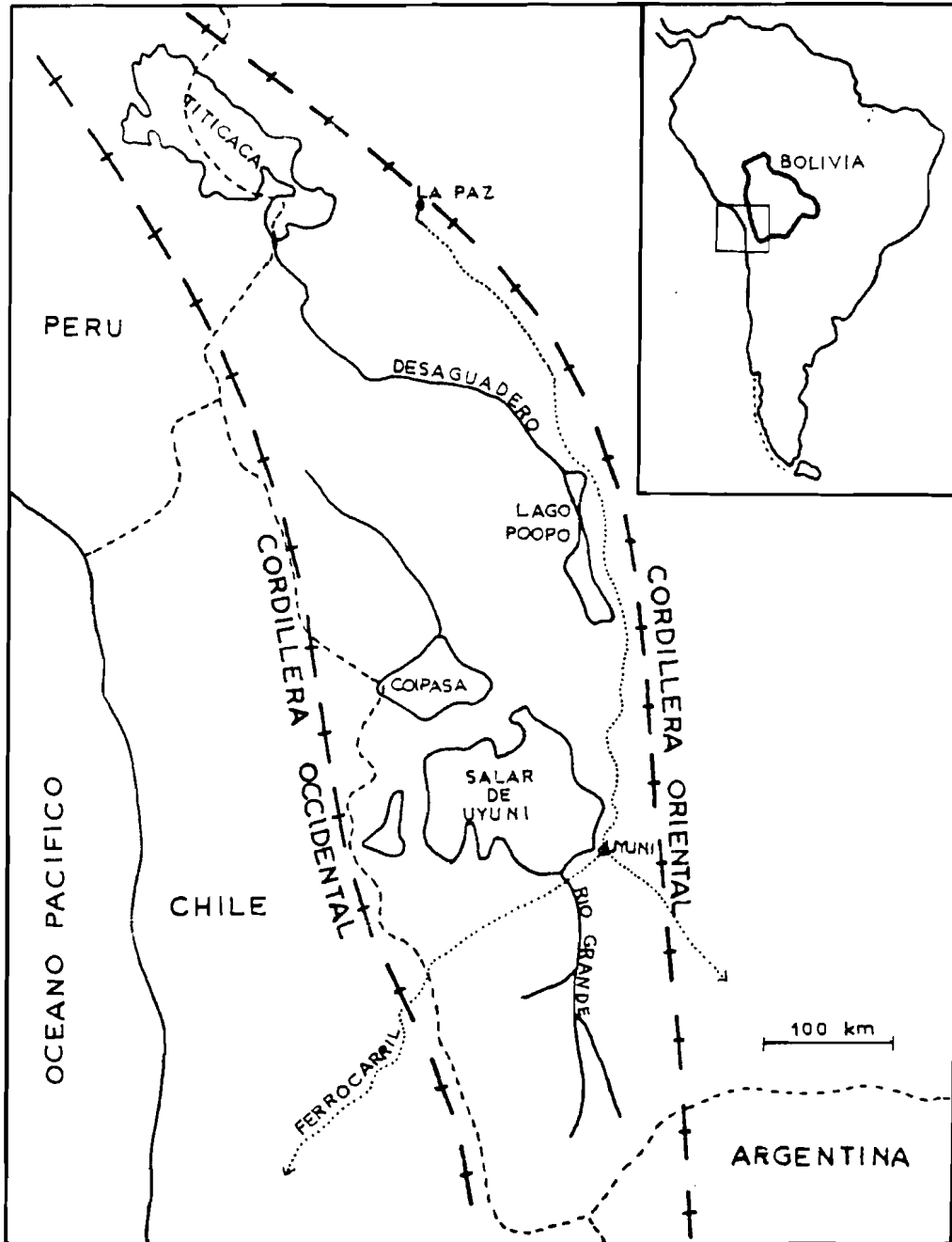


Fig. 1 UBICACION DEL SALAR DE UYUNI

ESTUDIOS ANTERIORES

ERICKSEN and VINE, 1976
 ERICKSEN, VINE and BALLON, 1978
 RISACHER y MIRANDA, 1976
 RISACHER, MIRANDA y CARLO, 1976
 RETTIG, JONES and RISACHER, 1980
 BALLIVIAN y RISACHER, 1981
 RISACHER, 1984
 RISACHER y ARMENDIA, 1986
 RISACHER, 1987
 CRESPO et al., 1987
 RISACHER, 1988

ORIGEN DEL SALAR DE UYUNI

Este capítulo lógicamente debería encontrarse al final del estudio en las interpretaciones y conclusiones, después de las descripciones. Sin embargo, tratándose de un informe económico, da más claridad y facilidad de comprensión presentar ahora las hipótesis más seguras sobre la formación del salar.

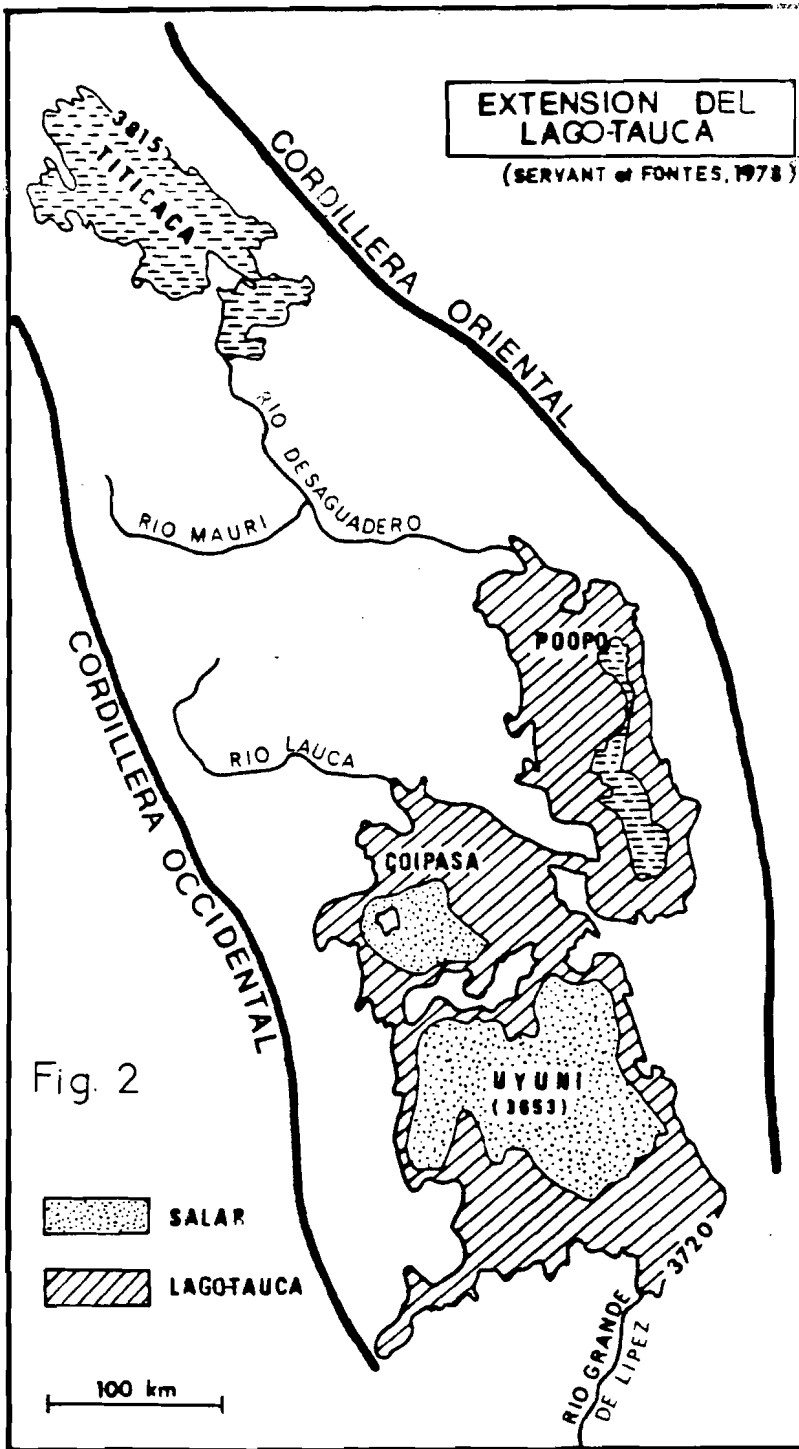
El Altiplano se encuentra en una zona de fuerte inestabilidad climática. Fases húmedas y secas se han seguido durante todo el Cuaternario. En cada época húmeda el Altiplano se inundaba. Así se establecieron sucesivos lagos salados. Cada lago probablemente disolvía una parte de la costra de sal depositada por el lago anterior. Antiguos niveles de algunos de estos lagos están marcados por costras bien desarrolladas de algas calcáreas: las algas "Minchín". Se puede observar hasta 4 niveles bien desarrollados entre 3680 y 3760 metros (AHLFELD, 1972).

Según SERVANT et FONTES (1978) los dos últimos lagos fueron:

- el lago Minchín (35 000 - 25 000 años BP)
- el lago Tauca (13 000 - 10 000 años BP)

La figura 2 muestra la extensión del último lago Tauca. Al secarse hace 10 000 años, este lago salado depositó la costra de sal del salar de Uyuni. El delta del Río Grande se formó después de esta sequía durante los 10 000 últimos años.

Nota: Hay una confusión con el término "Minchín". Las algas calcáreas han sido llamadas así en honor al ingeniero Juan Minchín (AHLFELD, 1972). Se dio también este nombre al lago que depositó estas algas. Igualmente, SERVANT et FONTES (1978)



denominaron "Minchin" al lago que identificaron entre 35 000 y 25 000 B.P. Sin embargo no hay ninguna evidencia de que este lago fue el que depositó las algas. Hasta ahora no disponemos de dataciones fiables de estas algas.

CLIMA

Los datos climáticos para el salar de Uyuni son escasos. Una gran parte de ellos provienen de los anuarios del Departamento de Meteorología del Ministerio de Transportes, Comunicaciones y Aeronáutica Civil. Se puede encontrar una síntesis crítica de los datos climáticos en la tesis de grado de J. J. MARIACA (1985). Hay dos estaciones climáticas :

- una época fría y seca de abril a noviembre (invierno),
- una época menos fría y húmeda de diciembre a marzo (verano, época de lluvia).

En época de lluvia el salar se inunda, lo que imposibilita todo trabajo. El cuadro 1 da un resumen de los datos climáticos en la zona de Uyuni.

El dato más importante para una explotación industrial, y también el más impreciso, es la altura de evaporación potencial. El valor que indicamos, entre 1000 y 1500 mm/año, proviene de :

- medidas directas en piletas (hechas por el autor),
- extrapolación de datos de Bolivia (VACHER et al., 1988), de Chile (RAMIREZ, 1985, e informe interno CORFO) y Argentina (medidas en piletas en el salar del Hombre Muerto por BOROQUIMICA, S.A., Oscar Ballivián, comunicación personal),
- uso de fórmulas teóricas (MARIACA, 1985).

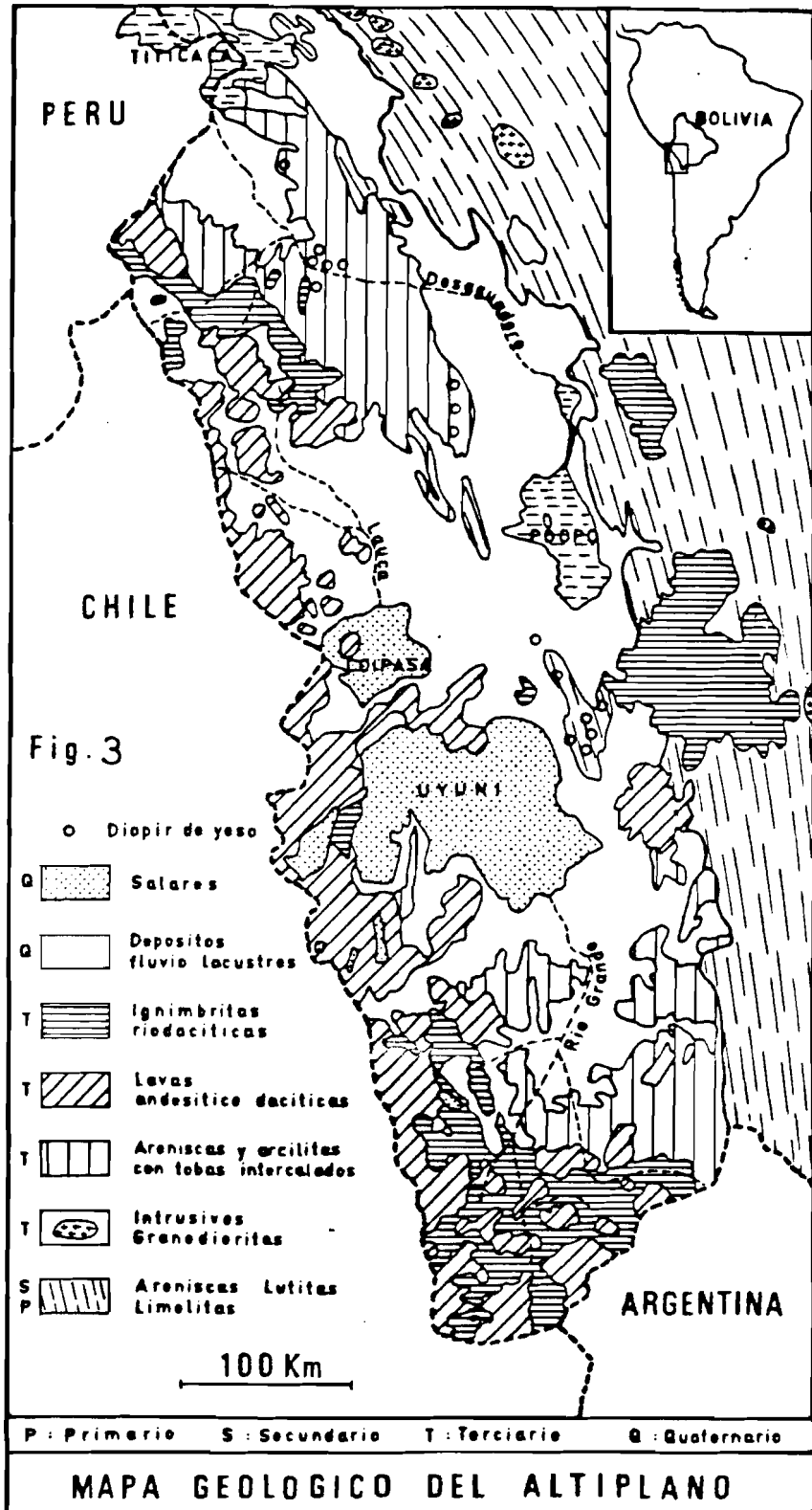
GEOLOGIA DE LA CUENCA DE DRENAJE

Puesto que la costra de sal proviene de la sequía de un extenso lago salado, la cuenca de drenaje abarca casi todo el Altiplano, incluyendo hasta la cuenca del lago Titicaca. El mapa geológico es presentado en la figura 3. Subrayaremos brevemente unos rasgos esenciales. Se puede distinguir dos partes principales en la cuenca :

- las formaciones volcánicas del Sur (Lipez) y de la Cordillera Occidental. Son rocas volcánicas ácidas (dacitas - riolitas, FERNANDEZ et al., 1973).

		INVIERNO	VERANO
		Epoca seca y fría Abril - Noviembre	Epoca tibia y húmeda Diciembre - Marzo
Temperatura	mínima	- 20	- 5
	máxima	+ 10	+25
Vientos dominantes		OESTE	ESTE - NORTE
Lluvias		Nevadas excepcionales	200 mm/año
Evaporacion potencial		1000 a 1500 mm/año	

Cuadro 1. Parámetros climáticos del Salar de Uyuni.



- las formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias del Este y del Norte del Altiplano. Hay que notar la presencia de numerosos diapiros de yeso en las formaciones cretácicas y terciarias.

TECNICA DE SONDEOS

Se utilizó una perforadora rotativa saca-testigo CRAELIUS PIXIE 51 y una motobomba de inyección CLINTON. Dos diámetros de perforación fueron empleados : 36 y 46 mm. Los tubos de perforación eran en aluminio y los tubos de revestimiento en acero. Los tubos de aluminio son más livianos que los de acero y se oxidan más lentamente, pero de un precio más elevado. Las técnicas de perforación en el salar de Uyuni presentan algunas peculiaridades.

1) EL FLUIDO DE INYECCION. Utilizamos la misma salmuera del salar. Se perfora un pequeño pozo anexo de 1 a 2 metros de profundidad que provee a la salmuera de inyección para perforar el pozo principal. En una campaña de perforación, el pozo anexo del primer pozo se perfora con unos 30 litros de agua dulce. Para perforar los siguientes pozos anexos se puede llevar salmuera del pozo anteriormente perforado. El pozo principal debe estar a 5 metros por lo menos del pozo anexo. Así se evitan todos los problemas de abastecimiento de agua.

2) LOS TESTIGOS. La consistencia de las sales y sedimentos del salar de Uyuni son extremadamente variables, lo que complica bastante la recuperación de testigos. Hay dos reglas principales :

- mientras más grande es el diámetro de la perforación, mejor es la recuperación,

- mientras más compacto y duro es el material perforado, mejor es la recuperación.

Hay dos tipos principales de terrenos en el salar de Uyuni : costras de sales y sedimentos lacustres. Para cada uno de ellos se usaron técnicas distintas.

- Las costras de sales. Pueden ser compactas o formadas de cristales sueltos. La halita puede contener una proporción variable de yeso, el cual tiene una consistencia siltosa. Aconsejamos en todos los casos diámetros de perforación superiores a 45 mm. Es muy difícil recuperar cristales sueltos y halita con alto contenido de yeso.

- Los sedimentos lacustres. Son muy plásticos. Hemos usado saca-testigos sin fluido de inyección ni tubo interior.

Hay problemas cuando los sedimentos son demasiado fluidos (no se quedan en el tubo) y cuando hay niveles más duros (costras de calcita).

3) MUESTREO DE LAS SALMUERAS. Se utilizó la misma bomba de inyección. Cada salmuera fue muestreada después de 30 a 60 minutos de bombeo para limpiar el pozo de la salmuera de inyección. El caudal de bombeo es de 5 a 10 litros por minuto.

Un problema es la posibilidad de una mezcla de salmueras de varios niveles al momento del bombeo. Pensamos que este tipo de contaminación ha sido reducido. Dos casos se han presentado :

- Costras de sales separadas por niveles lacustres. Para evitar la salmuera procedente de otras costras basta entubar el pozo hasta la costra muestreada. Los sedimentos lacustres son plásticos y muy impermeables. No dejan pasar salmueras de las otras costras.

- Muestreo en varios niveles de una misma costra de sal. La sal es muy permeable. Entubar adentro de la costra solamente previene la venida de salmueras por el mismo hueco. Pero no evitan posibles mezclas adentro de la misma costra. Empero tenemos varios indicios que tales mezclas no fueron importantes.

+ Las costras son bandeadas; lo que sugiere una permeabilidad lateral superior a la permeabilidad vertical.

+ En los contactos sales-sedimentos las salmueras de las costras y las de los sedimentos deben tener, debido a su proximidad, composiciones similares. Las salmueras intersticiales de los sedimentos lacustres fueron extraídas a partir de los testigos con una prensa de sedimentos. Estos sedimentos nunca estuvieron en contacto con la salmuera de inyección durante la perforación. Es decir que no sufrieron ninguna contaminación. Efectivamente, los análisis han indicado que las salmueras bombeadas tenían la misma composición que las salmueras extraídas de los sedimentos vecinos. Eso indica que no hubo mayor alteración de las salmueras bombeadas en estos niveles.

+ Todo el estudio, en su conjunto, muestra una coherencia lateral y vertical de los análisis de todas las salmueras.

LA COSTRA SUPERFICIAL DEL SALAR DE UYUNI

I. NOMENCLATURA

Cada pozo es identificado por dos letras o una letra y un número. Si la primera letra es U o Y se trata de un pozo hecho con perforadora rotativa. Todos ellos se encuentran en el salar mismo. Los pozos U1 et U2 fueron los primeros perforados en 1978. Si la primera letra es R, se trata entonces de un pozo manual. Se encuentran en el delta del Río Grande o al extremo Sud-Este de la costra de sal. Las salmueras son identificadas por el código del pozo seguido por la profundidad de la muestra, en centímetros a partir de la superficie.

Las figuras 4 y 5 muestran la ubicación de los pozos. No se ha seguido una malla regular. Hay una densidad de pozos superior cerca de la desembocadura del Río Grande, puesto que este sector es el más interesante económicamente. La estratigrafía de cada pozo es presentada en las figuras 6 a 16 y 39 (pozo profundo). Se trata de una representación esquemática e interpretada, puesto que los sedimentos han sido diferenciados según su origen : lacustres o deltaicos. Las muestras de salmueras están indicadas en un número encuadrado. Los análisis se encuentran en el cuadro en anexo.

II. LA COSTRA SUPERFICIAL

1) Geometría

La figura 17 muestra las curvas de iso-espesores de la costra superficial. Se nota la fuerte disimetría de la costra. La zona más espesa, que alcanza 10 metros, se encuentra muy cerca de la orilla Este. Los bordes Este y Sud-Este de la costra tienen una forma muy irregular. La sal y los sedimentos fluvio-deltaicos se interpenetran (ver figuras 19 y 38). Eso se debe a los ríos que a la vez disuelven la costra de sal y depositan sus sedimentos. Por debajo de la costra se encuentran sedimentos lacustres.

2) Litología y estructura

Es una costra bandeada de halita (90 - 99 %) y de yeso (1 - 10 %) impregnada con una salmuera intersticial. El cuadro 2 presenta la composición mineralógica de la costra superficial en el pozo UA. Los bandeamientos son centimétricos a decimétricos y se diferencian sobre todo por su rigidez.

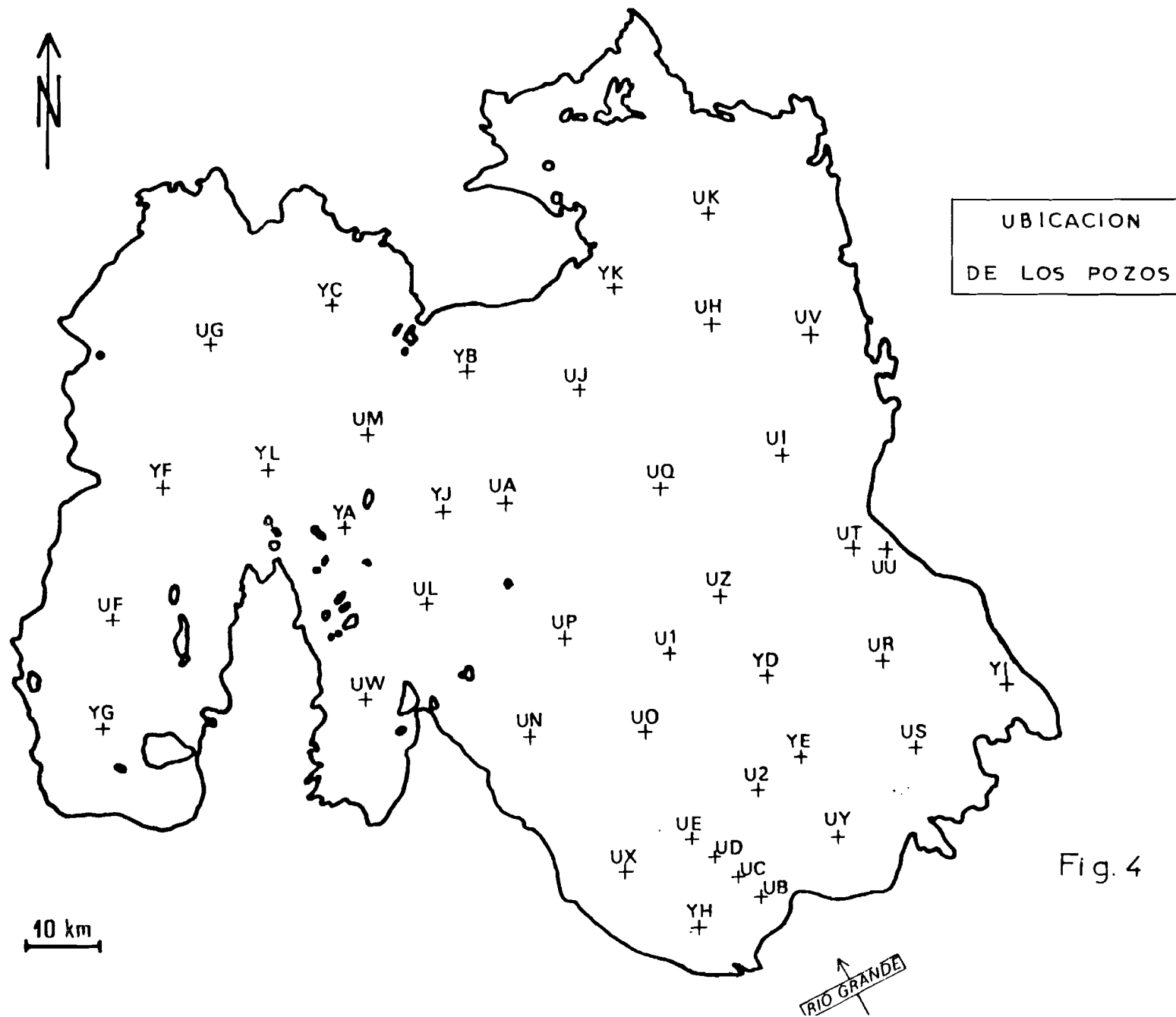


Fig. 4

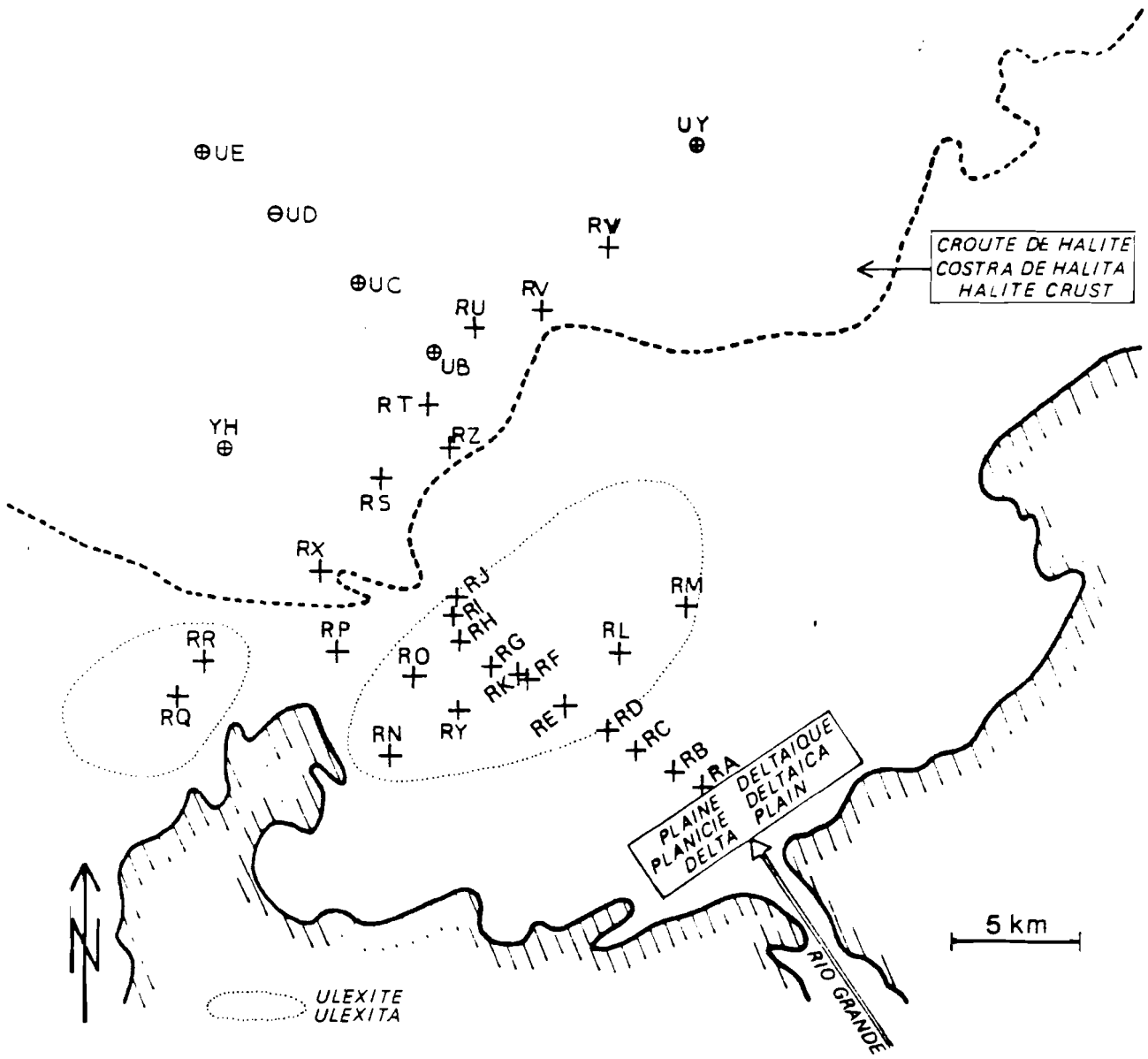


Fig. 5 UBICACION DE LOS POZOS

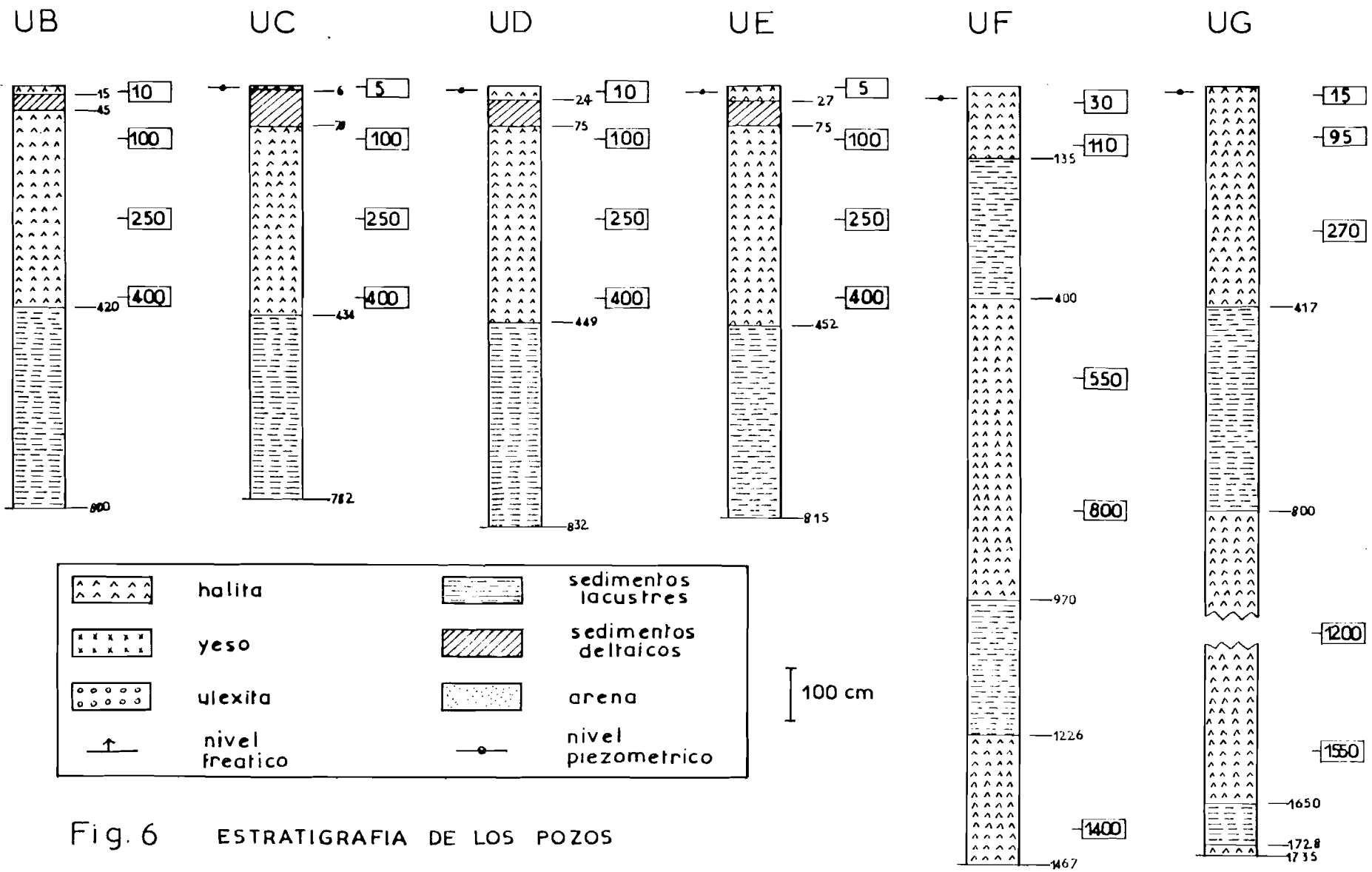


Fig. 6 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

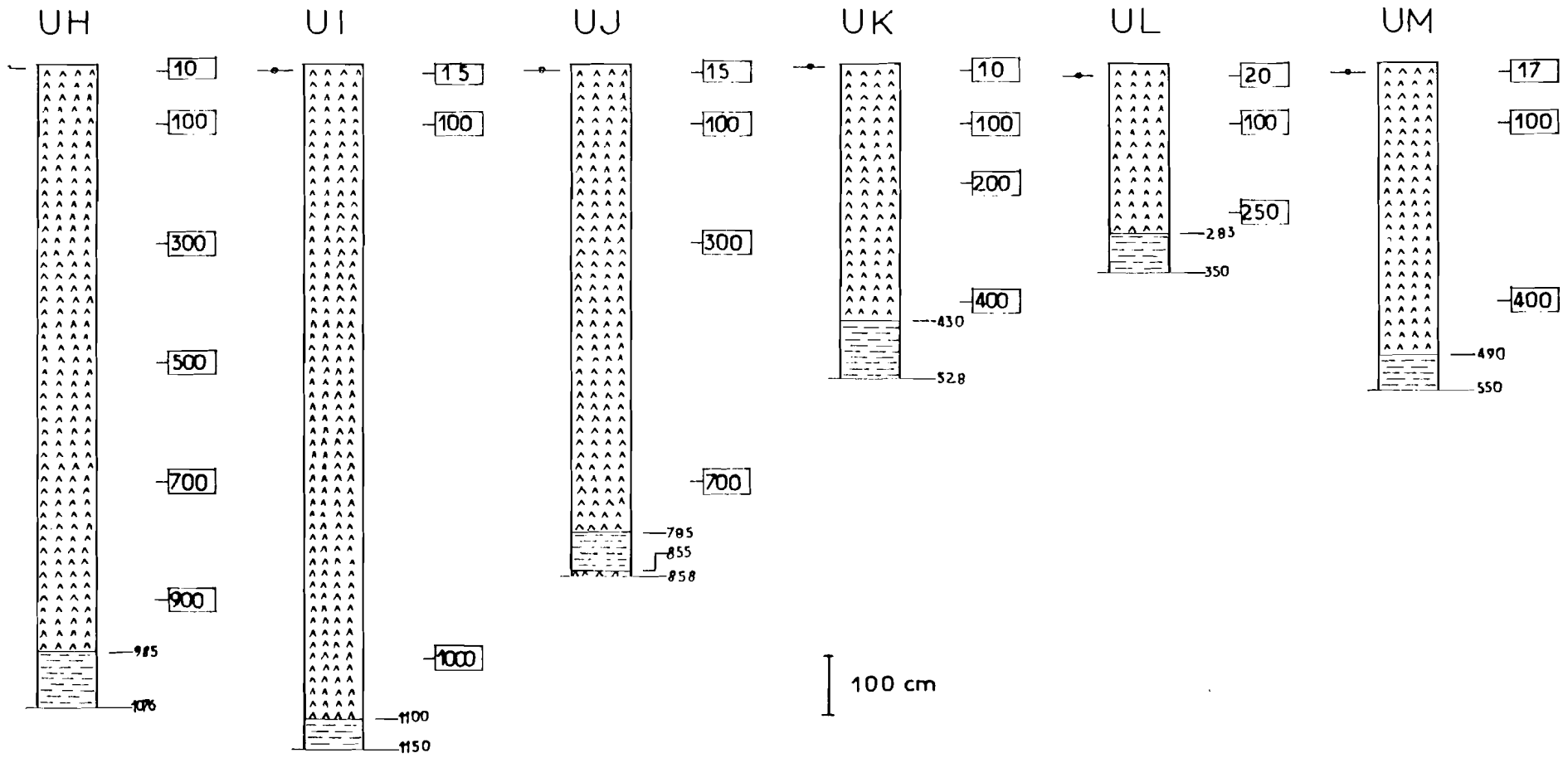


Fig. 7 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

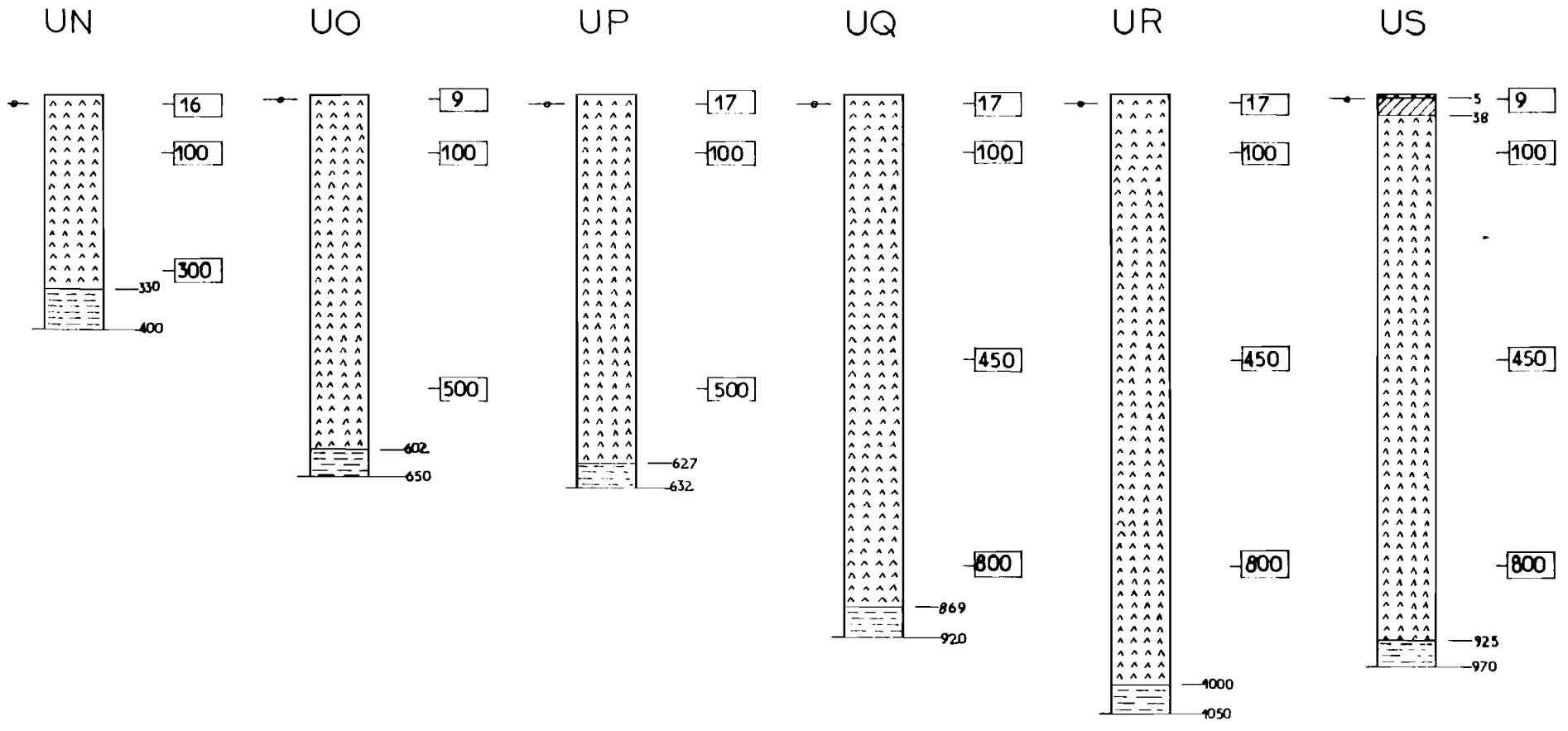


Fig. 8 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

100 cm

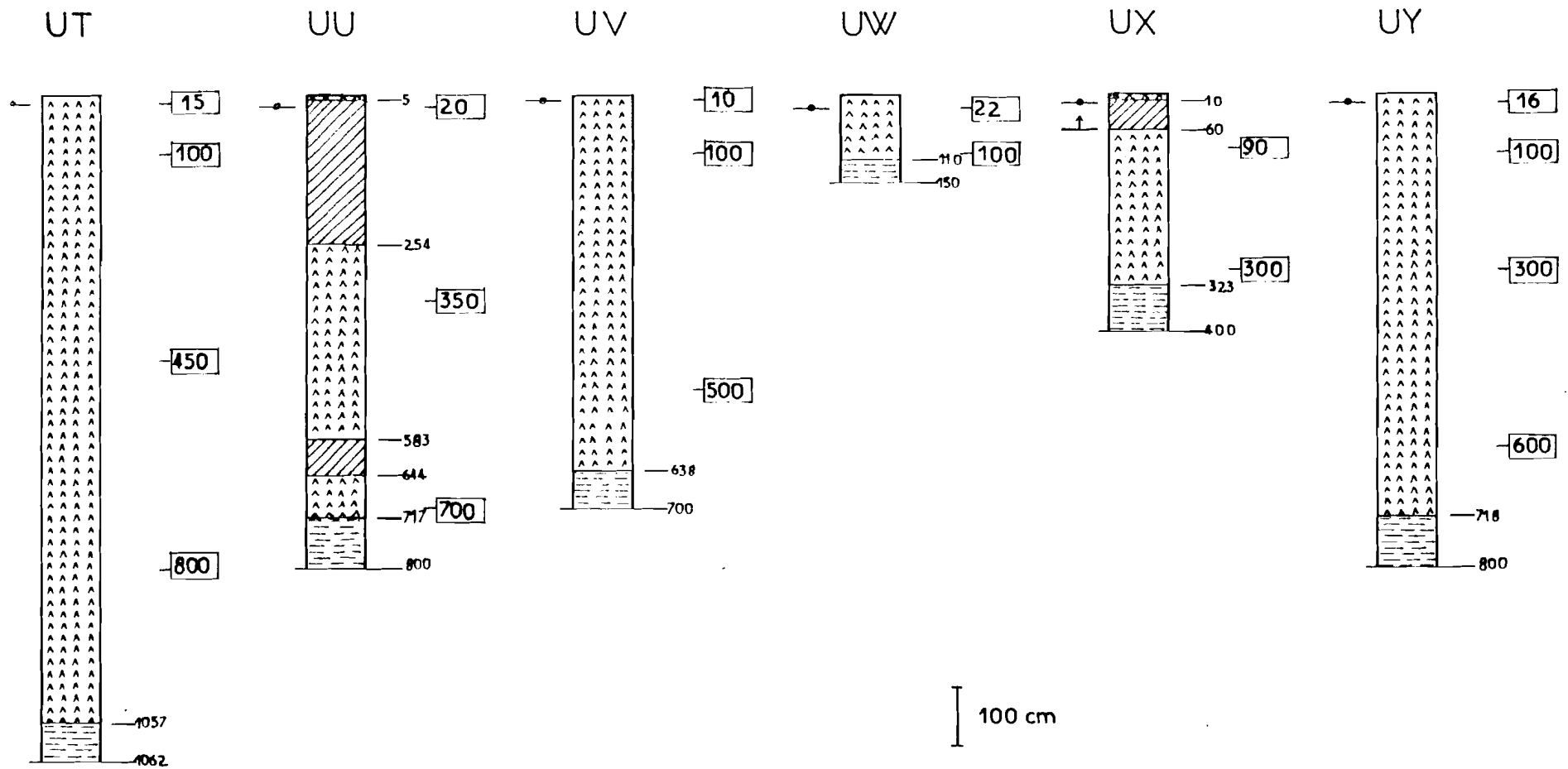


Fig. 9 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

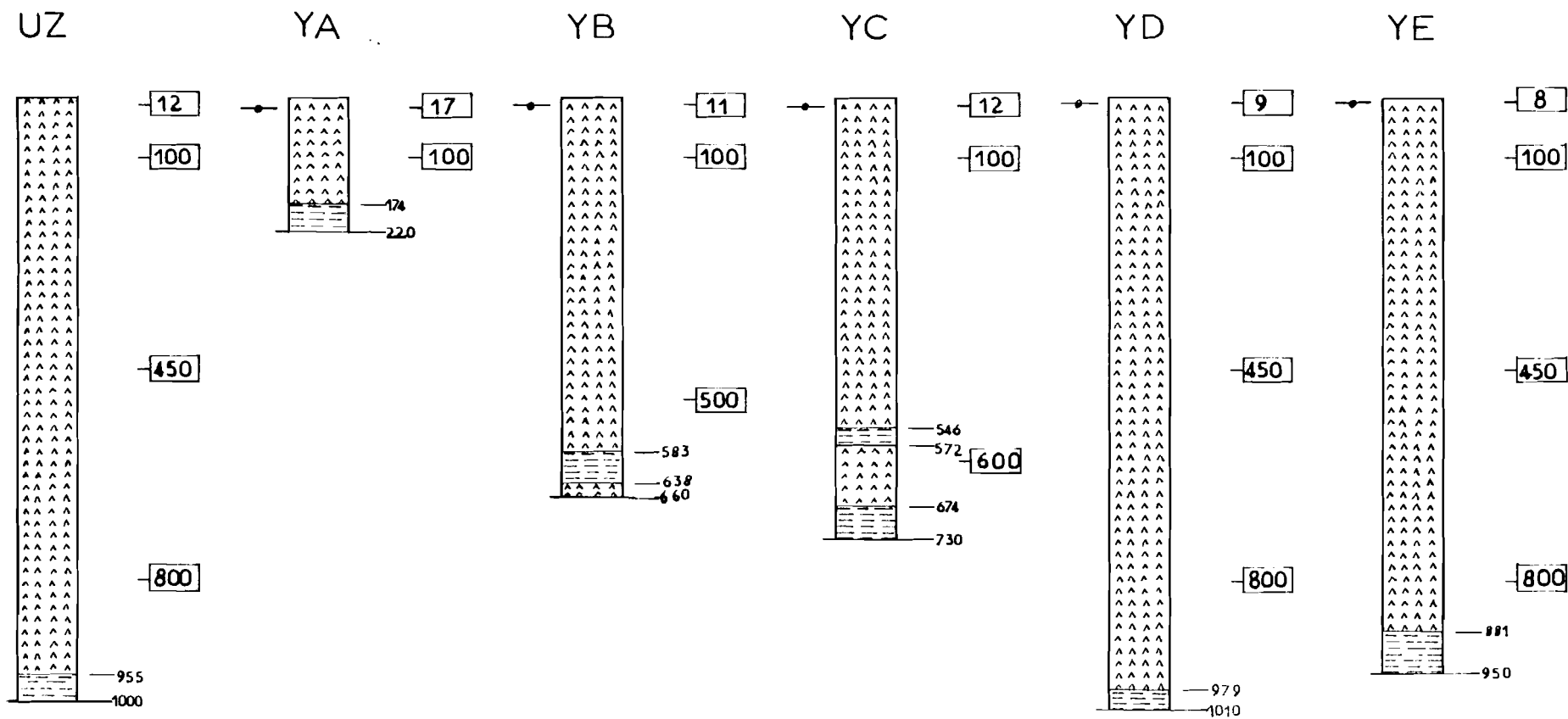
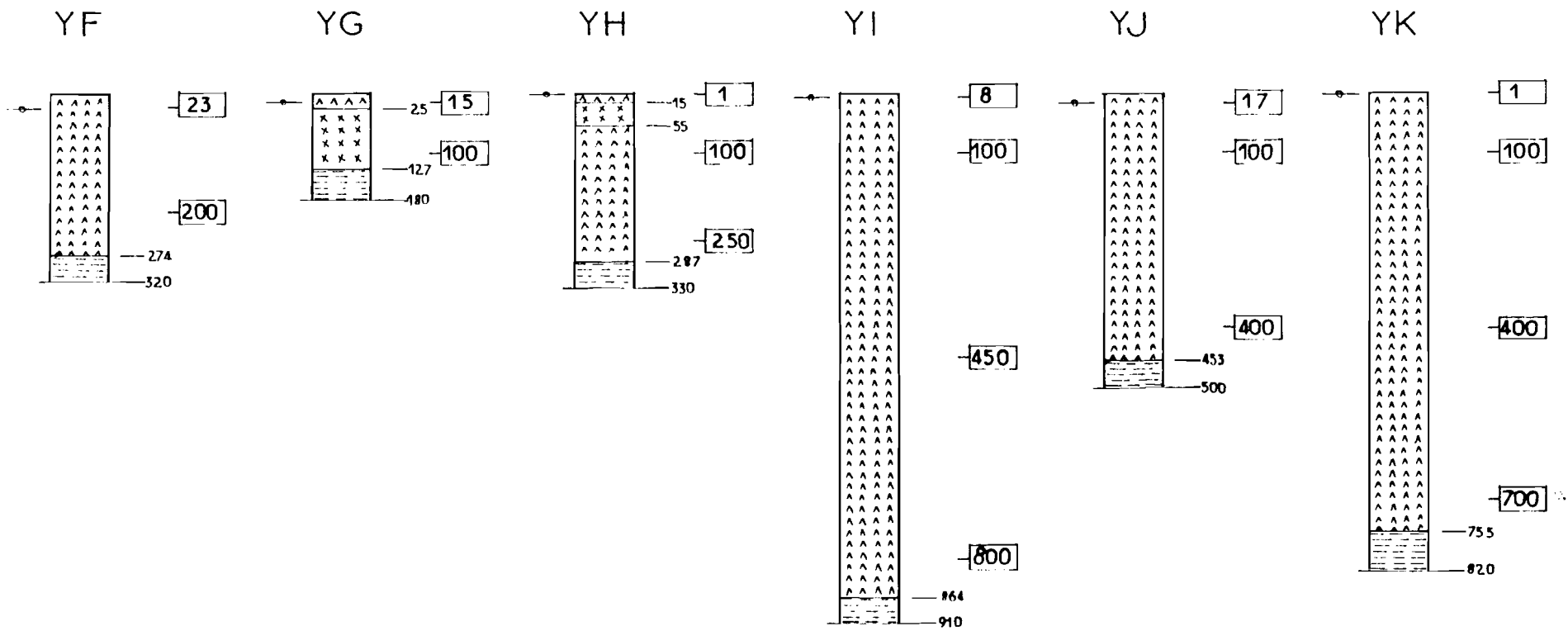


Fig. 10 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

100 cm



20

Fig. 11 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

100 cm

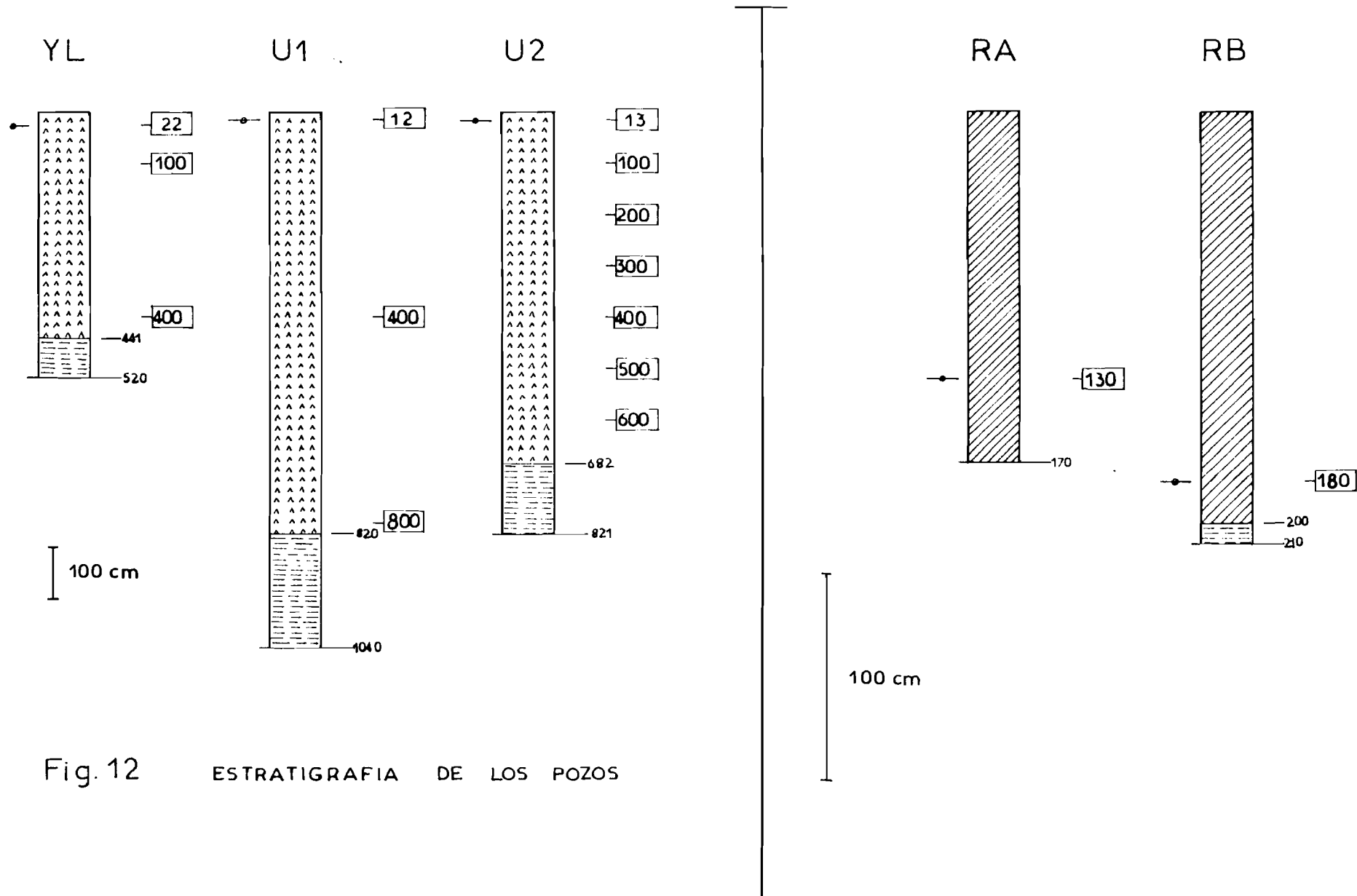


Fig. 12

ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

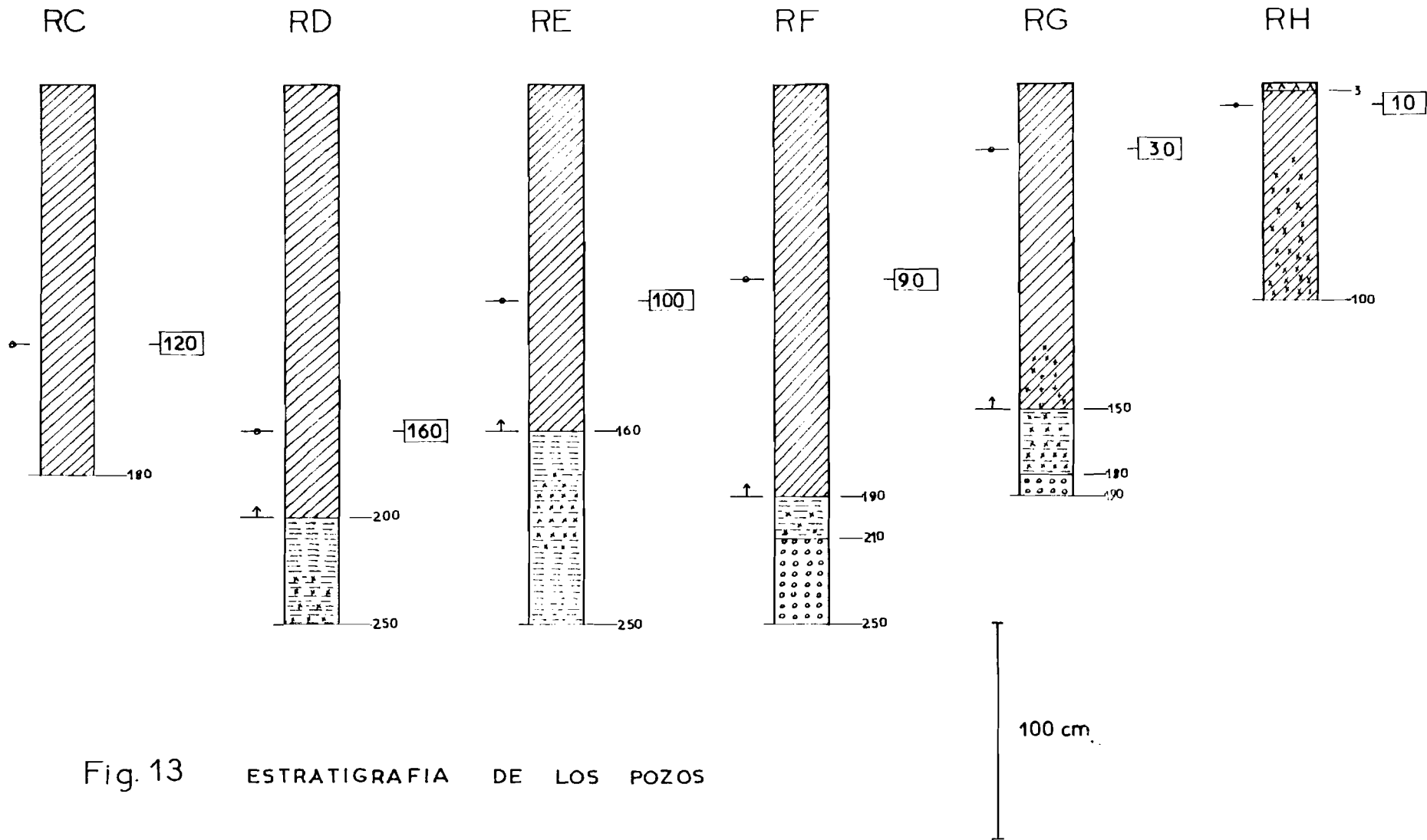


Fig. 13 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

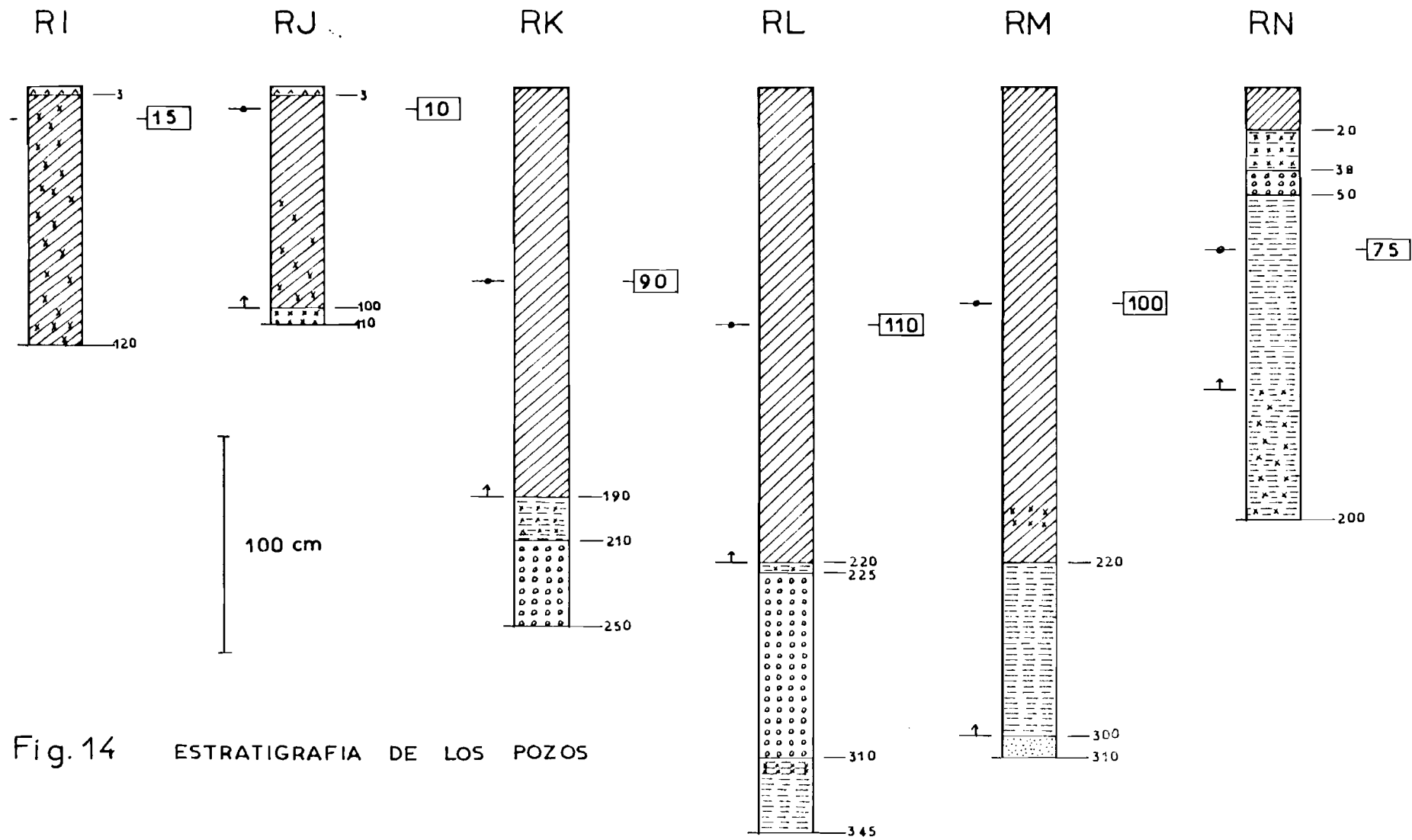


Fig.14 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

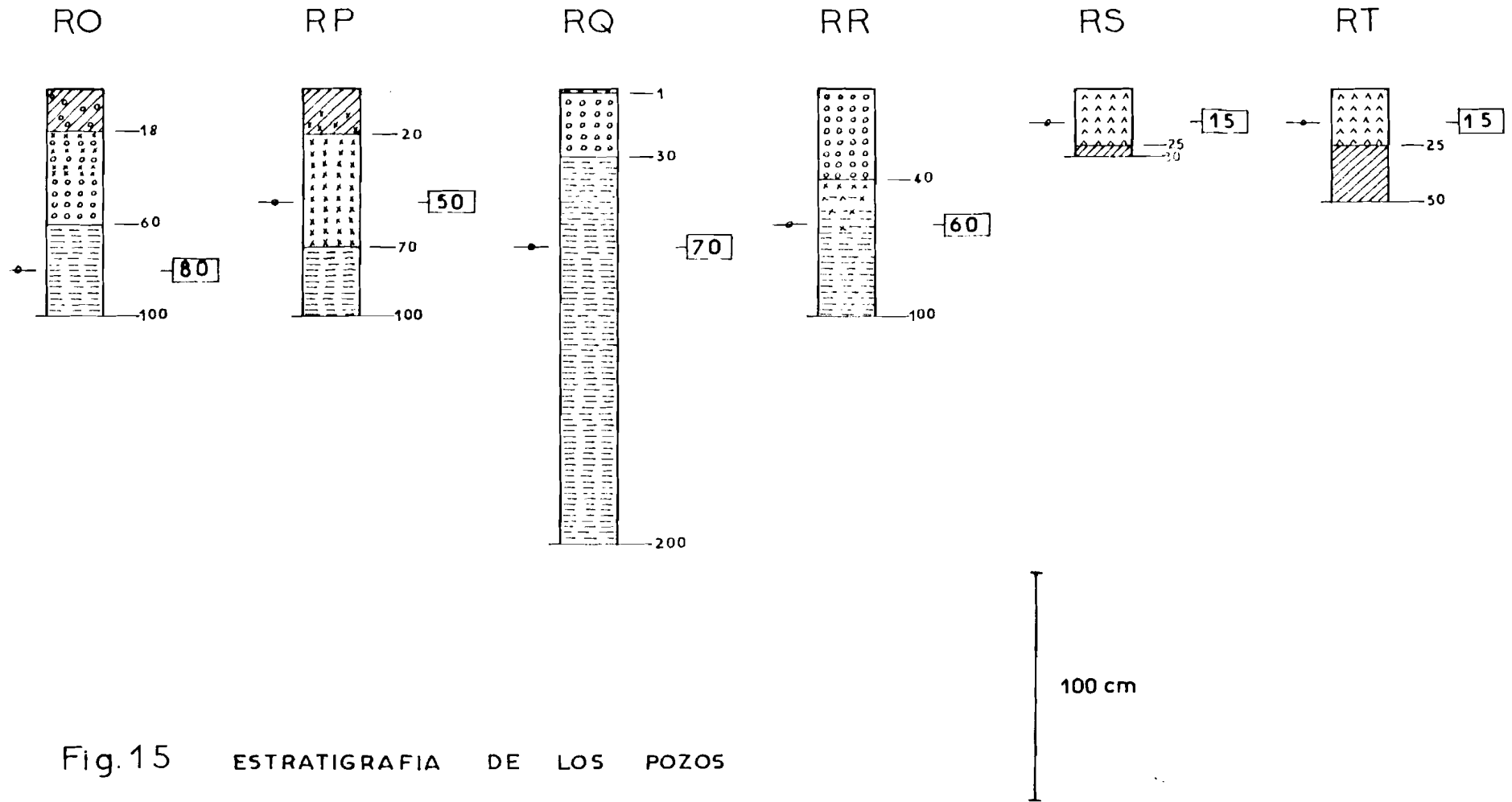


Fig. 15 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

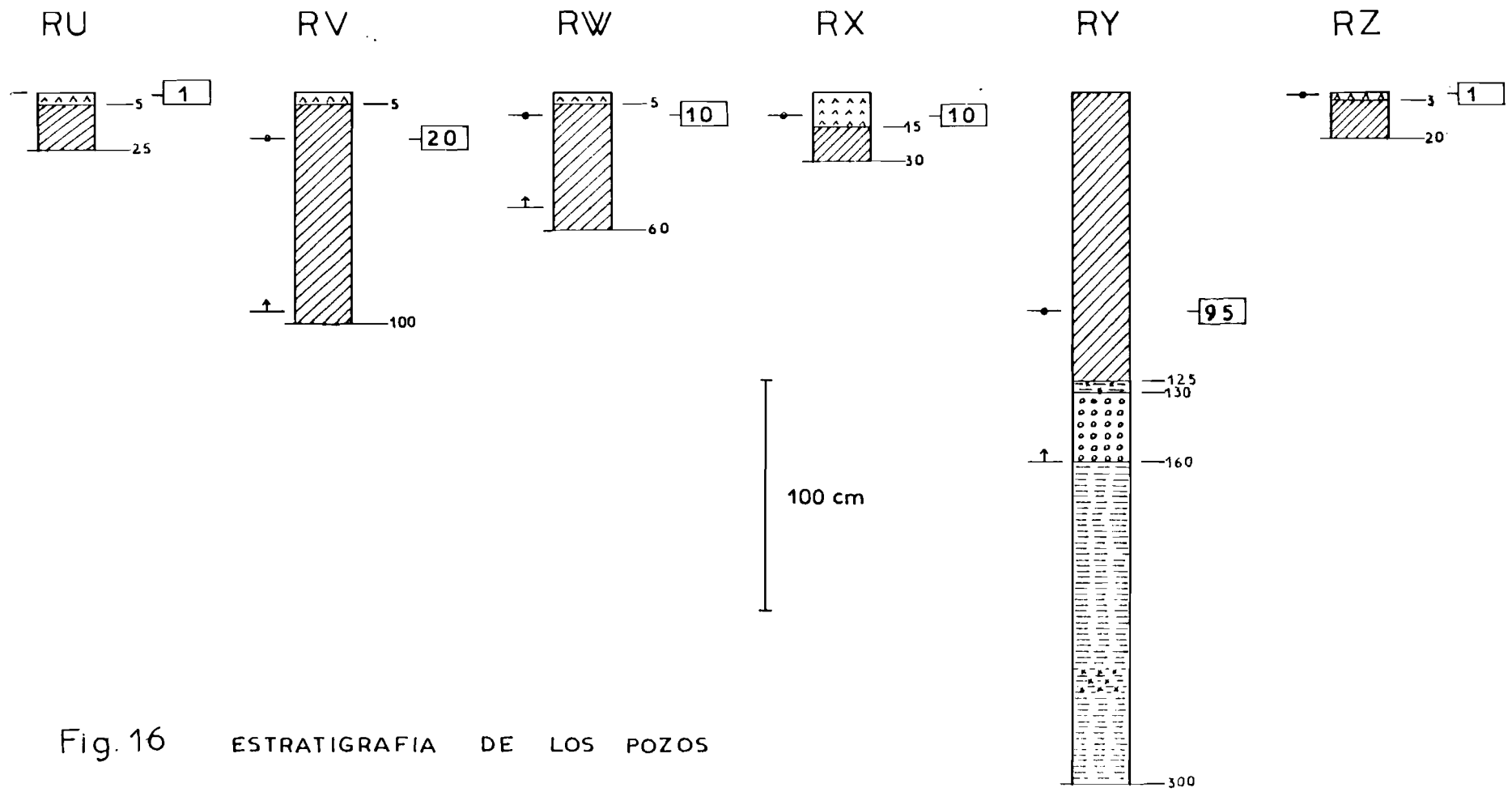


Fig. 16 ESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS

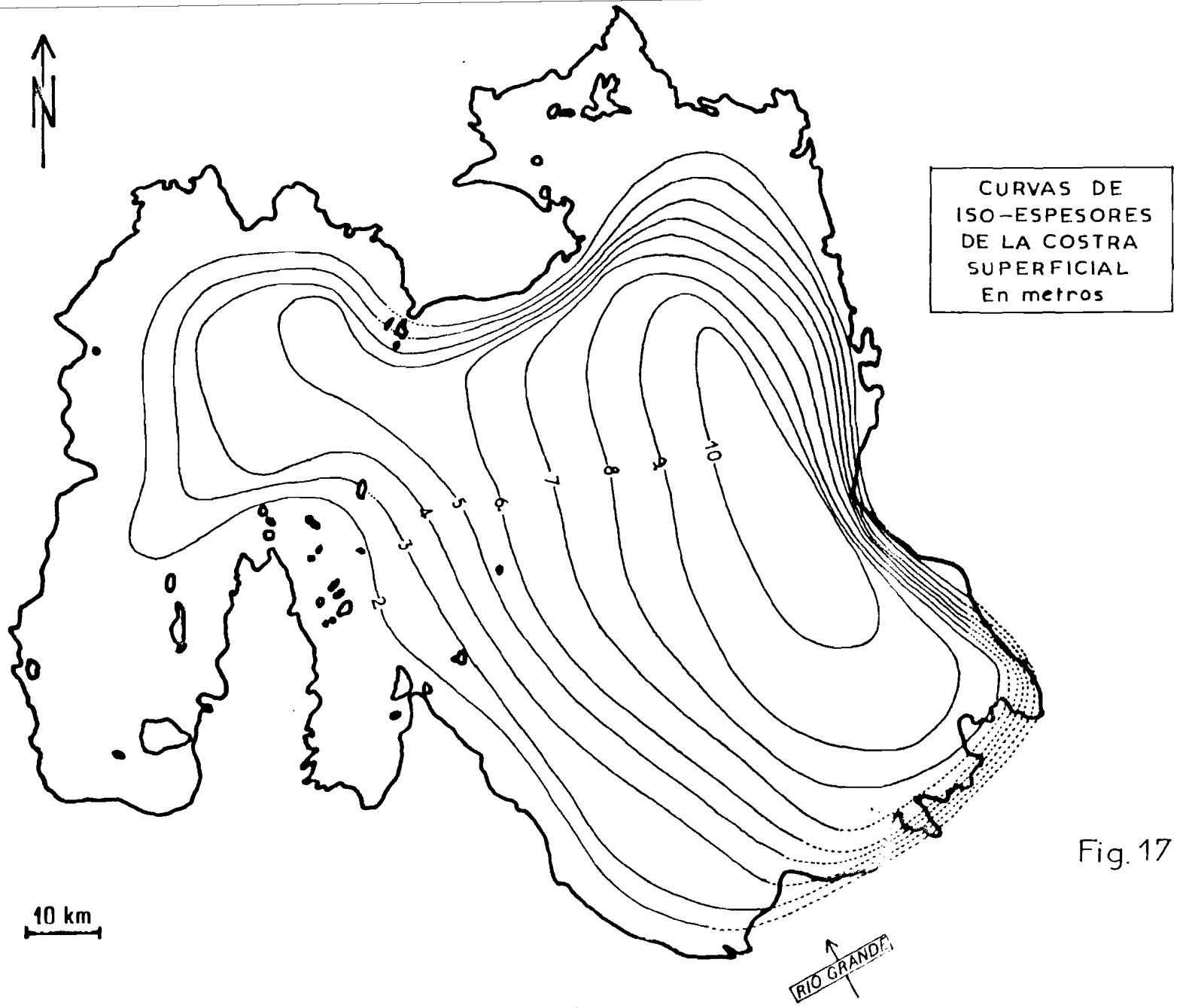


Fig. 17

Profundidad (cm)	Halita %	Yeso %
0	91	3
50	94	1
100	95	2
150	85	12
200	86	9
250	87	6
300	93	4
345	96	1
400	94	2
450	98	1
505	95	1
550	95	2

Cuadro 2. Mineralogía de la costra de sal en la zona del pozo UA.

Es una sucesión de niveles duros y compactos, y de capas de cristales sueltos de halita. El yeso tiene generalmente un aspecto blanco siltoso y rellena los intersticios de la halita. Debido a esta estructura irregular, la porosidad es difícil de estimar. Solamente se hicieron determinaciones sobre muestras que no se desagregan, es decir las más compactas. Los valores obtenidos, entre 20 y 30 %, constituyen entonces valores inferiores. Se estima razonablemente la porosidad media de toda la costra entre 30 y 40 %. Su permeabilidad nunca ha sido medida. Pero como se pudo apreciar en los bombeos, ésta es muy elevada.

3) La salmuera intersticial. Presentación general

La figura 18 muestra como varía el nivel de salmuera según la época. En época seca, el nivel de la salmuera se encuentra a 5-20 cm por debajo de la superficie. Esta salmuera sube por capilaridad a través de la parte superior de la costra y se evapora, precipitando sus sales disueltas. Eso colmata los centímetros superficiales en una costra muy dura y seca y reduce notablemente la evaporación de la salmuera.

En época de lluvia la parte superficial compacta se disuelve parcialmente y el nivel de la salmuera sube por encima de la superficie de unos 10 a 30 centímetros. El salar se vuelve lago.

4) Volúmenes y reservas de sales y salmueras

El cuadro 3 presenta los datos de volúmenes y masas de sales y salmueras de la costra superficial del salar de Uyuni. El rango de imprecisión corresponde a la incertidumbre sobre la porosidad : 35 ± 5 %. Esta imprecisión es la más importante para todas las estimaciones de reservas.

III. LOS SEDIMENTOS

1) Litología

- Los sedimentos lacustres. Cuando son húmedos tienen un color verde y una consistencia siltosa o limonosa. Son una mezcla de detríticos volcánicos (30 - 50 %), de yeso (10 - 50 %) y de calcita (10 - 30 %). Contienen pocas arcillas (unos %). Su porosidad es elevada (30 - 60 %) y es colmada por una salmuera intersticial. Pero su permeabilidad es casi nula, lo que impide la recuperación por bombeo de esta salmuera. El mejor criterio para determinar el origen lacustre de un sedimento en la zona del salar de Uyuni es observar coprolitos fósiles del crustáceo Artemia. Son pequeños cilindros lisos y blancos de 0.1 a 1 mm de largo sobre 0.02 a 0.2 mm de diámetro.

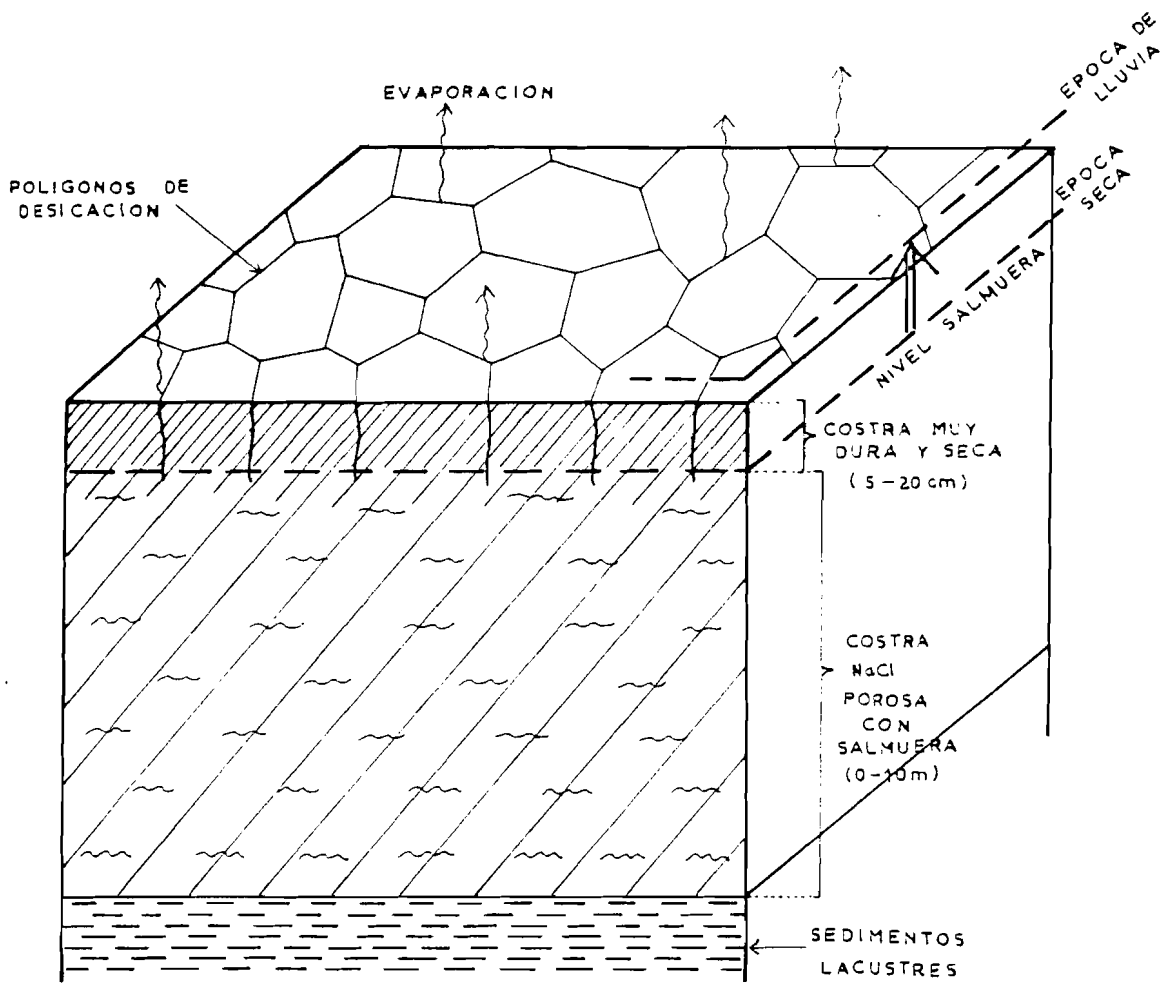


Fig. 18 ESTRUCTURA DE LA COSTRA SUPERFICIAL

Superficie.....	10 000 km ²	
Espesor medio.....	4.7 m	
Volumen.....	47 x 10 ⁹ m ³	
Porosidad.....	35 %	(± 5 %)
Volumen de sal.....	31 x 10 ⁹ m ³	(± 2 x 10 ⁹)
Tonelaje de sal.....	66 x 10 ⁹ ton	(± 5 x 10 ⁹)
Volumen de salmueras...	16.5 x 10 ⁹ m ³	(± 2.5 x 10 ⁹)
Sal en salmueras.....	5 x 10 ⁹ ton	(± 0.7 x 10 ⁹)
Tonelaje sal total.....	71 x 10 ⁹ ton	(± 4 x 10 ⁹)

Cuadro 3. Medidas, volúmenes y masas del Salar de Uyuni.

- los sedimentos fluvio-deltaicos. Son de color marrón ladrillo (pampa "Colorada" al sur de Uyuni). Son lentes de arenas, silts, limones y arcillas. Las arcillas son una mezcla de esmectitas (montmorillonita, 60 %), illita (30 %) y kaolinita (10 %). Pueden servir para la elaboración de piletas de evaporación. Es adentro de estos sedimentos que se plantan las movilidades cuando se acercan demasiado a los bordes del salar. Recomendamos especial cuidado en la zona de Río Grande.

2) El delta del Río Grande

El Río Grande es el mayor aporte del salar de Uyuni. Trae aguas, sales disueltas y sedimentos en suspensión. Estos sedimentos han edificado un delta de unos 400 km² de superficie en la desembocadura del río, al contacto con la costra de sal. La figura 19 muestra esquemáticamente la estratigrafía del delta y su interpenetración con la costra de sal. El espesor de los sedimentos varía de unos decímetros a 3 metros. Por debajo de estos sedimentos deltaicos se encuentran los mismos sedimentos lacustres que existen debajo de la sal.

3) El yacimiento de ulexita : NaCa B₅O₉ · 8H₂O

Con excepción de lentes arenosos río arriba, los sedimentos deltaicos son impermeables y secos. El nivel de la capa de salmuera generalmente sigue el contacto entre sedimentos lacustres y deltaicos. Justo en este contacto se encuentran lentes de ulexita que han precipitado por evaporación capilar de la napa subterránea (Fig. 19). Son lentes adyacentes de 50 - 300 m de diámetro y de 5 a 50 cm de espesor. El mineral tiene un aspecto blanco sedoso. Es blando y saturado de salmuera. La extensión aproximada del yacimiento está indicada en las figuras 21, 27, 31 y 35.

A principios de siglo, una compañía, tal vez inglesa, hizo un estudio muy detallado de este yacimiento. Cavaron miles de pozos. Lamentablemente no se dispone, en Bolivia, ni siquiera del nombre de esta compañía. Estos datos serían de suma importancia para cualquier intento de desarrollo de esta zona.

CADIMA y LAFUENTE (1967) hicieron una evaluación de una parte bien delimitada del yacimiento. Estimaron a 3 700 000 toneladas las reservas de ulexita brutas en un área de 5.8 km², lo que corresponde a unos 10 % de todo el yacimiento.

De acuerdo con BALLIVIAN y RISACHER (1981), el yacimiento tiene una superficie útil de 50 km², un espesor medio de 20 cm y una ley de 60 % (40 % de salmuera intersticial). Se obtiene así un orden de magnitud de 12 000 000 toneladas de ulexita, o sea 1 600 000 toneladas de boro.

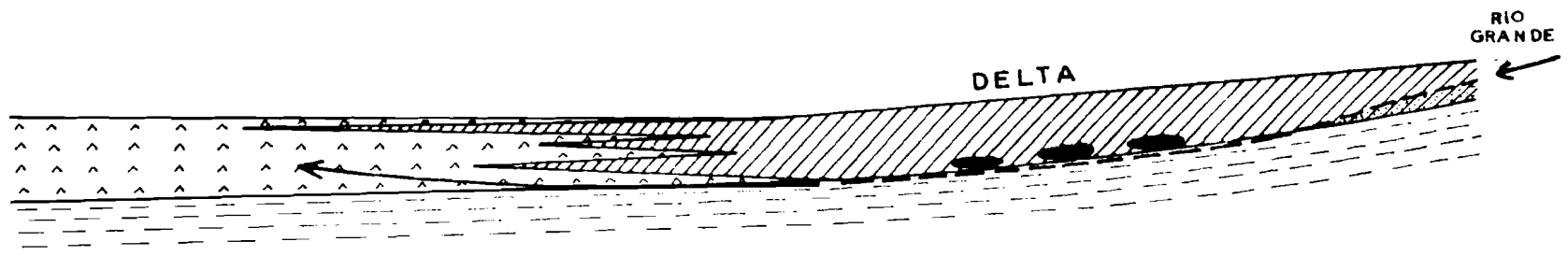
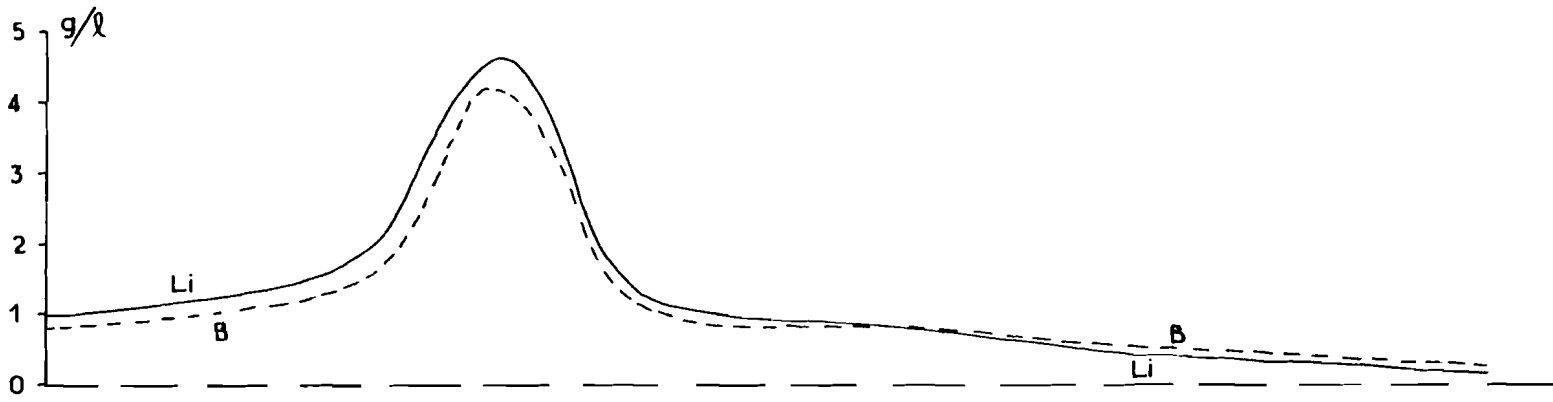
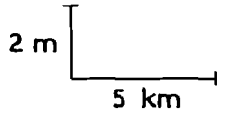


Fig.19

CORTE EN EL SUR DEL SALAR
ZONA DE RIO GRANDE



	Costra de halita		impermeables	} Sedimentos deltaicos
	Sedimentos lacustres		permeables	
	Ulexita		Nivel de salmuera	

LAS SALMUERAS DE LA COSTRA SUPERFICIAL

I. QUIMISMO GENERAL

Los análisis de 194 salmueras se presentan en el cuadro anexo. En casi todo el salar las salmueras son de tipo Na-Cl (cloro-sódico), salvo en la orilla sur, cerca del Río Grande, donde son del tipo Mg-Cl. Las salmueras Na-Cl son saturadas en halita y yeso, lo que es lógico puesto que se encuentran en contacto permanente con estas sales. Las salmueras Mg-Cl corresponden a salmueras Na-Cl fuertemente evaporadas. Al evaporarse, la halita precipita, lo que reduce la concentración en sodio. El magnesio se vuelve el catión dominante.

II. ZONACION LATERAL

Las figuras 20 a 37 muestran las curvas de isoconcentración de Li, K, Mg, B a varios niveles : superficie, fondo y valor promedio. Para el litio dibujamos también los niveles -100 y -400 cm. Las curvas de la zona ampliada del delta del Río Grande corresponden a la parte superior de las salmueras. No se muestrearon salmueras profundas en esta zona.

Se observa que todos esos elementos se concentran notablemente al sur del salar, cerca del delta del Río Grande. La figura 19 muestra las variaciones del contenido en B y Li de las salmueras superficiales a lo largo de un corte transversal a través del delta. Hay un aumento brusco al extremo borde de la costra de sal. La variación no es progresiva.

No hay otros lugares en el salar donde las salmueras se concentran tanto. Se puede notar algunos aumentos cerca de las orilla al Este, Norte y Sud-Oeste, pero éstos son insuficientes para justificar una explotación en estos lugares. Solamente la zona de Río Grande presenta el potencial más favorable.

No existe mucha relación entre las curvas de iso-espesor y las de iso-concentración, excepto, tal vez en el sector Nor-Oeste. Esta zonación se puede explicar en el Sur por los aportes del Río Grande, aunque es difícil generalizar tal mecanismo para todo el salar. El Río Grande no puede tener mucha influencia al Nor-Oeste del salar, a unos cien kilómetros de distancia.

III. ZONACION VERTICAL

Se puede distinguir dos niveles de salmuera : una salmuera superficial menos concentrada y una salmuera profunda

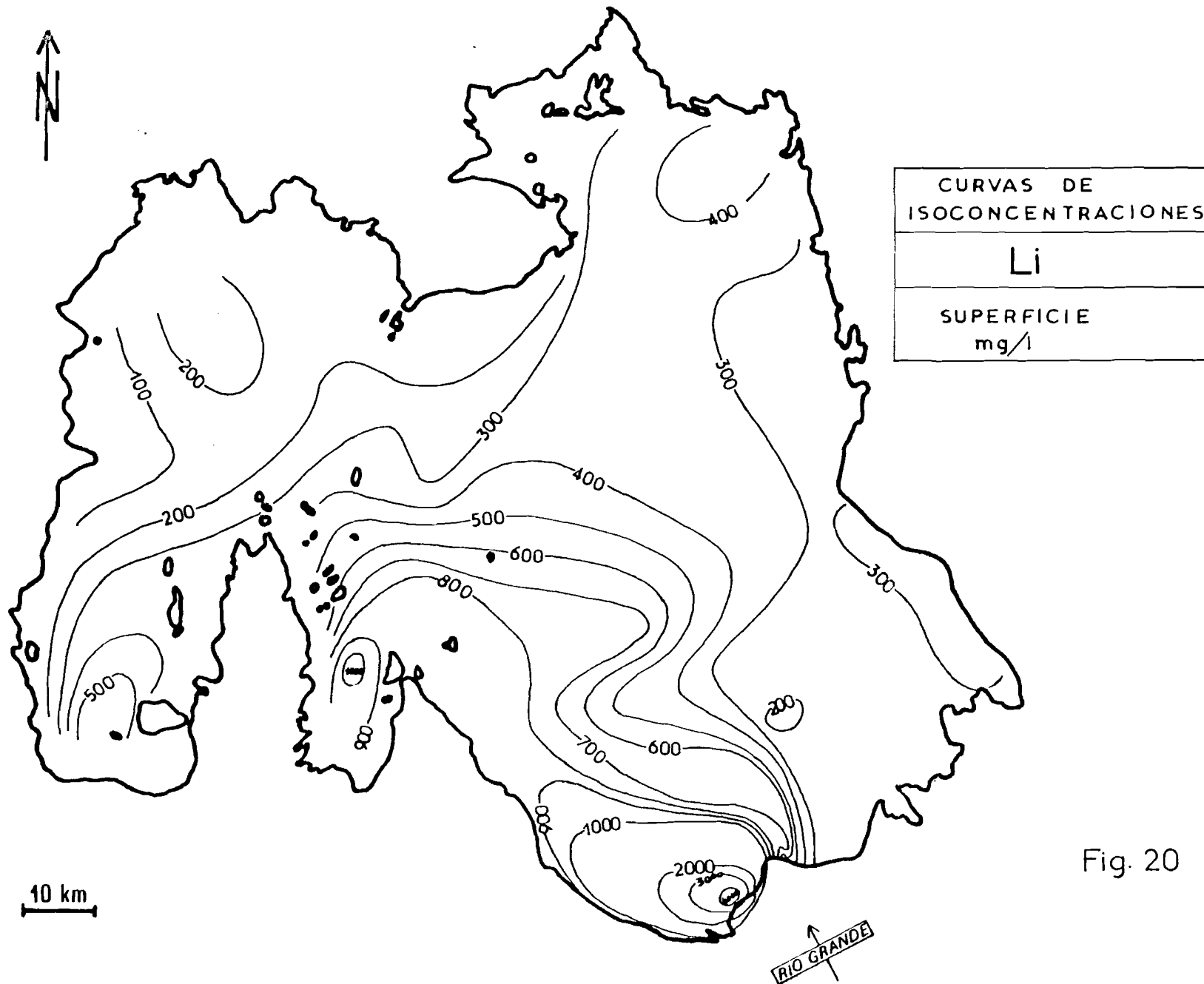


Fig. 20

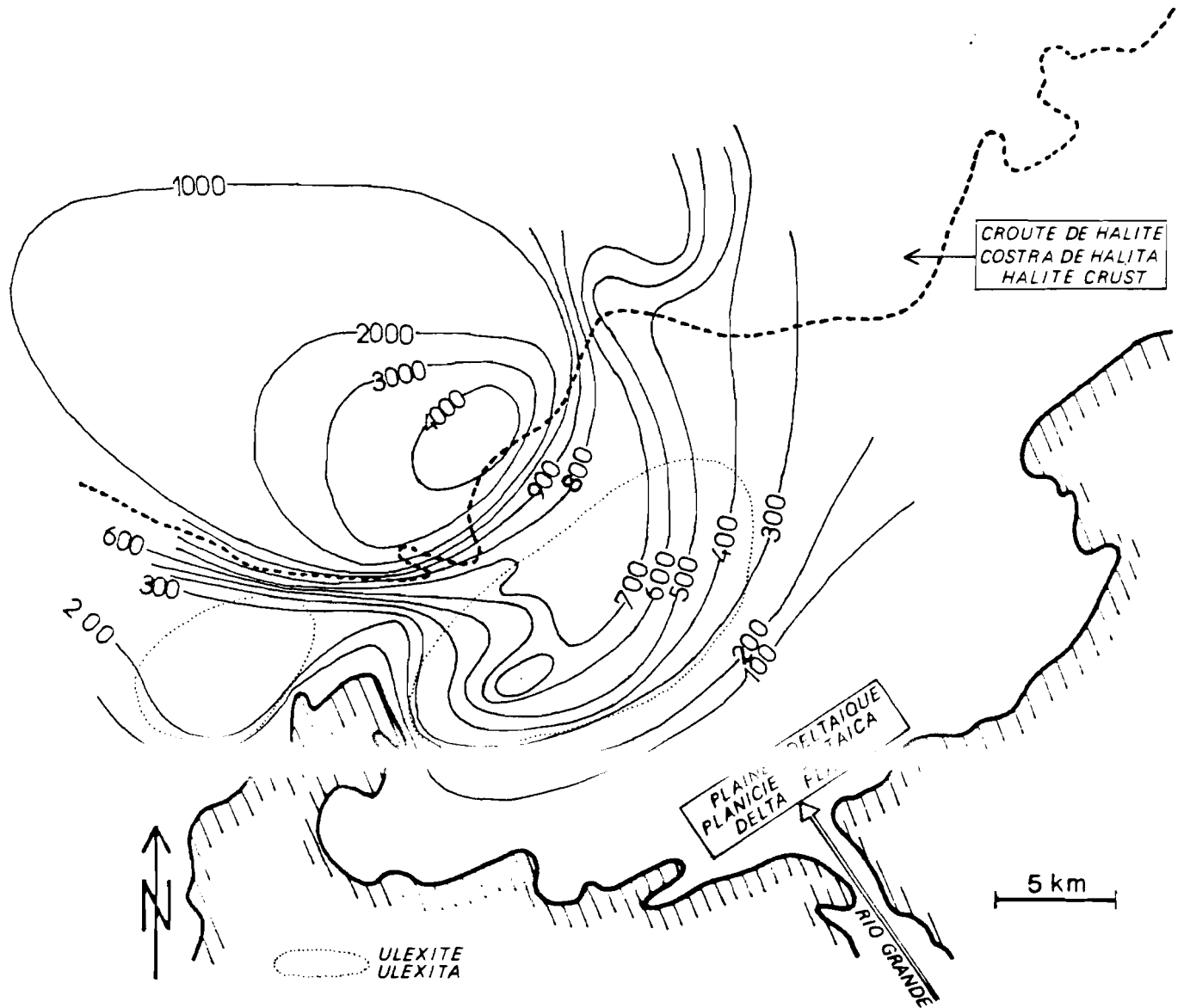


Fig. 21

Li	<p>CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES SUPERFICIE — mg/l ZONA DE RIO GRANDE</p>
----	--

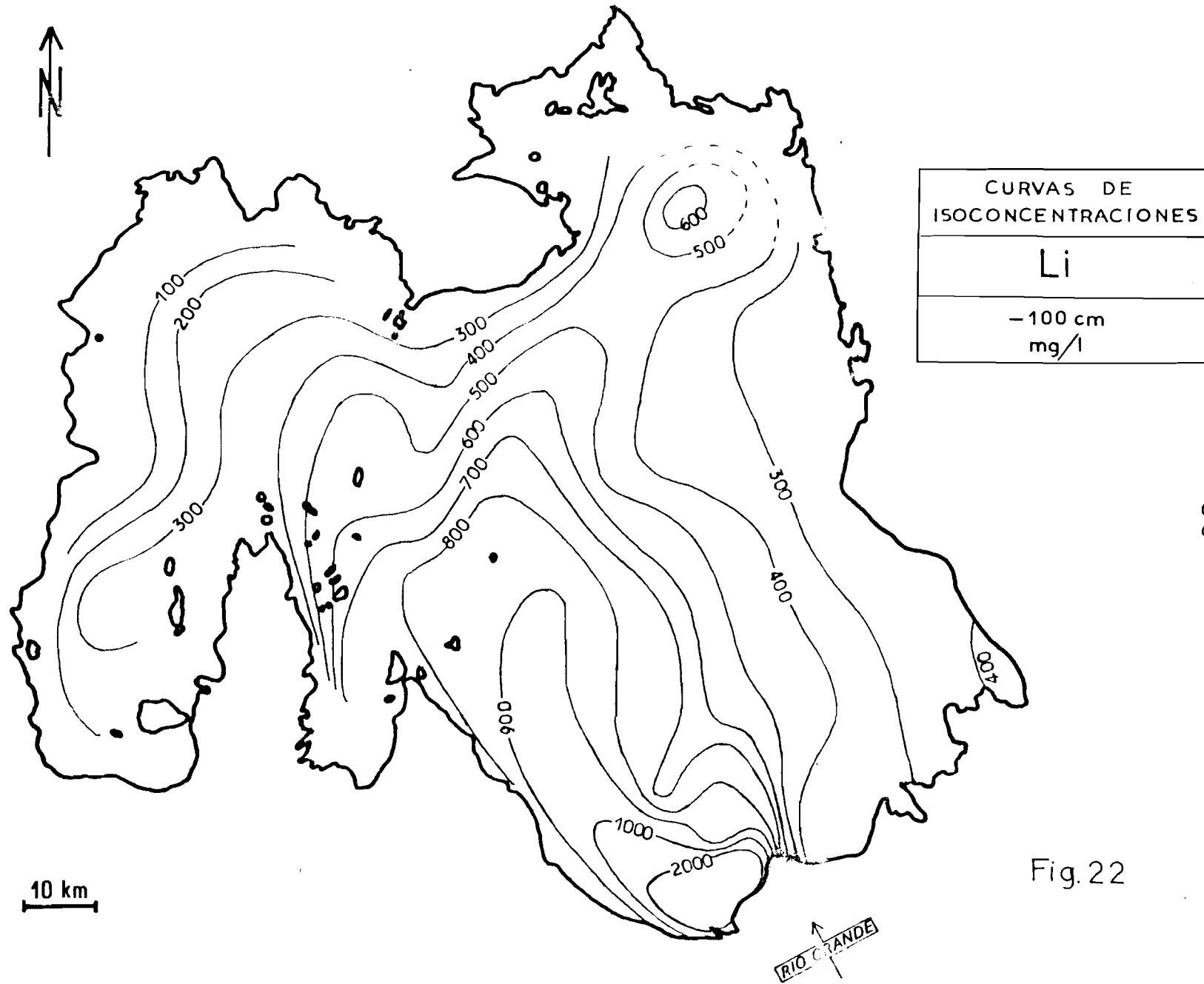


Fig. 22

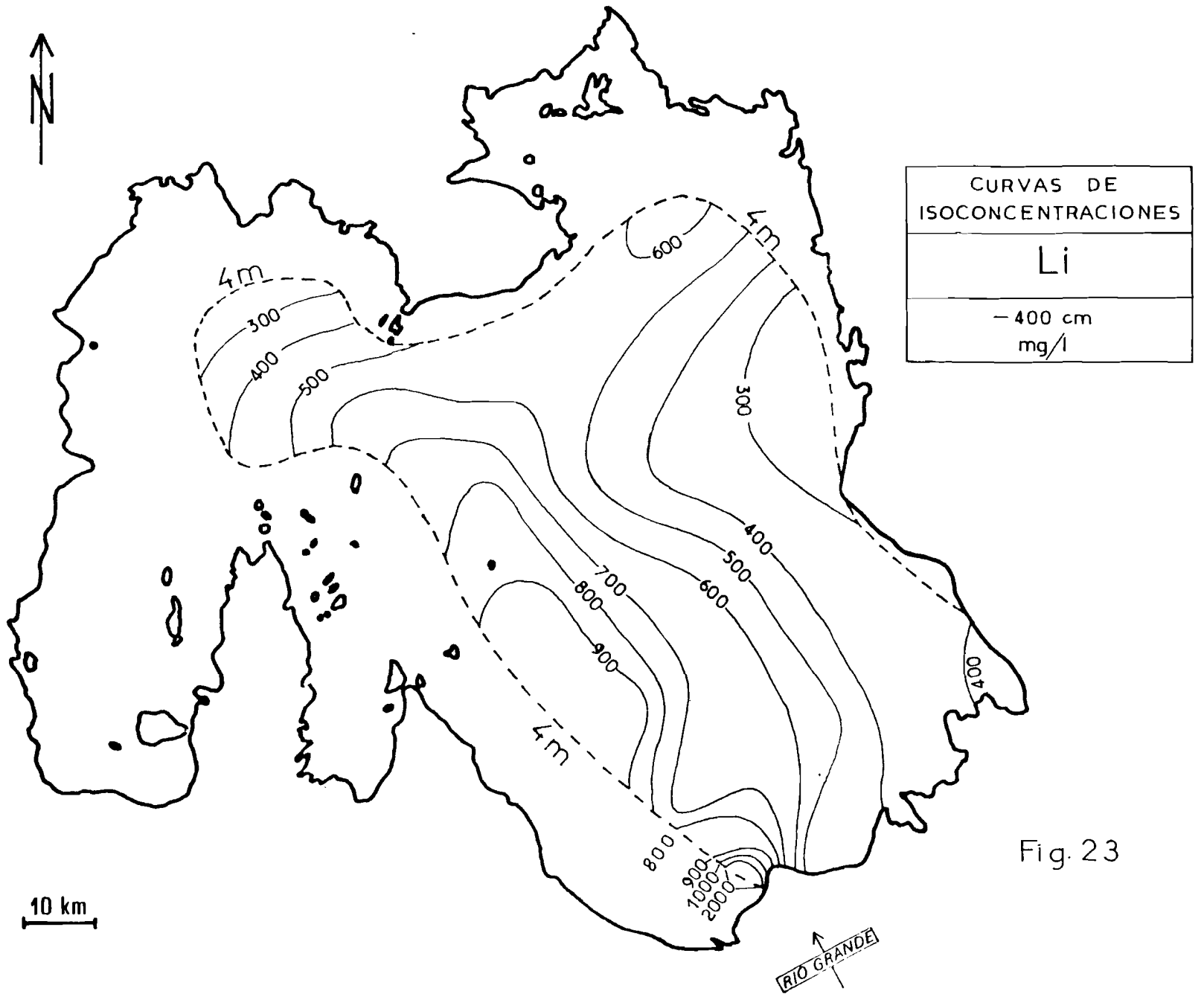


Fig. 23

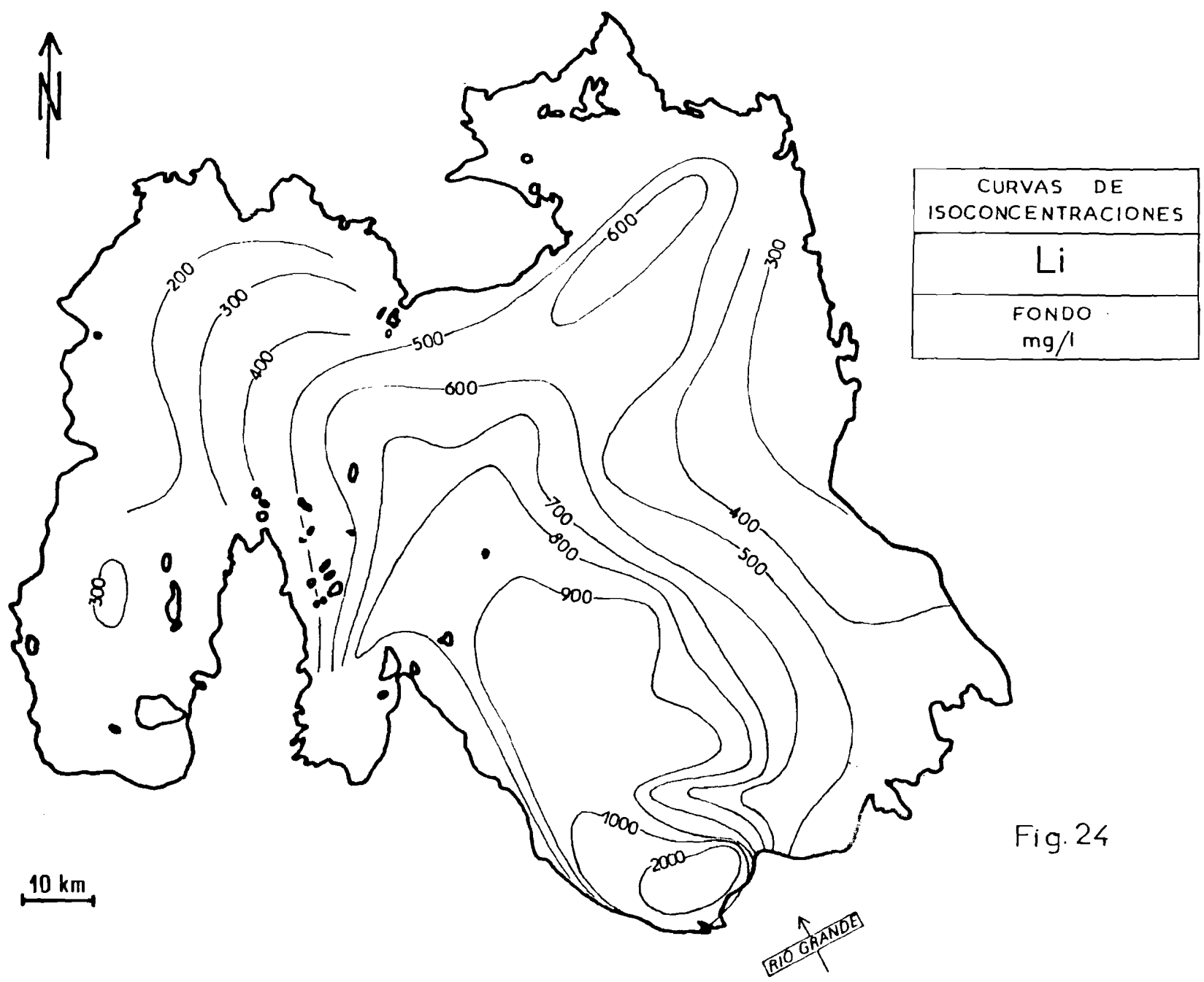


Fig. 24

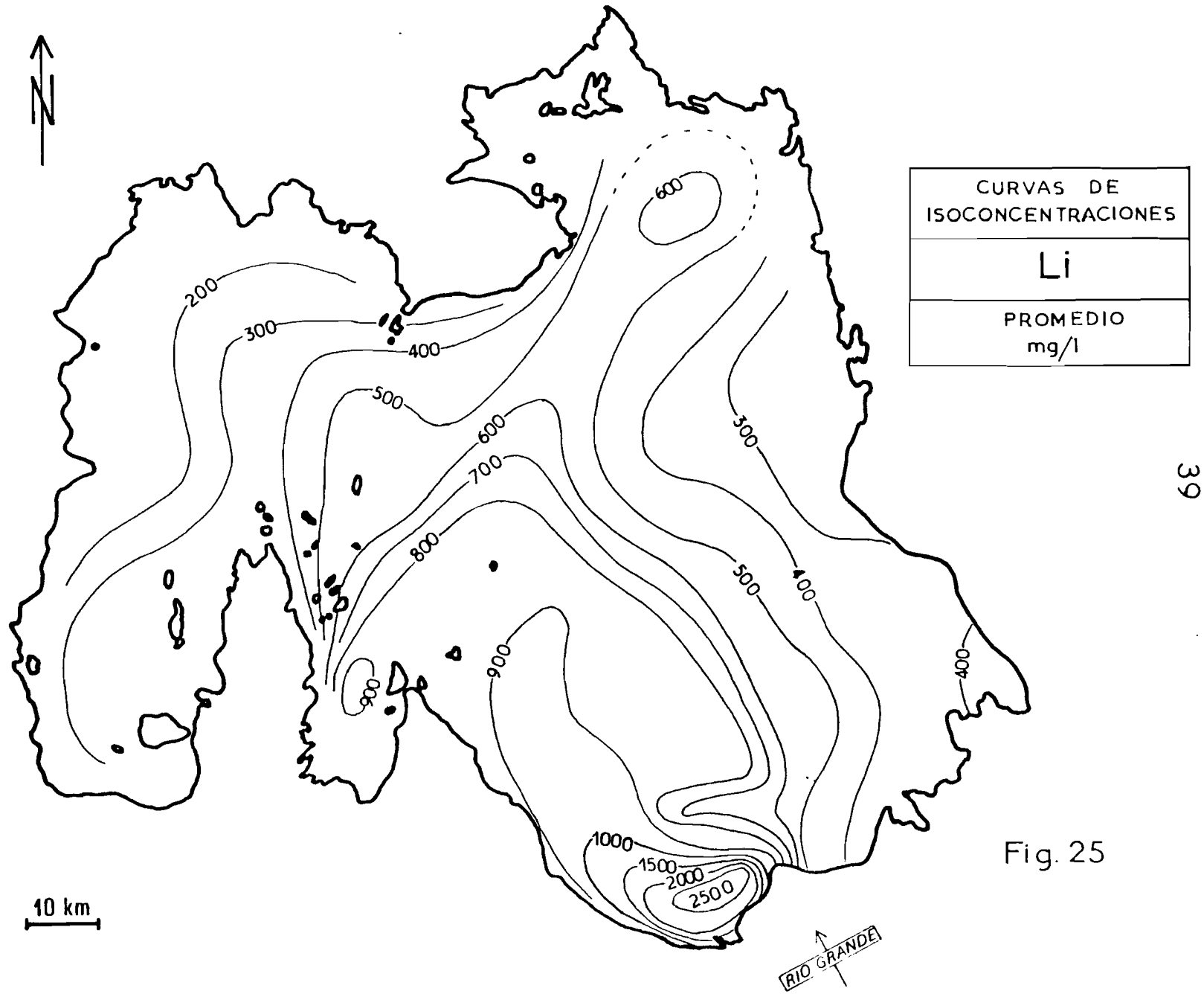


Fig. 25

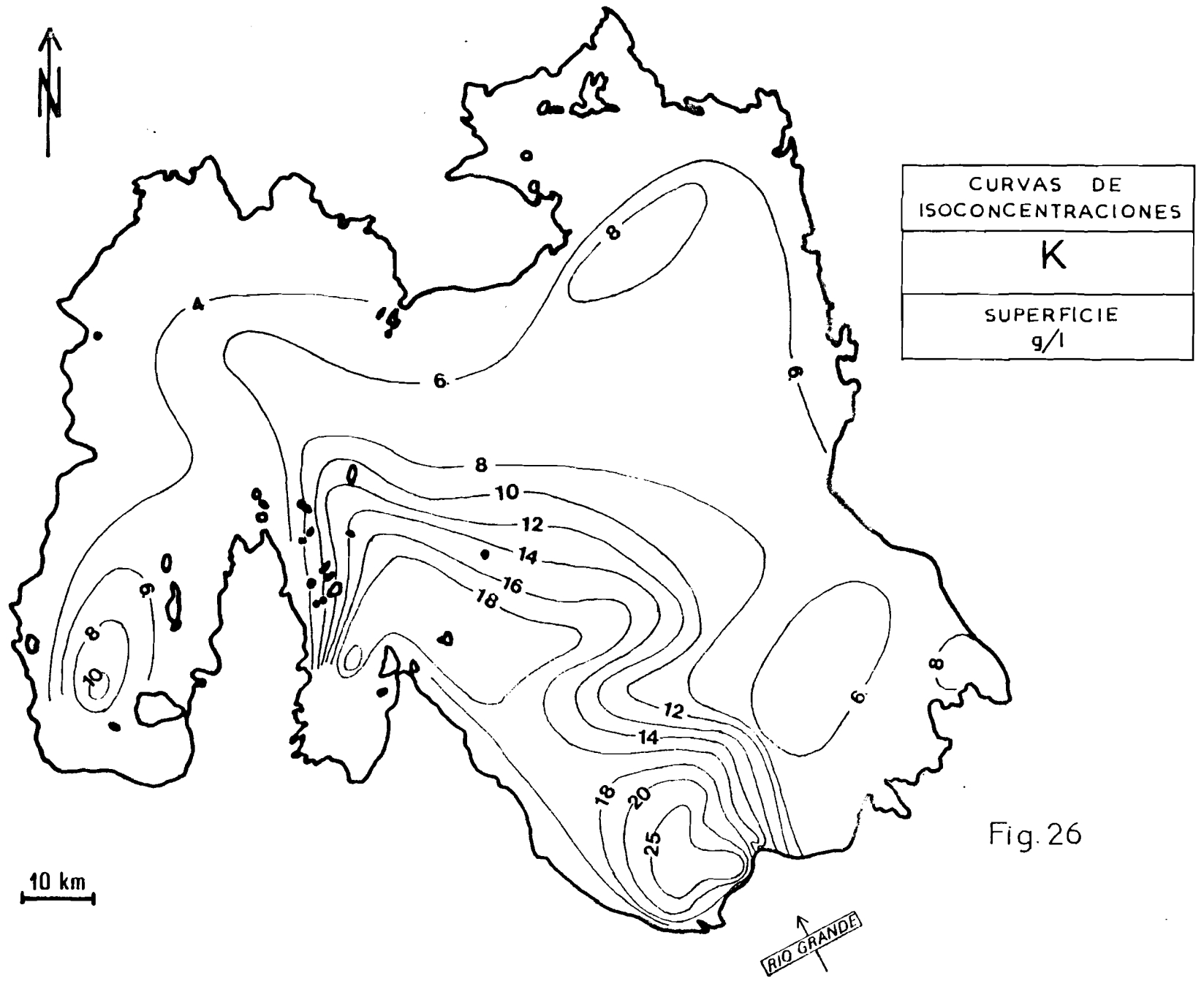


Fig. 26

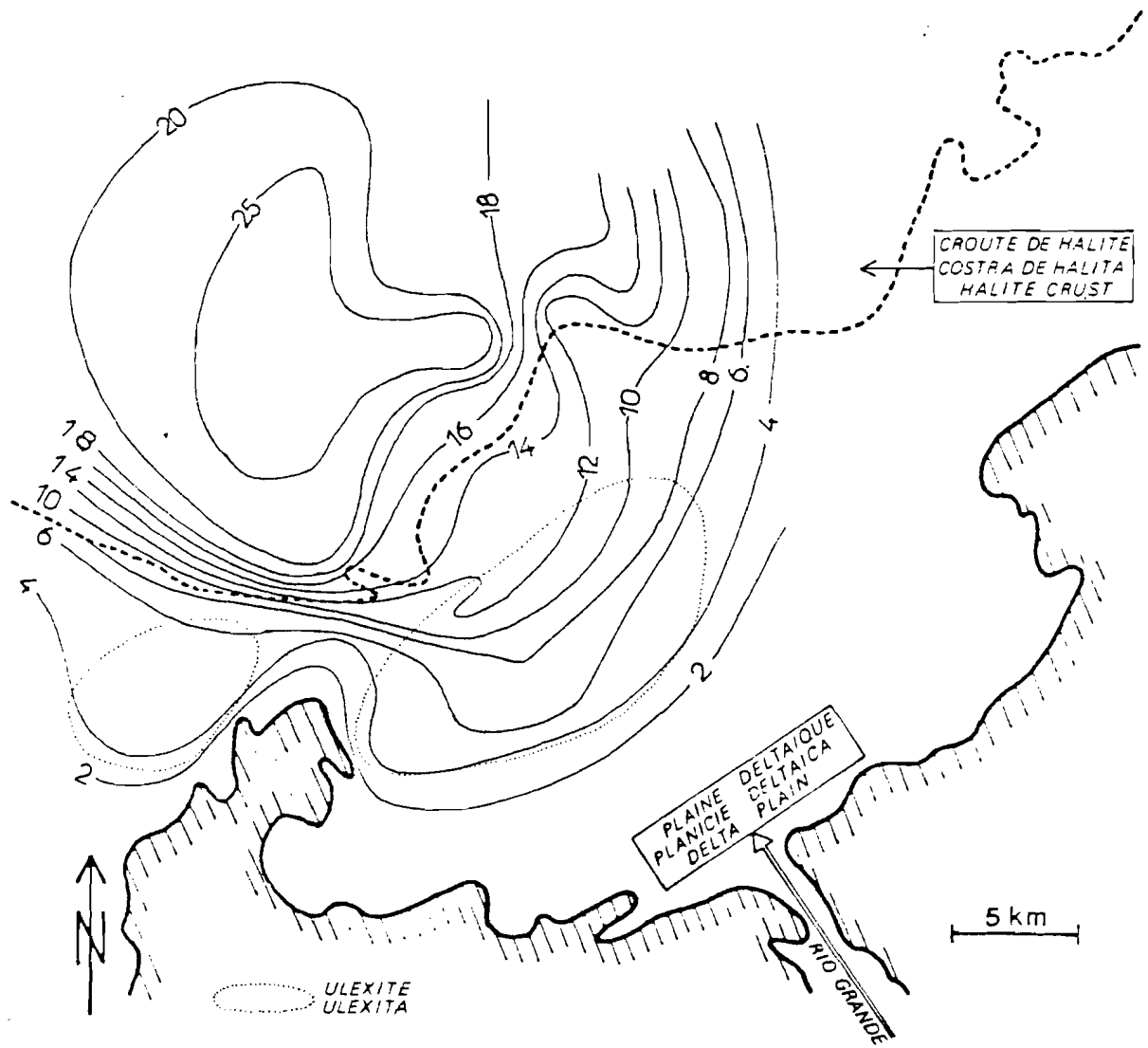


Fig. 27

K	<p>CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES SUPERFICIE - g/l ZONA DE RIO GRANDE</p>
---	---

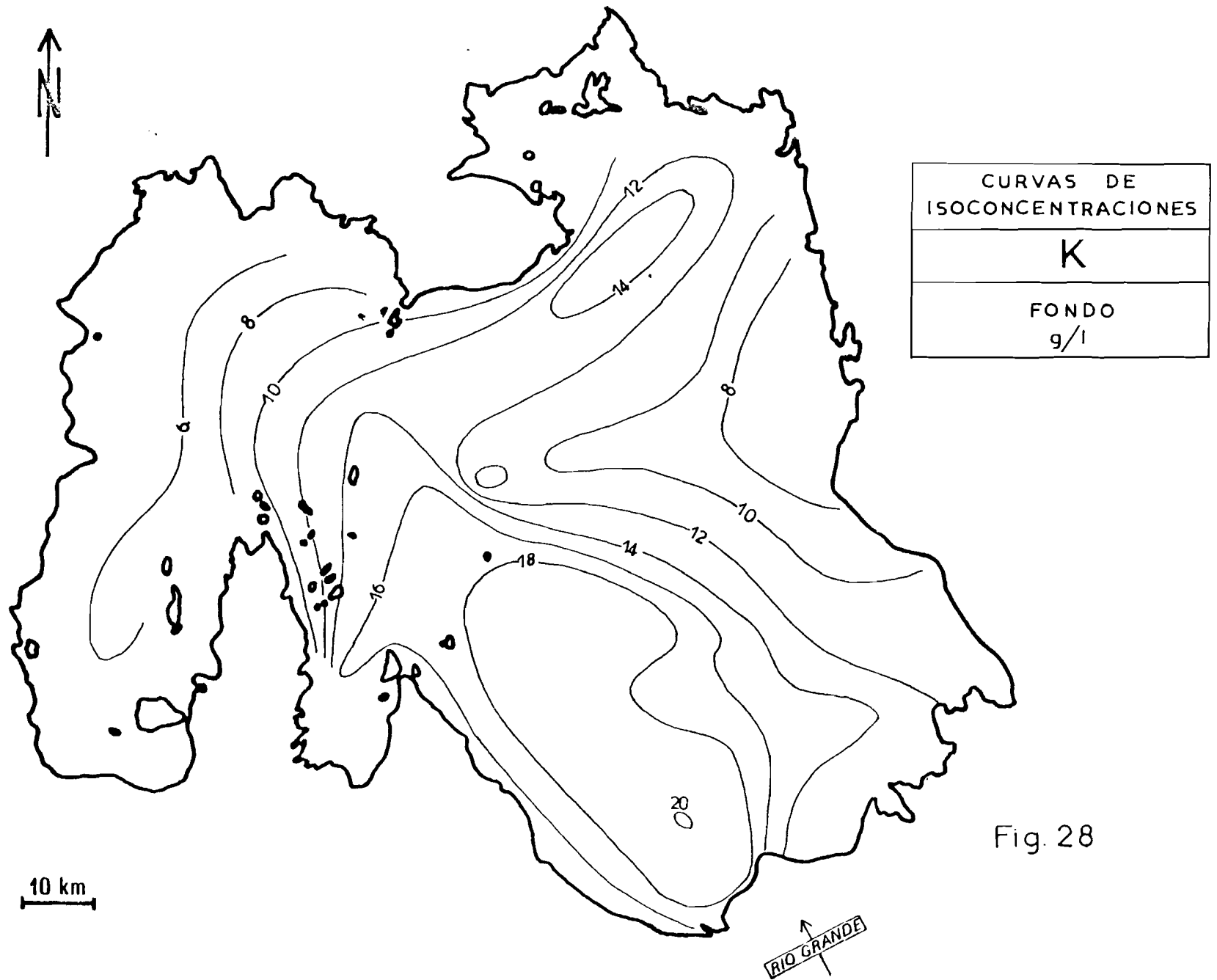
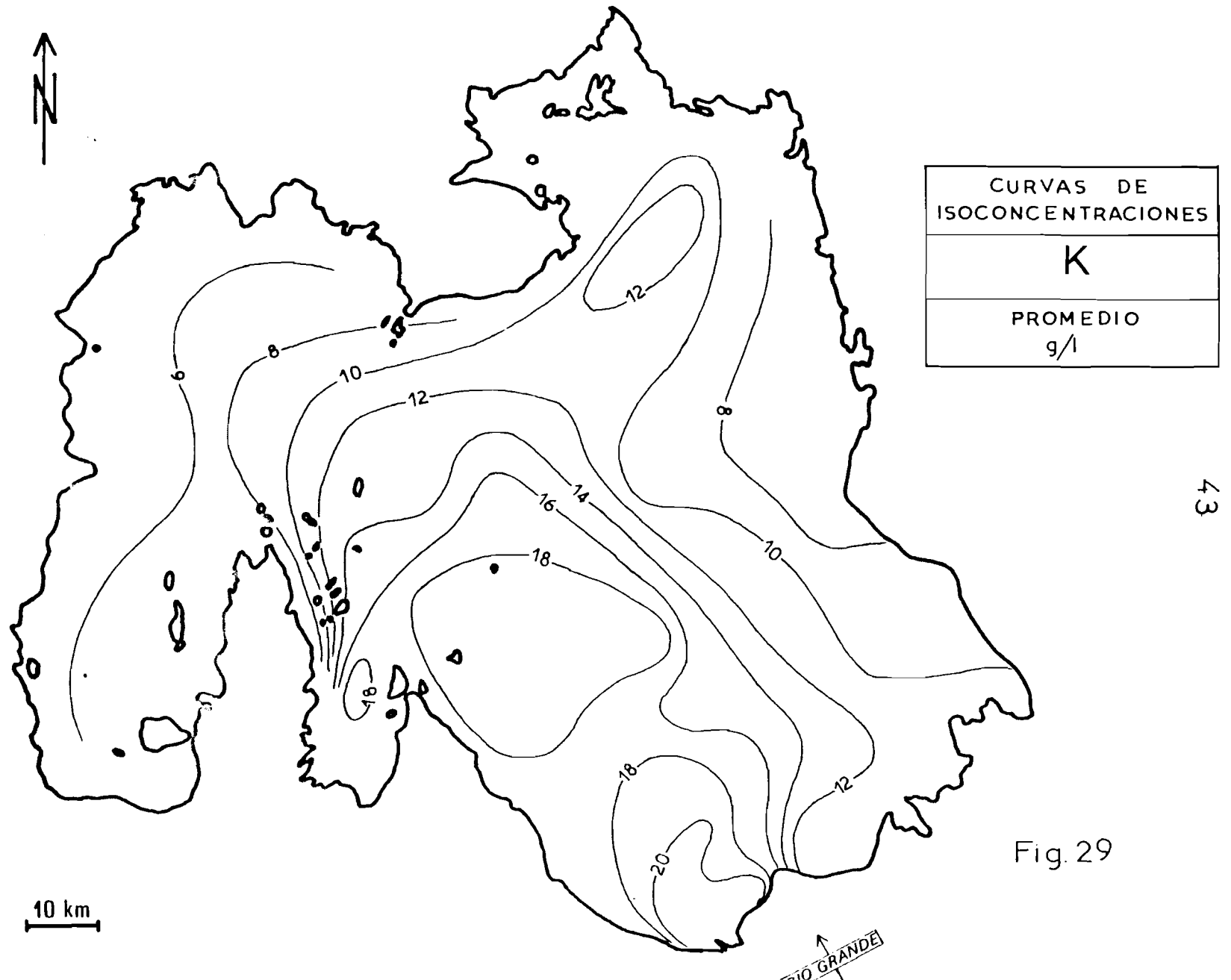


Fig. 28



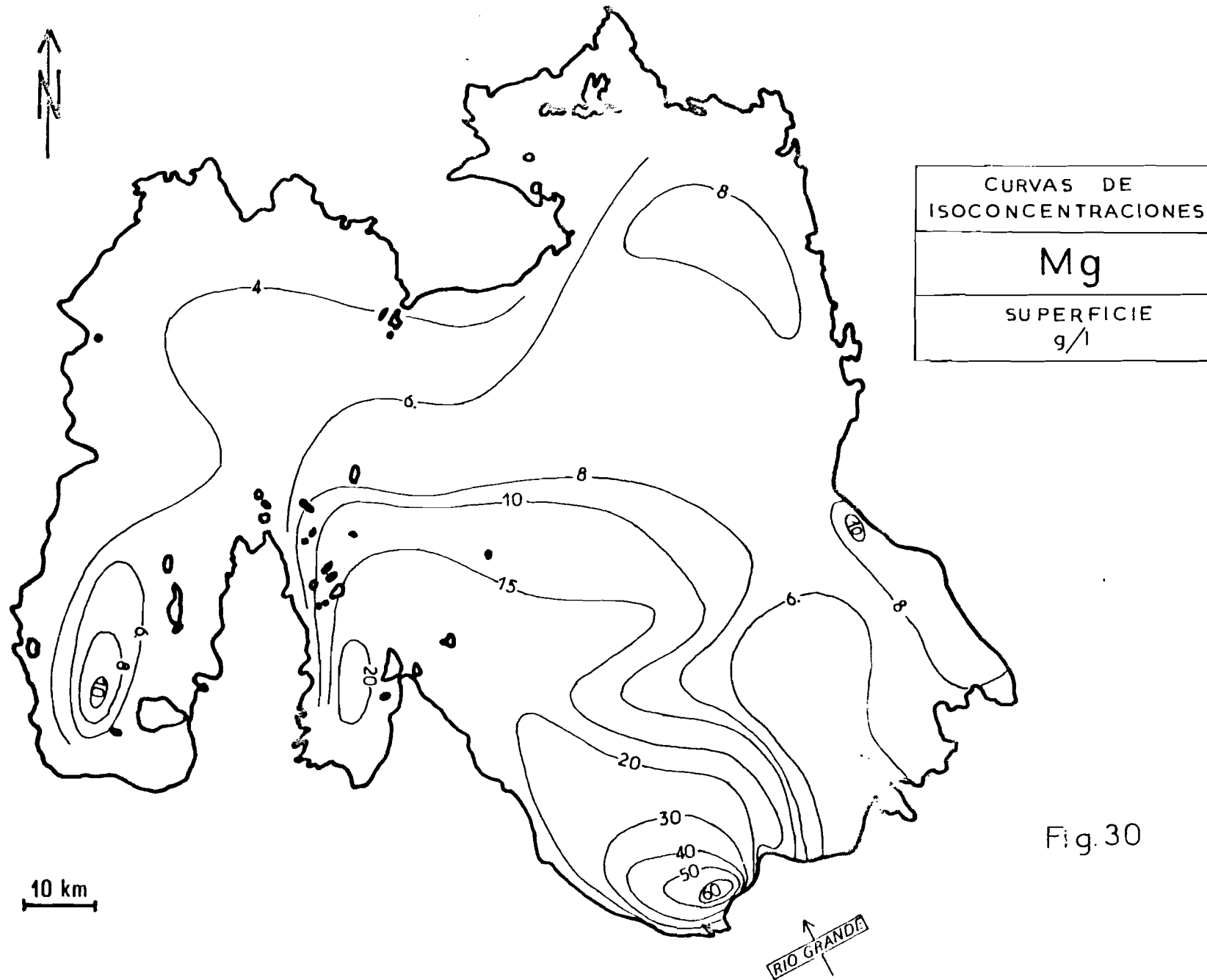


Fig. 30

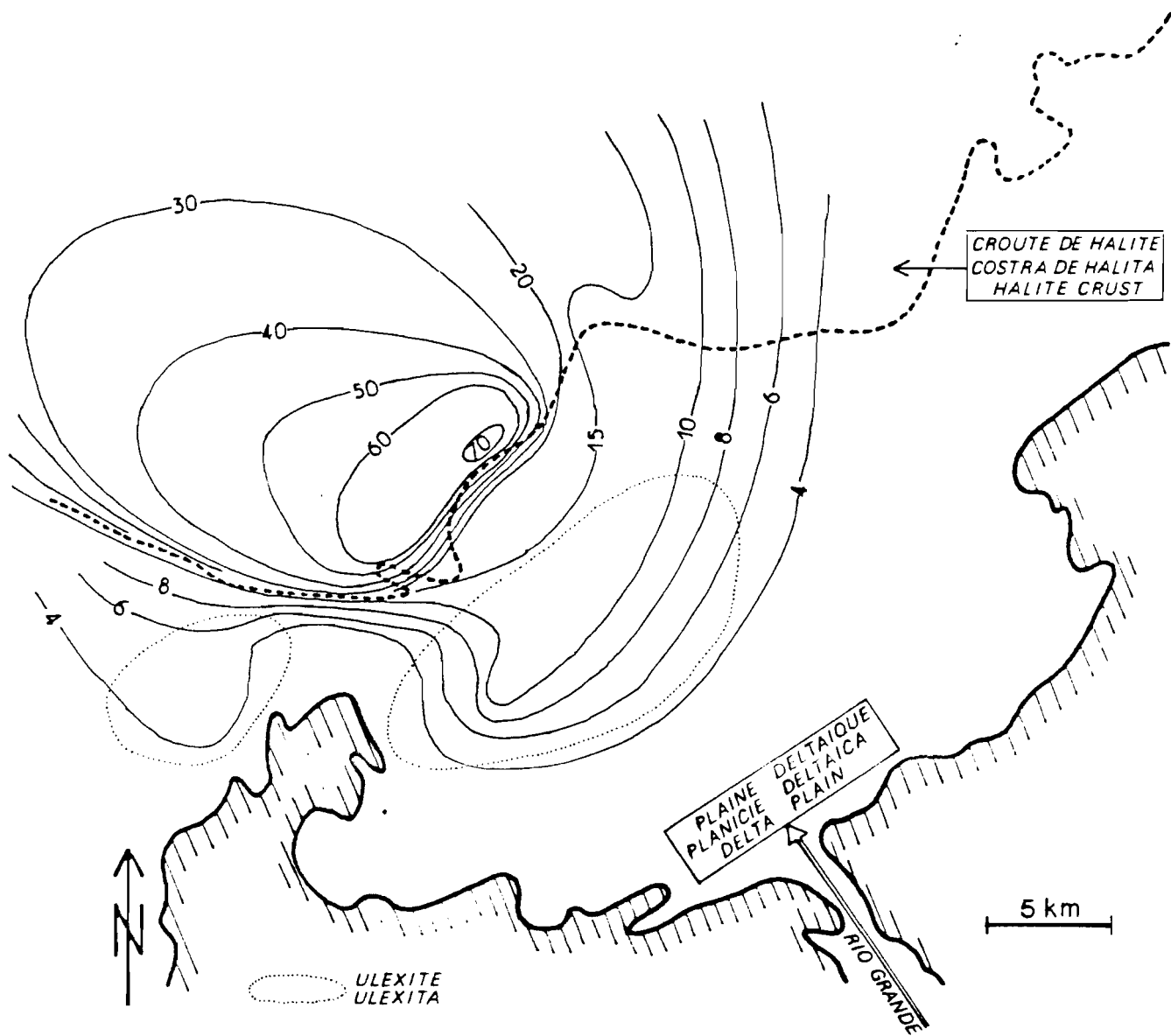


Fig. 31

Mg	CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES SUPERFICIE - g/l ZONA DE RIO GRANDE
----	--

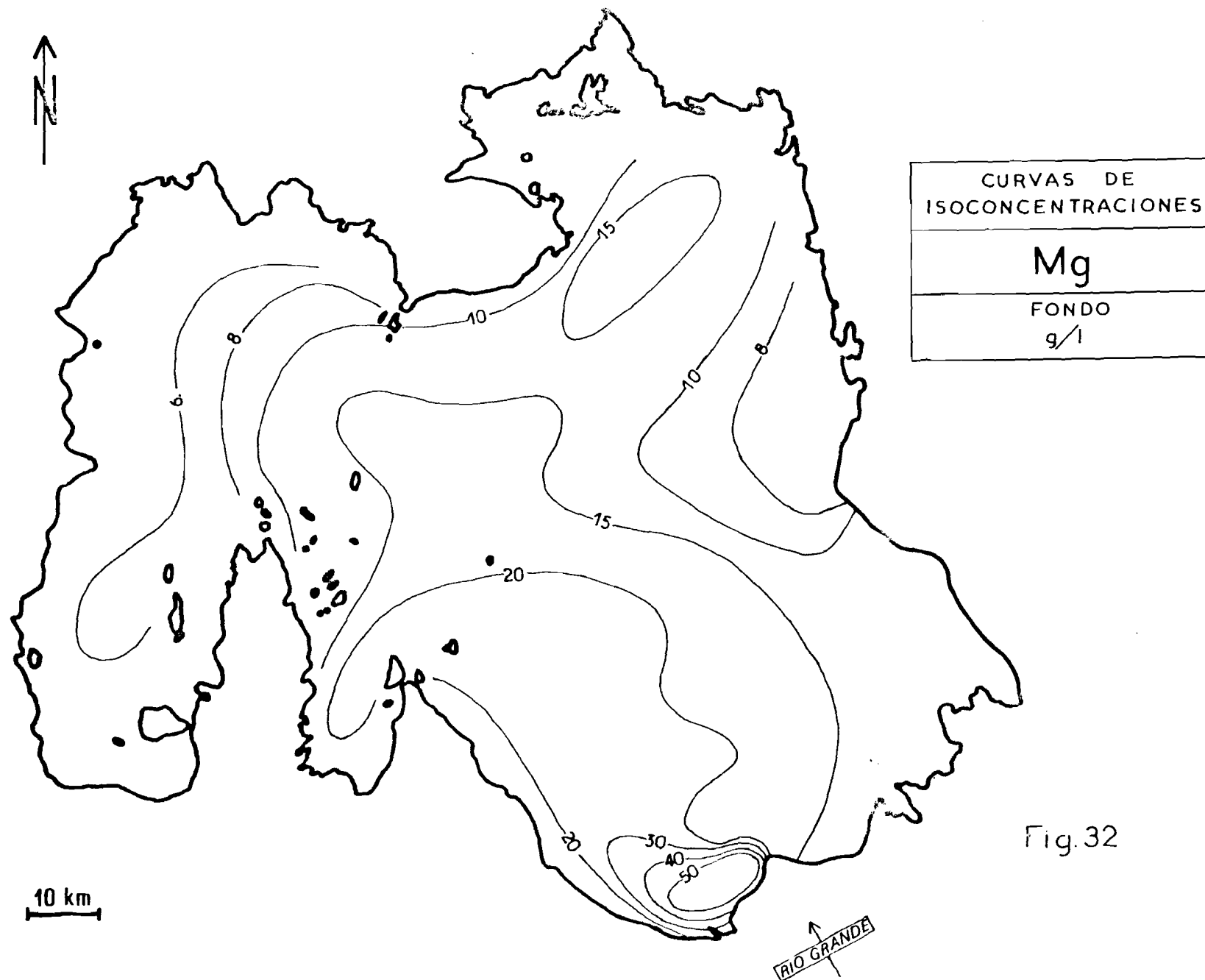
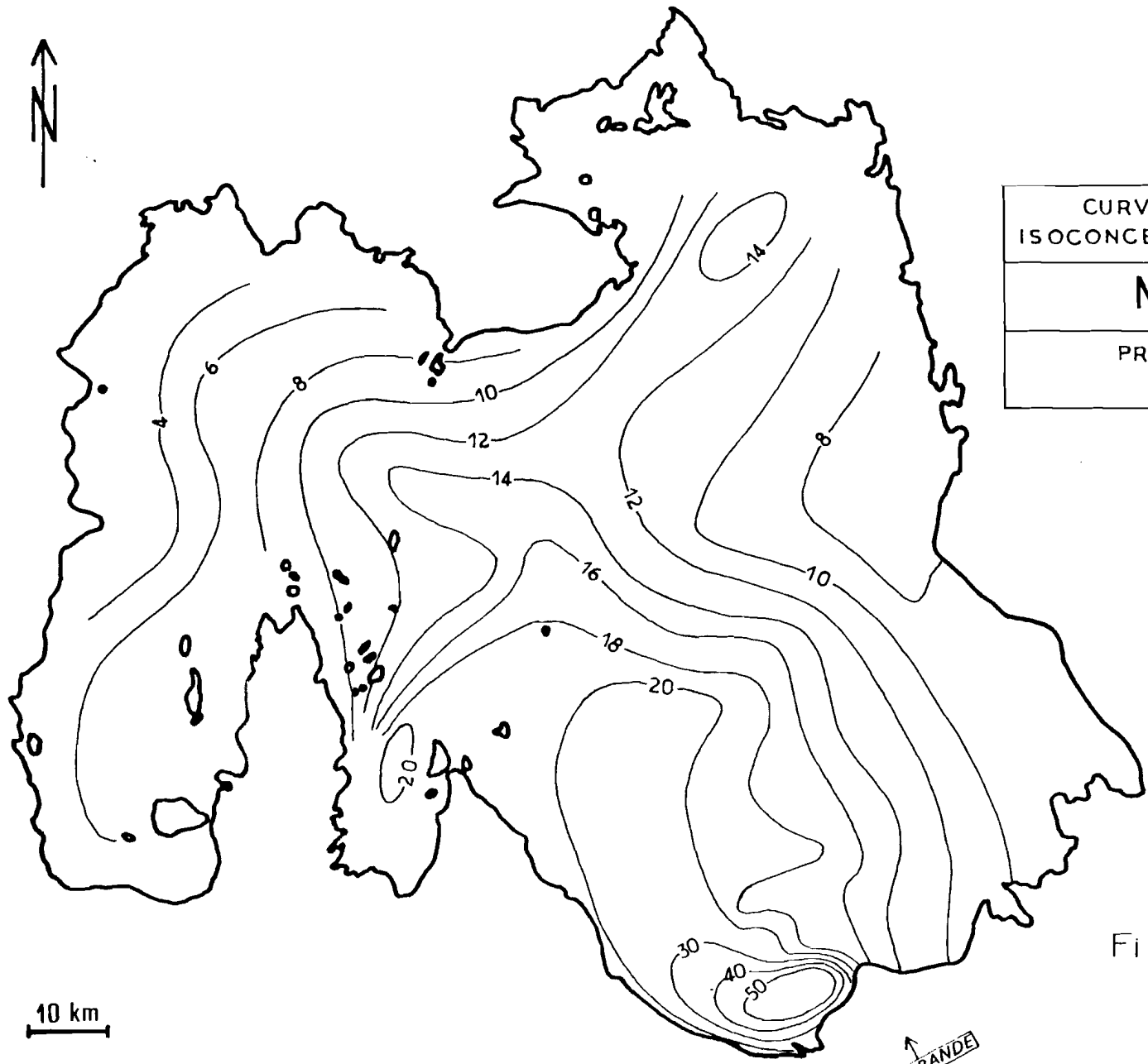
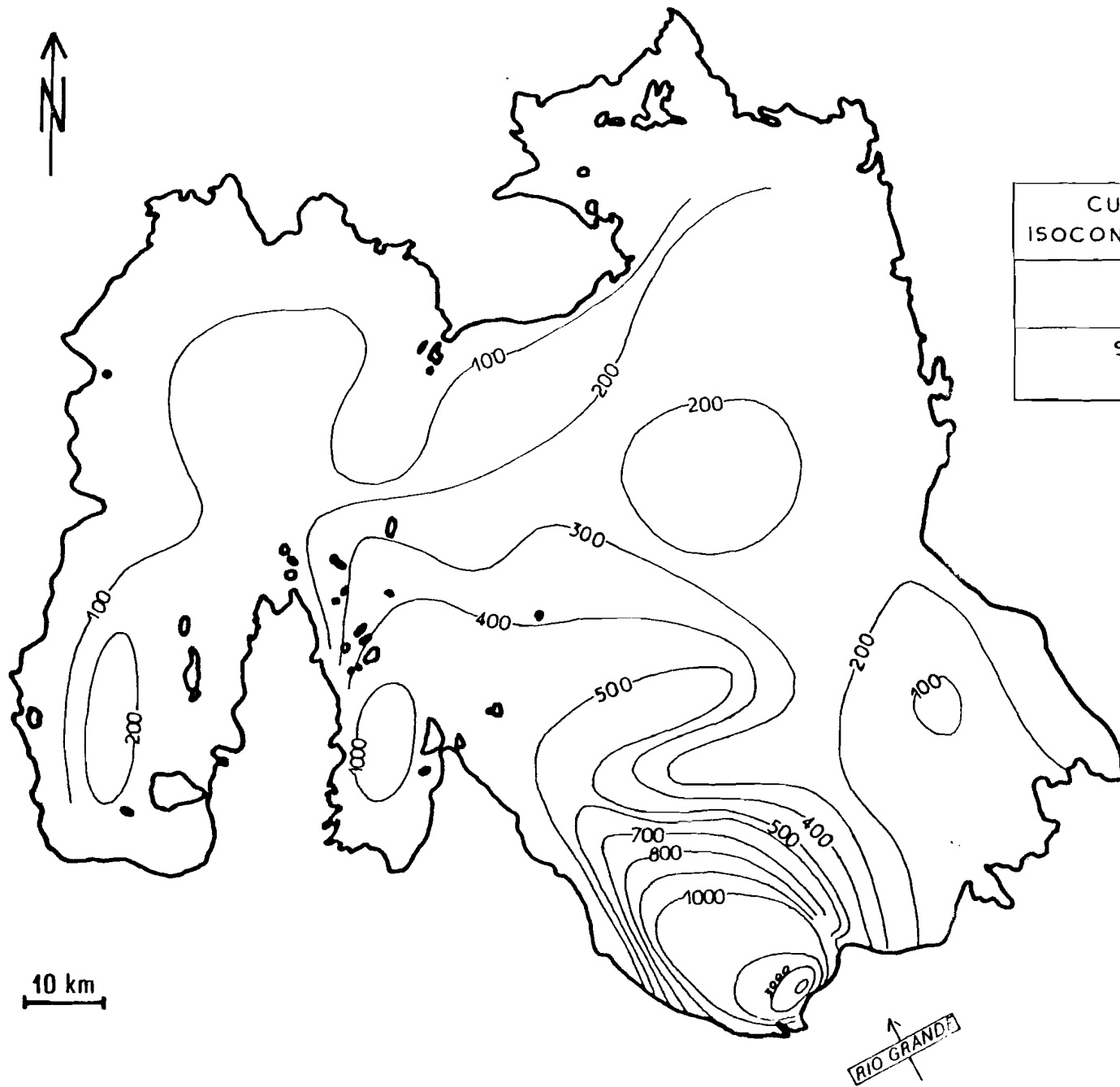


Fig.32



CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES
Mg
PROMEDIO g/l

Fig. 33



CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES
B
SUPERFICIE mg/l

Fig. 34

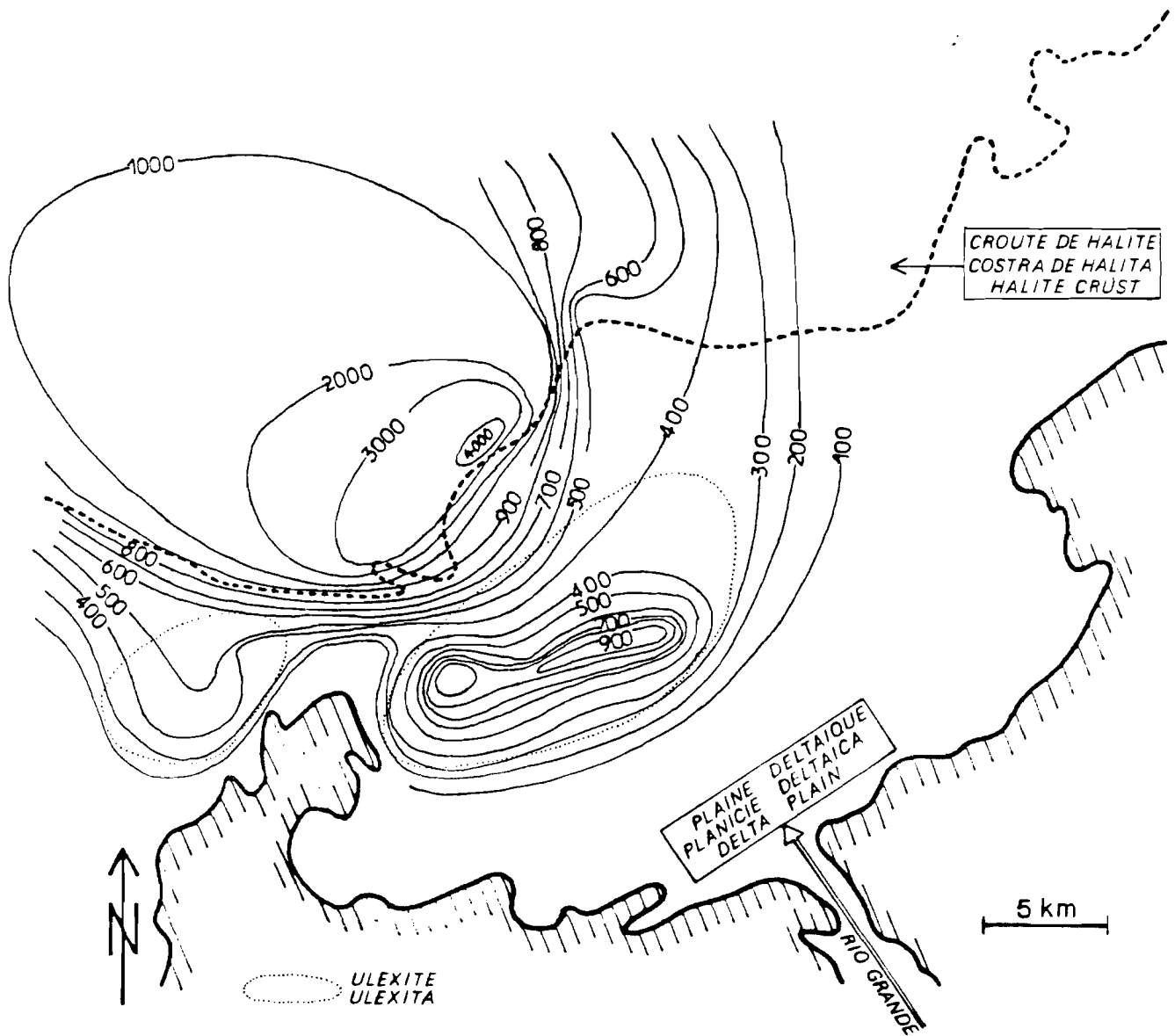


Fig. 35

B	CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES SUPERFICIE - mg/l ZONA DE RIO GRANDE
----------	---

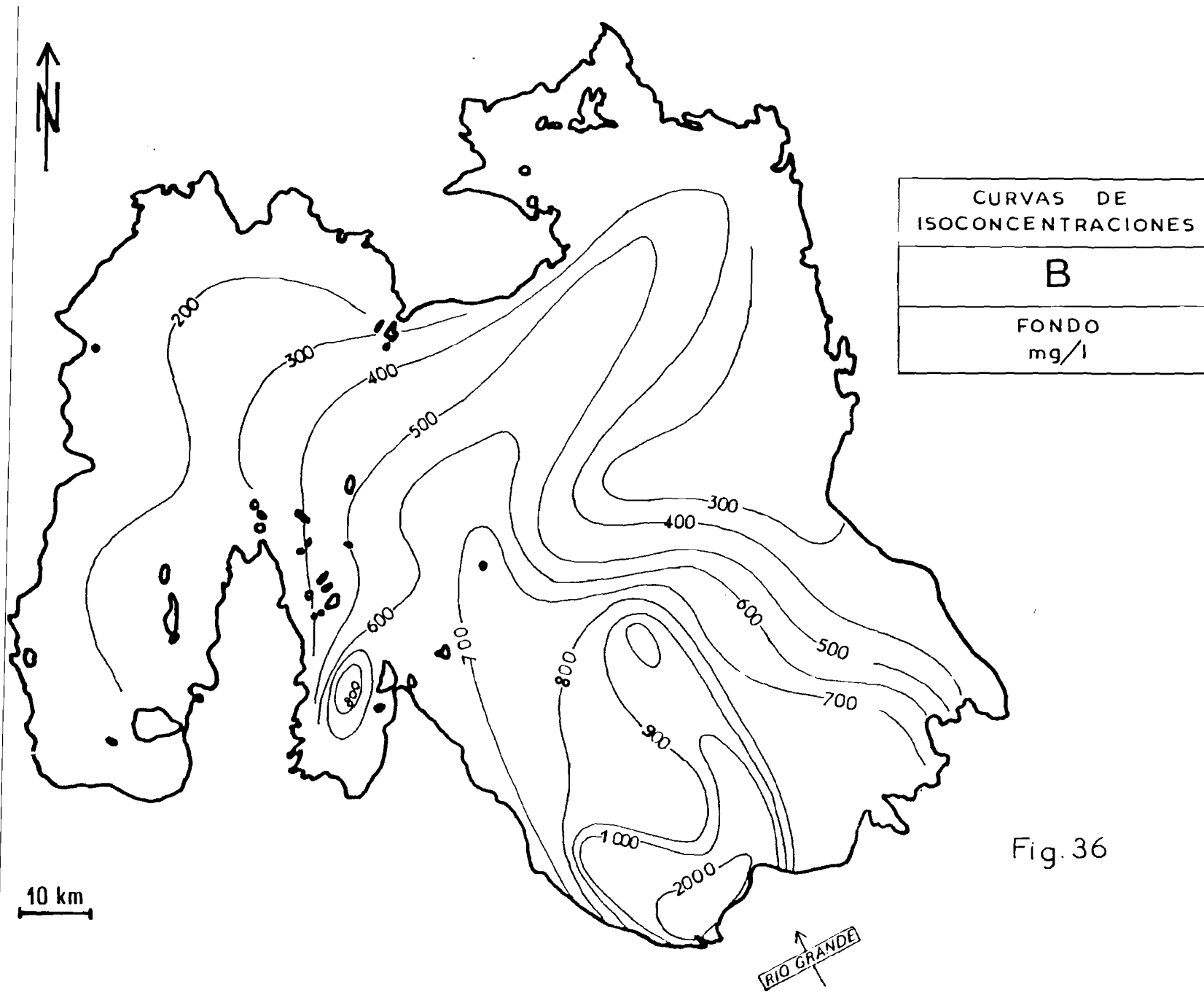


Fig. 36

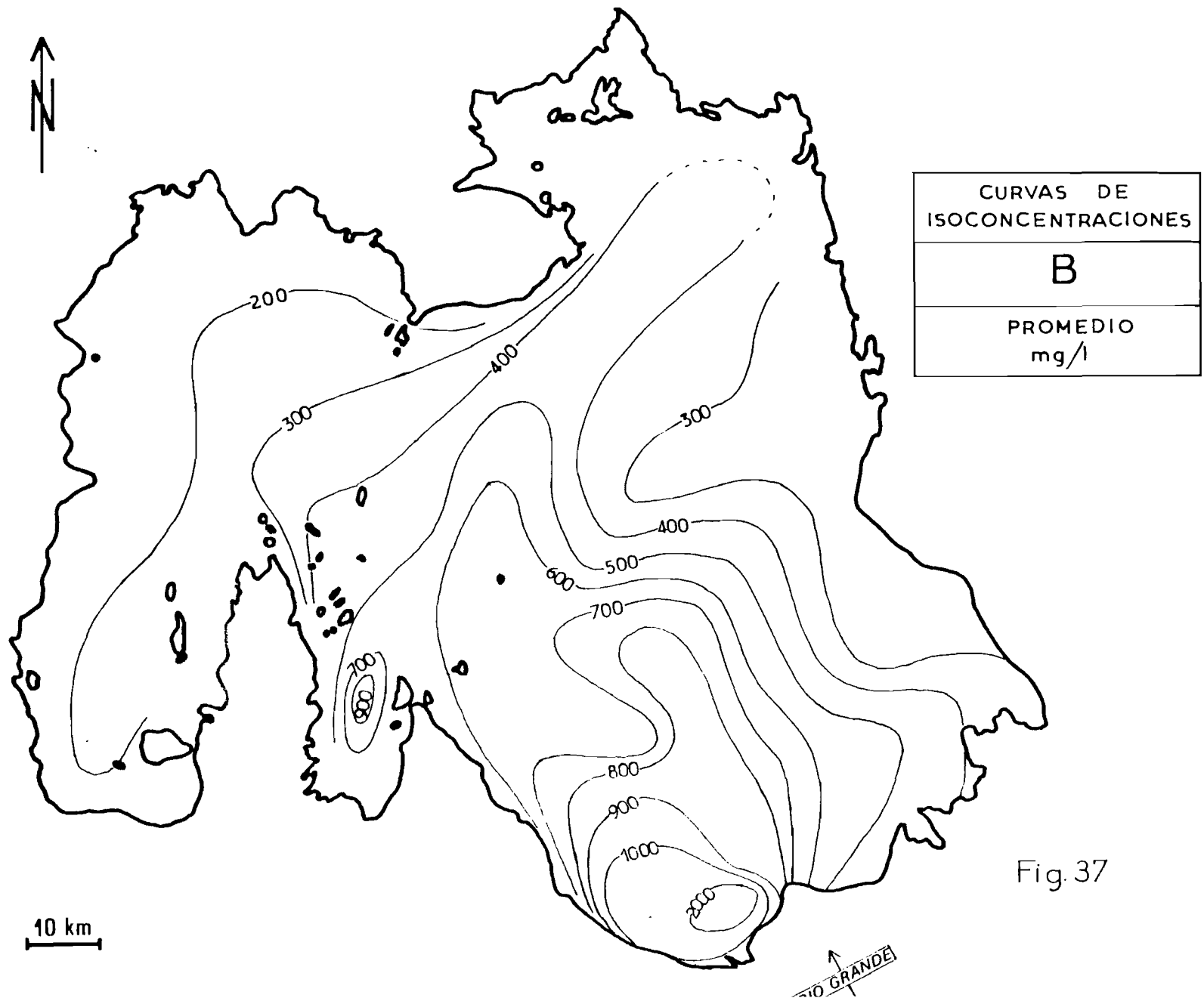


Fig. 37

más concentrada (ver, por ejemplo, los análisis de las salmueras del pozo U2 en el cuadro 2). La figura 38 muestra 3 cortes longitudinales a través de la costra y de las curvas de isoconcentración del litio. Se nota claramente la doble zonación, lateral y vertical. Pero se observa también que la zonación vertical desaparece en las salmueras de la costra más espesa (cortes AB y CD) y en la zona de Río Grande (cortes CD y EF). No podemos explicar esta zonación.

IV. RESERVAS EN SALMUERAS

1) Reservas en todo el salar

Se ha determinado para cada pozo la concentración media de cada elemento. Eso permitió dibujar las curvas de isoconcentración medias (figuras 25, 29, 33, 37). Después se escogió una malla cuadrada, centrada en el pozo UA, de 15 km de lado y de orientación Norte-Sur/Este-Oeste. En cada punto de la malla se ha tomado el espesor de la costra y la concentración media. Haciendo el promedio ponderado de todos los grupos espesor/concentración, se obtuvo la concentración media del elemento considerado para todo el salar. Este valor multiplicado por el volumen de la salmuera ha dado las reservas totales del salar de Uyuni. El cuadro 4 presenta estos valores de reservas. La precisión es la misma que para la porosidad. Las reservas en litio son probablemente las más elevadas del mundo. Las de potasio son también muy importantes.

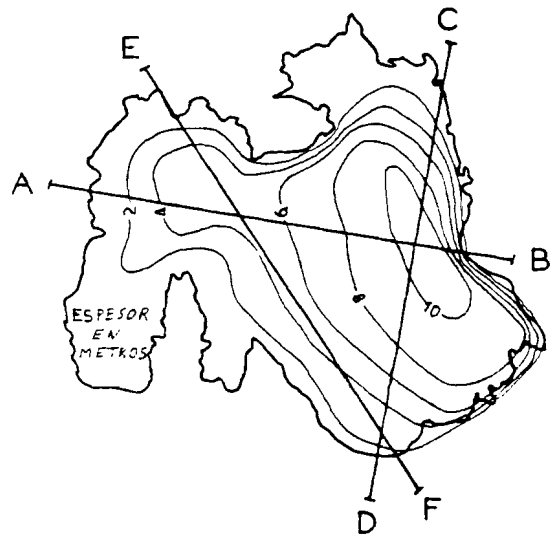
2) Reservas en el Sur del salar

Considerando las altas concentraciones en la zona Sur del salar cerca de Río Grande, y también sus brutales variaciones (ver figura 19) se puede separar la zona que corresponde a esos altos contenidos. La zona considerada es limitada por la curva de isoconcentración media del litio de 1 000 mg/l (ver figura 25). El cuadro 5 da los datos geométricos de esta zona. Hemos calculado las concentraciones medias y las reservas en este sector (cuadro 6).

No hemos tomado en cuenta las salmueras del delta mismo del Río Grande más al Sur, fuera de la costra de sal. No conocemos el espesor de estas salmueras. Es probable que no tengan mucha importancia en comparación con las reservas de las salmueras dentro de la costra de sal.

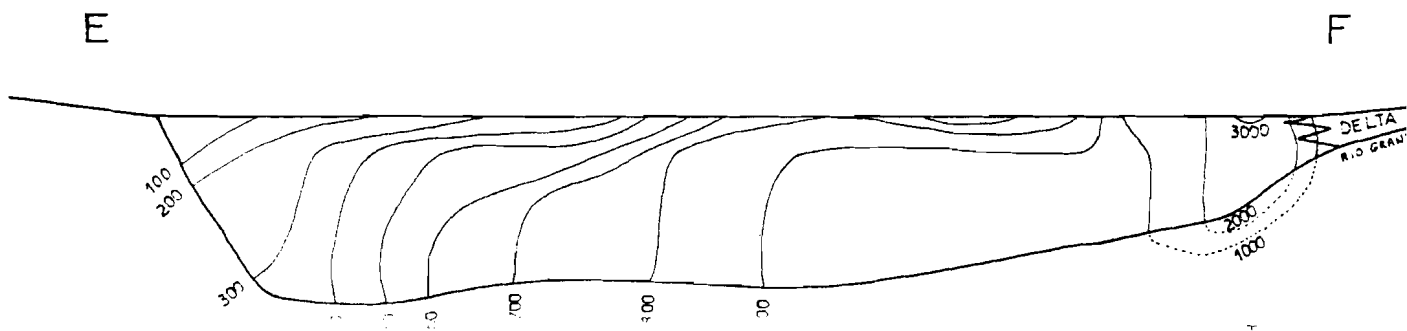
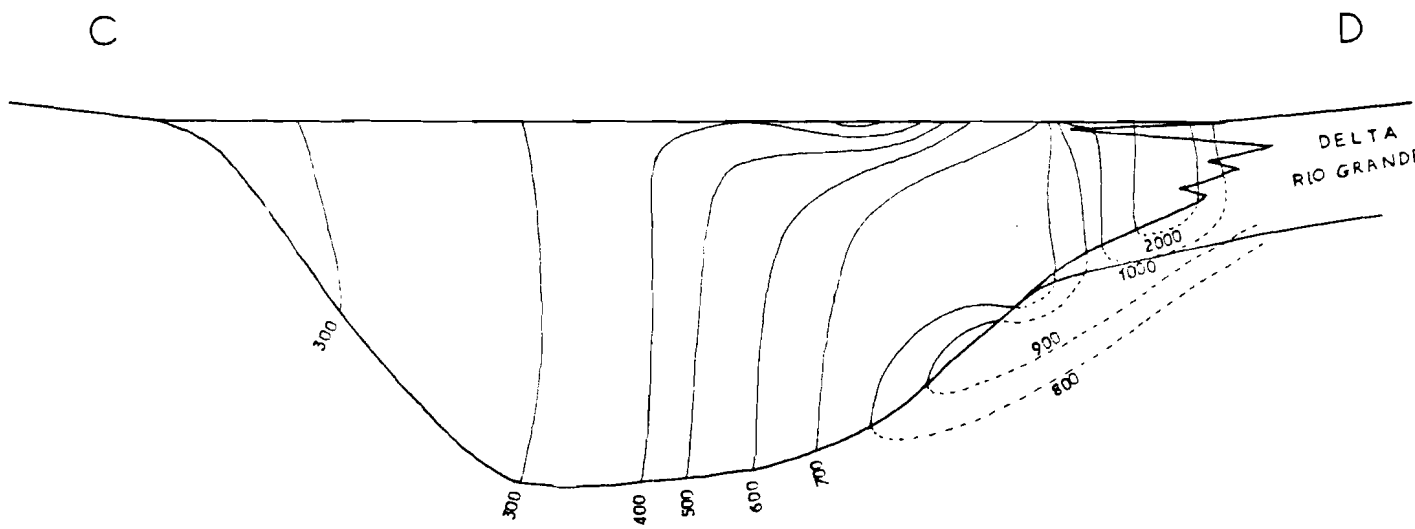
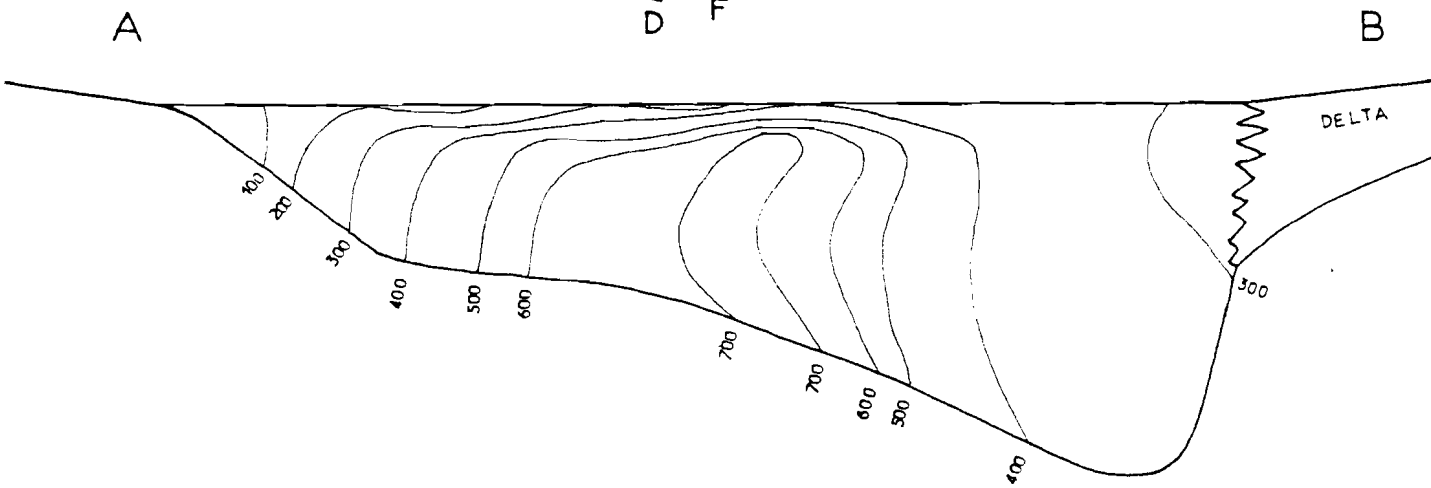
V. ORIGEN DE LAS ALTAS CONCENTRACIONES - RENOVABILIDAD

La acumulación de los elementos justo en la desembocadura del Río Grande hace pensar que han sido traídas por este río durante los 10 000 últimos años (Post-Tauca). Se



CORTES A TRAVES DE LA COSTA SUPERFICIAL CON LAS CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES DEL LITIO (En mg/l)

Fig. 38



Elemento	Concentración media (mg/l)	Reservas en salmueras Millones de toneladas	Precisión
Cl	191 000	3140	± 450
SO ₄	16 900	278	± 40
B	466	7.7	± 1.1
Na	97 300	1600	± 230
K	11 800	194	± 28
Li	542	8.9	± 1.2
Ca	468	7.7	± 1.1
Mg	12 800	211	± 30

Cuadro 4. Reservas totales en las salmueras del
salar de Uyuni.

Superficie.....	276 km ²	
Espesor medio.....	2.5 m	
Volumen total.....	690 x 10 ⁶ m ³	
Porosidad.....	35 %	± 5
Volumen de sal.....	450 x 10 ⁶ m ³	± 60 x 10 ⁶
Volumen de salmuera.....	240 x 10 ⁶ m ³	± 40 x 10 ⁶

Cuadro 5. Medidas, volúmenes y masas de la zona más concentrada al Sur del Salar de Uyuni, cerca de la desembocadura del Río Grande.

Elemento	Concentración (mg/l)	Reservas Zona de Río Grande (toneladas)	Precisión
Cl	200 000	48 000 000	± 7 000 000
SO ₄	30 000	7 200 000	± 1 000 000
B	1 500	360 000	± 50 000
Na	50 000	12 000 000	± 1 700 000
K	20 000	4 800 000	± 700 000
Li	1 800	430 000	± 60 000
Ca	150	36 000	± 5 000
Mg	40 000	9 600 000	± 1 400 000

Cuadro 6. Reservas en las salmueras de la zona más concentrada al sur del Salar de Uyuni, cerca de la desembocadura del Río Grande.

puede estimar órdenes de magnitud de las cantidades de elementos traídos por el río desde la sequía del lago Tauca.

El caudal del Río Grande se estima a $60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (BALLIVIAN y RISACHER, 1981). Según WIRRMANN and DE OLIVEIRA (1987) hubo una fase muy seca durante más o menos 3 000 años (de 7 000 hasta 4 000 años B.P.). Entonces vamos a suponer que durante los otros 7 000 años el caudal del Río Grande era similar al actual. Conociendo la composición de sus aguas (análisis en el cuadro 7) se puede calcular las cantidades traídas desde hace 10 000 años. El cuadro 7 presenta estos valores y también las reservas en las salmueras más concentradas al sur del salar.

Los elementos traídos por el Río Grande pueden precipitar como minerales antes de llegar al salar. Los que no precipitan pueden concentrarse libremente. Efectivamente, los elementos consumidos por minerales (Na, Cl, Ca, SO_4 , B) tienen reservas en salmueras muy inferiores a las cantidades traídas por el Río Grande. Al contrario, los que no forman minerales (Li, K, Mg) tienen valores parecidos. Se puede notar una cierta correlación entre el número de minerales formados y la diferencia entre reservas en salmueras y cantidades traídas. En cuanto al boro, si se suma a las reservas en salmueras (360 000 ton.) las reservas en ulexita (1 600 000 toneladas), se obtiene un valor más cercano de las 1 200 000 toneladas traídas por el Río Grande.

Este pequeño estudio semi-cuantitativo sugiere que las altas concentraciones al sur del salar provienen de la acumulación lenta durante los 10 000 años de los elementos disueltos en las aguas del Río Grande de Lipez.

Una consecuencia directa es la estimación de la renovabilidad del yacimiento si se lo explota. Para que sea renovable, se debería extraer solamente lo que trae el Río Grande, o sea cada año : 50 ton. Li, 860 ton. K, 174 ton. B, 1 900 ton. Mg. Se nota entonces que el yacimiento del sur del salar no es renovable para ningún elemento económicamente interesante.

En cuanto al origen de estos elementos en las aguas del Río Grande, es muy probable que provienen de la alteración meteórica o hidrotermal de las rocas volcánicas de la cuenca de drenaje (RISACHER, 1984). Las concentraciones relativas en Li y B en las aguas termales no son superiores a las que hay en las aguas meteóricas de los vertientes fríos. Eso indica que el termalismo no es el factor dominante para el abastecimiento de estos elementos.

Elemento	Concentración en el Río Grande (mg/l)	Cantidades traídas anualmente por el Río Grande (toneladas)	Aportes por el Río Grande desde hace 10,000 años (toneladas redondeadas)	Reservas en Salmueras del Sur del Salar (toneladas)	Principales Minerales precipitados
Cl	205	12 300	86 000 000	48 000 000	Halita
SO ₄	66	3 960	28 000 000	7 200 000	Yeso - Sulfuros
B	2.9	174	1 200 000	360 000	Ulexita
Na	104	6 240	44 000 000	12 000 000	Halita - Ulexita
K	14.4	864	6 000 000	4 800 000	-
Li	0.84	50	350 000	430 000	-
Ca	44.5	2 670	19 000 000	36 000	Calcita - yeso - ulexita
Mg	31.1	1 866	13 000 000	9 600 000	-

Cuadro 7. Comparación entre las reservas en las salmueras cerca de la desembocadura del Río Grande y las cantidades traídas por el Río Grande desde hace 10,000 años.

EL SONDEO PROFUNDO

- EL POZO UA -

La figura 39 muestra el perfil estratigráfico de este sondeo que llegó a 121 metros de profundidad. Hemos atravesado 12 costras de sales separadas por 11 niveles lacustres que corresponden a igual número de fases lacustres. Todo el perfil está saturado por salmueras intersticiales al igual que en la costra superficial. Las sales y los sedimentos lacustres son muy similares a los que se han descrito en la costra superficial. No parece haber una reducción de la porosidad con la profundidad. Se puede notar que el espesor de las costras aumenta con la profundidad y que, al contrario, el espesor de los niveles lacustres disminuye.

Los análisis de salmueras están dados en el cuadro en anexo. Los perfiles de contenido en Li, K, Mg y B se presentan en la figura 39. Las concentraciones más altas en Li, K, Mg se encuentran en la costra superficial, entre 1 y 6 metros. Las concentraciones en boro son las más altas en las 4 primeras costras (1-22 metros). Se observa una fuerte disminución del contenido en Li, K y Mg entre 8 y 70 metros. Más abajo, donde predomina la sal (70-114 m) las concentraciones son más altas y uniformes. Esta disminución se debe probablemente a neoformaciones arcillosas dentro de los sedimentos lacustres que producen esmectitas con cierto contenido en litio. El perfil de concentración del boro es un poco diferente. No se observa el mismo tipo de disminución a nivel de los sedimentos lacustres.

Todos los datos de reservas que hemos dado anteriormente solamente corresponden a la costra superficial hasta 6 metros de profundidad. Pero en este perfil tenemos 82 metros de sal con salmueras intersticiales recuperables y todavía no sabemos cuantos metros más de sal hay por debajo. Es decir que las reservas en Li, K, Mg, B son mucho más altas que las reservas ya muy importantes de la primera costra.

No se puede ni siquiera dar un orden de magnitud de estas cantidades. En efecto no conocemos la geometría de las costras profundas. Estas probablemente no tienen una forma bien regular. Cada nuevo lago disolvió una parte de la costra depositada por el lago anterior. Pero esta redisolución no redujo el espesor de la costra de manera uniforme. En los lugares profundos y tranquilos pudo ser preservada casi completamente, mientras que cerca de la desembocadura de los ríos esta costra ha debido ser totalmente disuelta. La geometría exacta de todas estas costras intercaladas con sedimentos lacustres debe ser muy compleja. Se necesitarían cientos de pozos profundos para determinar la estratigrafía exacta.

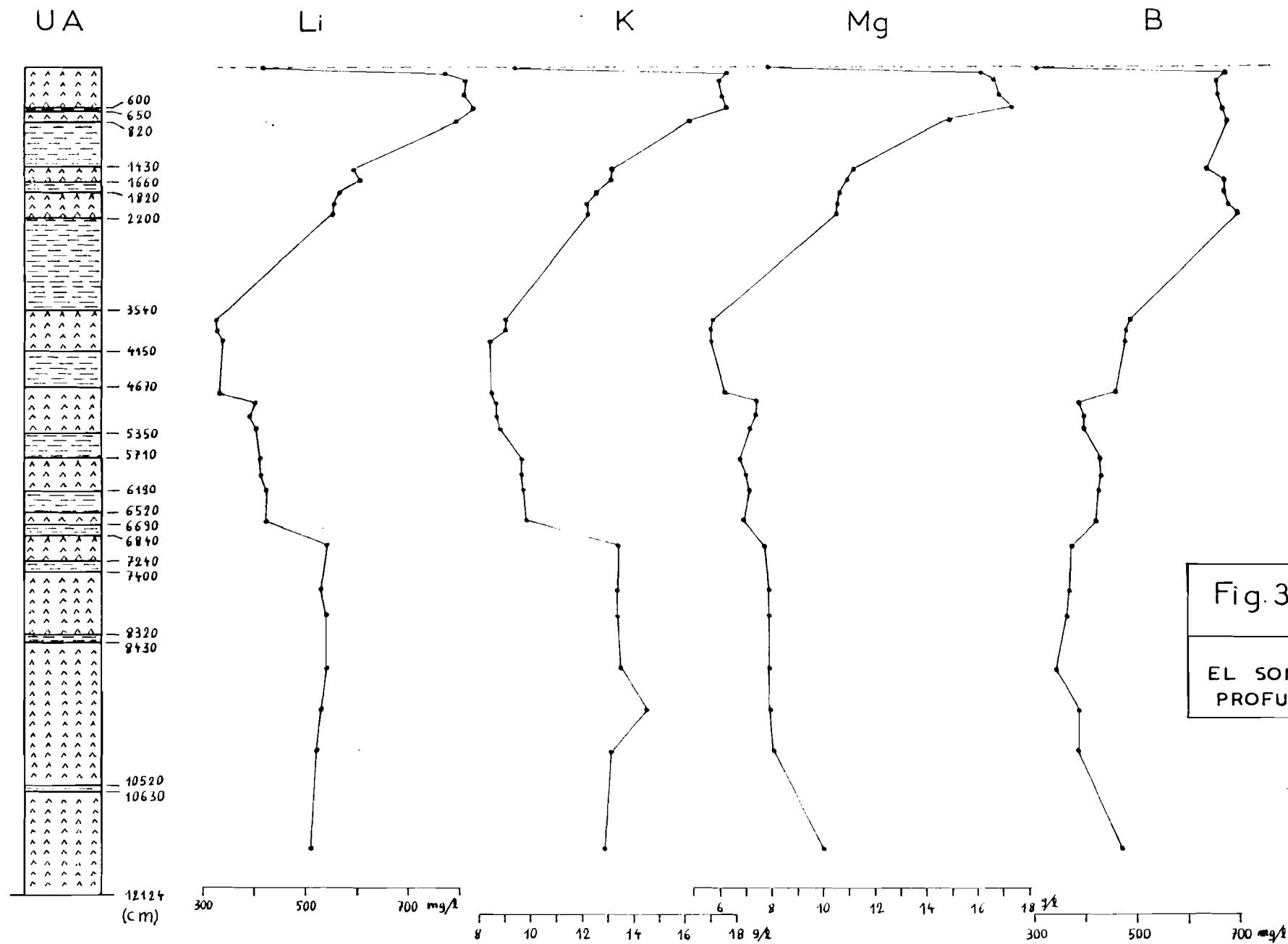


Fig.39
EL SONDEO PROFUNDO

El fuerte espesor de las capas profundas sugiere un origen de la sal por redisolución de evaporitas antiguas en la cuenca de drenaje. Es posible que los diapiros de yeso contenían antes también halita. Esta, muy soluble, se disolvió rápidamente y se acumuló en el fondo de la cuenca. Después cada lago redisolvió una parte de esta sal.

CONCLUSION

El salar de Uyuni contiene reservas enormes, casi inagotables, de litio, potasio, magnesio y boro. Es la primera reserva del mundo en litio (8.9 millones de toneladas solamente en la costra superficial).

La zona más concentrada en estos elementos se encuentra en la costra superficial al Sur del Salar, cerca de la desembocadura del Río Grande. Es una anomalía geoquímica producida por los aportes del Río Grande desde hace 10,000 años. Sin embargo esta rica "veta" no es renovable. Una vez agotada, habrá que explotar salmueras netamente menos concentradas en otros lugares del salar.

ANÁLISIS DE LAS SALMUERAS
EN GRAMOS POR LITRO

NUMERO	DENS	CL	SO4	B	NA	K	LI	CA	MG
UA 15	1.211	190	9.55	.302	107	9.38	.412	.545	7.78
UA 80	1.22	190	23	.67	91.8	17.6	.77	.31	16.1
UA 200	1.226	191	22.4	.656	90.3	17.3	.812	.316	16.6
UA 400	1.226	196	22.5	.658	94.9	17.4	.812	.327	16.8
UA 600	1.228	192	24.4	.669	91.4	17.6	.826	.315	17.3
UA 800	1.236	185	39.7	.674	98.6	16.2	.791	.229	14.9
UA 1500	1.232	185	25.9	.637	102	13.1	.591	.293	11.2
UA 1650	1.23	183	26.7	.67	102	13.1	.603	.279	11
UA 1840	1.232	186	26.9	.688	103	12.5	.567	.291	10.6
UA 2000	1.231	185	26.4	.681	103	12.2	.554	.283	10.5
UA 2150	1.231	190	26.7	.695	105	12.2	.554	.297	10.5
UA 3630	1.217	186	9.98	.486	110	9.07	.327	.485	5.64
UA 3840	1.217	185	10.1	.48	111	9.07	.327	.485	5.61
UA 3990	1.215	184	9.89	.479	110	8.41	.336	.481	5.59
UA 4750	1.213	189	9.29	.458	110	8.56	.33	.662	6.17
UA 4925	1.208	191	5.29	.386	106	8.64	.4	1.22	7.34
UA 5100	1.212	191	5.42	.397	106	8.68	.39	1.23	7.34
UA 5300	1.214	191	5.9	.397	106	8.8	.4	1.14	7.1
UA 5750	1.214	192	6.87	.43	107	9.66	.41	.958	6.76
UA 5950	1.212	191	7.12	.43	107	9.66	.41	.958	6.88
UA 6165	1.213	191	7.1	.427	106	9.74	.42	.93	7.1
UA 6650	1.21	189	7.22	.42	106	9.85	.42	.97	6.85
UA 7035	1.206	200	5.28	.369	104	13.4	.54	1.21	7.68
UA 7650	1.205	195	5.7	.367	104	13.4	.53	1.14	7.78
UA 8050	1.206	195	6.32	.359	106	13.4	.54	1.09	7.85
UA 8800	1.206	195	6.05	.341	105	13.5	.54	1.11	7.92
UA 9400	1.205	195	6.24	.382	104	14.5	.53	1.07	7.97
UA10000	1.206	195	7.22	.384	102	13.1	.52	.978	8.09
UA11438	1.213	190	17.4	.47	103	12.9	.51	.409	10
UB 10	1.247	200	43.9	1.71	57	29.7	1.78	.137	38.4
UB 100	1.242	210	32.8	2.02	36.1	19.4	2.56	.149	51
UB 250	1.246	214	34.3	2.16	28.7	19.4	2.79	.05	55.4
UB 400	1.248	215	34.6	2.2	29.2	19.7	2.83	.05	55.9
UC 5	1.227	194	30.7	1.23	68.3	20.1	1.46	.233	32.3
UC 100	1.22	190	25.6	.844	68.5	19	.888	.268	19.2
UC 250	1.222	192	26.2	.872	68.5	18.6	.868	.269	19.3
UC 400	1.223	191	26.7	.971	69.2	18.8	.881	.269	19.2
UD 10	1.224	197	30.8	1.24	66.2	26.7	1.31	.208	30.6
UD 100	1.22	194	22.6	.865	65.1	21.6	.888	.317	19.9
UD 250	1.222	193	25.3	.865	67.6	20.3	.819	.293	19.2
UD 400	1.223	191	25.4	.872	68.1	20.3	.819	.294	19.3
UE 5	1.228	195	27.7	.988	78.7	22.6	.708	.294	24.5
UE 100	1.224	190	29.4	.872	92	19.3	.708	.269	17.6
UE 250	1.224	190	28.6	.86	92.2	19.3	.708	.269	17.4
UE 400	1.221	189	28.1	.861	92	19.3	.708	.269	17.3
UF 30	1.212	190	10.3	.239	109	7.43	.339	.654	7.39
UF 110	1.211	190	10.7	.233	106	7.51	.339	.618	7.63
UF 550	1.21	191	8.68	.208	112	5.9	.254	.774	5.59

ANALISIS DE LAS SALMUERAS
EN GRAMOS POR LITRO

NUMERO	DENS	CL	SO4	B	NA	K	LI	CA	MG
UF 800	1.211	190	8.37	.208	112	5.63	.242	.786	5.4
UF 1400	1.212	190	9.98	.313	110	6.8	.303	.678	6.59
UG 15	1.209	190	8.2	.171	112	5.79	.254	.834	5.78
UG 95	1.211	191	9.14	.199	110	6.18	.266	.738	6.39
UG 270	1.226	191	22.4	.656	90.3	17.3	.812	.316	16.6
UA 400	1.226	196	22.5	.658	94.9	17.4	.812	.327	16.8
UA 500	1.228	190	11.8	.393	107	7.16	.315	.618	7.8
UH 10	1.212	191	8.96	.236	109	7.19	.315	.75	6.93
UH 100	1.211	190	10.1	.266	107	7.94	.351	.666	7.85
UH 300	1.219	189	18.7	.372	100	10.3	.463	.437	11.5
UH 500	1.22	189	20.3	.397	98.2	10.5	.488	.401	12.1
UH 700	1.223	190	20.7	.406	99.4	10.8	.489	.391	12.1
UH 900	1.222	188	22.2	.423	100	11.2	.513	.367	12.6
UI 15	1.212	190	9.37	.226	109	7.12	.303	.714	6.66
UI 100	1.212	189	9.36	.214	106	6.76	.303	.702	6.63
UI 1000	1.213	189	14.1	.261	106	7.59	.303	.569	7.29
UI 15	1.211	190	8.93	.254	107	7.59	.339	.786	7
UI 100	1.217	191	14.2	.399	100	11	.584	.521	11.1
UI 300	1.218	189	18.1	.437	95.9	12	.56	.437	12.8
UI 700	1.223	187	24.1	.526	94.8	12.4	.575	.391	14.1
UK 10	1.215	191	11	.288	103	8.88	.413	.622	8.82
UK 100	1.223	192	18.7	.458	94.3	14.6	.685	.417	14.7
UK 200	1.228	190	25.1	.453	93.8	14.4	.688	.319	15.6
UK 400	1.229	187	28.5	.441	93.8	24	.688	.295	15.9
UL 20	1.218	194	16	.452	87.6	19.5	.805	.401	17.5
UL 100	1.219	195	16.3	.557	87.9	17.8	.805	.39	17.1
UL 250	1.216	190	18.1	.591	82.8	17.4	.84	.34	18.9
UM 17	1.205	189	7.87	.067	109	7.16	.277	.638	6.42
UM 100	1.216	191	15.1	.319	91.1	12	.559	.425	13.5
UM 400	1.222	187	26	.461	92.5	13.9	.672	.269	16.3
UN 16	1.219	194	19.1	.564	85.6	18	.868	.354	19.1
UN 100	1.22	193	19.3	.592	85.1	19.4	.916	.354	19.4
UN 300	1.225	192	24.8	.718	80.5	19.4	.979	.245	21.7
UO 9	1.208	191	11.6	.25	103	10.8	.471	.533	10.5
UO 100	1.22	190	20	.533	89.2	16.8	.784	.342	17.8
UO 500	1.231	190	36	.893	66.5	18.3	.937	.234	21.8
UP 17	1.218	192	17.1	.487	82.6	16.3	.756	.378	16.7
UP 100	1.22	193	21	.662	78.2	19.4	.93	.305	20.6
UP 500	1.225	193	24	.77	77.3	19	.944	.282	21.3
UQ 17	1.204	190	9.02	.141	111	7.51	.313	.577	7.29
UQ 100	1.208	190	10.9	.233	104	9.46	.399	.533	9.4
UQ 450	1.21	192	11.7	.241	101	9.66	.411	.545	9.96
UQ 800	1.211	190	12.8	.202	98.2	10	.424	.509	10.4
UR 15	1.205	190	8.09	.064	112	5.47	.217	.457	5.69
UR 100	1.207	190	10.8	.101	107	7.98	.314	.565	8.09
UR 450	1.207	188	11.2	.134	106	8.33	.338	.577	8.31
UR 800	1.215	187	19.7	.483	102	11.3	.413	.413	12.5
US 9	1.201	190	8.87	.164	108	6.65	.276	.577	6.34
US 100	1.209	192	10.5	.195	106	7.98	.314	.606	7.63

ANALISIS DE LAS SALMUERAS
EN GRAMOS POR LITRO

NUMERO	DENS	CL	SO4	B	NA	K	LI	CA	MG
US 450	1.216	187	21.6	.494	99.4	12	.389	.401	11.2
US 600	1.224	186	30.3	.786	101	14	.465	.294	13.5
UT 15	1.209	190	10.1	.198	109	7.47	.278	.642	6.83
UT 100	1.203	189	10.2	.197	107	7.35	.277	.626	6.97
UT 400	1.209	190	10.2	.195	106	7.23	.266	.63	6.9
UT 600	1.21	189	13	.245	106	8.8	.327	.533	8.31
UU 20	1.206	188	12.3	.274	106	6.65	.35	.565	10.3
UU 350	1.211	191	11.8	.275	103	7.59	.291	.533	8.97
UU 700	1.214	188	19.2	.328	107	9.58	.316	.388	10.8
UU 10	1.208	191	10.1	.235	110	6.45	.242	.63	6.14
UU 100	1.208	190	10.6	.245	110	6.49	.242	.618	8.02
UU 500	1.208	191	10.7	.226	108	6.37	.242	.618	8.02
UH 22	1.226	200	18.8	1.08	69.9	22.8	1.03	.38	27.7
UH 100	1.228	196	14.2	.879	86.2	16.2	.784	.453	20.9
UX 90	1.226	195	22.6	1.06	72	17.7	1.13	.294	28.9
UX 300	1.228	195	23	1.05	72	17.9	1.18	.307	28.9
UY 15	1.208	191	8.59	.238	111	6.33	.254	.726	7.19
UY 100	1.213	190	11.1	.315	105	8.13	.34	.581	9.55
UY 300	1.22	189	22.2	.65	97.7	12.6	.5	.354	14.5
UY 600	1.216	188	24.8	.713	96.4	13.1	.511	.316	15.3
UZ 12	1.211	191	9.89	.303	101	9.19	.484	.557	8.89
UZ 100	1.218	191	16.3	.557	95.7	12.4	.536	.413	15.1
UZ 450	1.222	192	19.3	.608	92.9	13.4	.599	.354	17.1
UZ 800	1.22	190	19.5	.665	91.1	13.3	.598	.342	17
U1 12	1.215	196	17	.579	92	15.8	.701	.425	16.6
U1 400	1.226	197	29.5	.988	86.5	19.2	.895	.264	21.3
U1 800	1.228	193	31.7	1.04	83.7	19.5	.93	.247	21.6
U2 13	1.212	195	15.9	.48	92.9	14.3	.64	.433	14.5
U2 100	1.219	196	23	.619	92	16.6	.75	.331	17.3
U2 200	1.221	193	25.2	.701	88.3	17.4	.791	.307	17.7
U2 300	1.222	190	27.4	.767	86.5	17.9	.826	.284	18.7
U2 400	1.226	187	33.1	.977	85.6	18.6	.909	.234	20.4
U2 500	1.228	189	34.1	1.02	85.6	18.6	.916	.223	20.5
U2 600	1.228	187	34.1	1.02	85.6	18.4	.895	.223	20.7
YA 17	1.207	192	10.1	.36	102	12.3	.435	.577	9.53
YA 100	1.21	191	13.7	.484	95.9	13.6	.557	.449	12.2
YB 11	1.202	190	5.83	.155	111	4.69	.144	.758	4.37
YB 100	1.208	190	10.2	.3	103	8.92	.338	.581	8.65
YB 500	1.213	189	19.8	.488	93.1	12.9	.534	.364	14.1
YC 12	1.202	191	5.07	.103	112	3.86	.12	.662	3.84
YC 100	1.204	189	8.54	.22	107	6.45	.229	.638	6.66
YC 600	1.207	188	11.7	.253	102	6.02	.314	.529	8.7
YD 9	1.203	191	7.47	.216	107	6.45	.229	.758	6.03
YD 100	1.209	192	14.4	.427	94.6	12.5	.496	.421	12.2
YD 450	1.217	191	20.2	.616	90.2	14.5	.621	.341	15.5
YD 800	1.218	192	22.7	.692	90.2	15.4	.67	.329	16.5
YE 8	1.205	192	6.3	.204	110	5.75	.193	.662	5.3
YE 100	1.213	192	15.2	.438	95.9	12.6	.509	.4	12.4
YE 450	1.247	195	28.1	.791	91.5	16.1	.673	.274	17.2

ANALISIS DE LAS SALMUERAS
EN GRAMOS POR LITRO

NUMERO	DENS	CL	SO4	B	NA	K	LI	CA	MG
YE 800	1.226	191	27.4	.792	89.5	15.8	.661	.269	16.9
YF 23	1.202	192	4.69	.088	113	3.09	.072	1.03	2.97
YF 200	1.203	190	6.24	.143	109	4.65	.144	.854	4.5
YG 15	1.211	191	12	.301	100	10.6	.521	.473	11
YG 100	1.201	191	6.02	.164	112	5.16	.228	.806	4.52
YH 1	1.26	207	44.4	2.03	37.3	26.8	2.46	.1	51
YH 100	1.246	212	29.2	1.95	34	19.9	2.59	.137	53.2
YH 250	1.245	213	29.5	2.05	32.4	19.9	2.59	.087	53.9
YI 8	1.207	192	9.03	.274	105	8.8	.362	.517	8.41
YI 100	1.208	192	9.59	.305	101	9.31	.399	.533	9.33
YI 450	1.209	191	10.1	.321	100	9.93	.411	.509	9.84
YI 800	1.21	191	11.5	.352	95.4	11	.484	.437	11
YJ 17	1.204	193	8.11	.272	110	8.64	.301	.698	6.66
YJ 100	1.211	194	12.8	.428	94.1	12.7	.545	.461	11.8
YJ 400	1.222	189	27.2	.621	88.8	16.1	.743	.257	16.9
YK 1	1.204	191	10.4	.277	105	8.21	.325	.71	7.78
YK 100	1.207	192	11.7	.32	101	10.2	.41	.529	9.87
YK 400	1.216	190	24	.523	93.6	13.9	.584	.304	15.1
YK 700	1.22	189	27	.577	97.5	15.3	.634	.281	16.4
YL 22	1.201	192	6.25	.141	112	4.93	.156	.794	4.37
YL 100	1.209	193	12.8	.325	102	9.58	.375	.485	9.38
YL 400	1.209	191	14.8	.36	100	10.5	.423	.421	10.4
RA 130	1.005	3.38	.6	.021	1.55	.08	.01	.429	.197
RA 180	1.019	12.5	2.4	.032	6.65	.3	.027	1.2	.566
RA 120	1.05	40.1	5.7	.116	19.6	1.8	.149	.846	3.4
RD 160	1.093	79.5	5.12	.25	39.8	3.2	.217	1.95	4.67
RE 100	1.143	129	3.6	.481	61.6	6.14	.575	2.67	8.65
RE 90	1.151	135	5.7	.837	65.1	7.31	.631	1.66	9.43
RE 30	1.164	147	7.65	.546	69.2	7.9	.674	1.25	11.4
RH 10	1.21	190	11.1	.368	97.5	10.5	.538	.565	10.2
RI 15	1.198	171	15.6	.507	81.9	12.4	.736	.457	13.5
RJ 10	1.215	190	12.8	.626	95.7	11	.633	.39	11.4
RK 30	1.151	137	5.1	1.02	62.6	7.82	.701	1.93	10.5
RL 110	1.112	96.6	4.83	.972	45.5	5.01	.417	2.53	6.44
RM 100	1.092	80.2	5.1	.318	37	4.5	.347	2.13	5.78
RN 75	1.149	132	5	.491	79.1	4.5	.359	2.02	3.89
RO 80	1.139	122	7.2	.966	62.6	5.4	.483	1.59	6.73
RO 50	1.098	82	5.99	.137	45.5	2.8	.182	1.96	2.33
RO 70	1.126	110	9.7	.507	62.6	4.5	.272	1.32	5.27
RR 60	1.163	145	7.25	.42	88.1	4.5	.239	1.24	4.13
RS 15	1.273	231	31.4	3.7	12.5	17.6	4.23	.053	69
RT 15	1.272	229	29.5	3.53	14	17.6	4.03	.06	68.8
RU 1	1.243	198	30.9	1.42	66.2	26.4	1.6	.238	27.2
RV 20	1.216	189	13.9	.507	101	11.7	.563	.413	13.4
RH 10	1.224	191	19.8	.623	97.5	15.7	.763	.338	15.1
RX 10	1.269	223	32	3.45	21.3	19.1	3.55	.07	61
RY 95	1.16	138	6.1	.767	63	6.84	.763	1.84	11.7
RZ 1	1.279	253	26.5	4.34	10.7	15.1	4.72	.102	75.3

REFERENCIAS

- AHLFELD, F., 1972 - Geología de Bolivia. Editorial "Los Amigos del Libro", La Paz, 190 p.
- BALLIVIAN, O. y RISACHER, F., 1981 - Los salares del Altiplano Boliviano. Métodos de estudio y estimación económica. ORSTOM, Paris, 246 p.
- CADENA, J. y LAFUENTE, F., 1969 - Prospección general de algunas borateras particulares. Informe GEOBOL GB-M-647, La Paz, Bolivia.
- CRESPO, P., PALMA, H., QUINTANILLA, J. y QUISPE, L., 1987. Tratamiento químico de salmueras del salar de Uyuni. Potosí. ORSTOM en Bolivie, informe n° 7, 122 p.
- ERICKSEN, G.E. and VINE, J.D., 1976 - Preliminary report on the lithium - rich brines at Salar de Uyuni and nearby salars in Southwestern Bolivia. U.S. Geological Survey. Informe inédito.
- ERICKSEN, G.E., VINE, J.D. and BALLON, R., 1978 - Chemical composition and distribution of lithium - rich brines in Salar de Uyuni and nearby salars in Southwestern Bolivia. Energy, vol. 3, p. 355-363.
- FERNANDEZ, A., HORMANN, P.K., KUSSMAUL, S., MEAVE, J., PICHLER, H. and SUBIETA, T., 1973 - First petrologic data on young volcanic rocks of SW-Bolivia. Tschermarks Min. Petr. M.H. 19, p. 149-172.
- MARIACA CARRASCO, J.J., 1985 - Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Poopó y los salares de Uyuni y Coipasa, Bolivia. Tesis de Grado, SENAMHI-PHICAB-ORSTOM, La Paz, Bolivia, 203 p.
- RETTIG, S.L., JONES, B.F. and RISACHER, F., 1980 - Geochemical evolution of brines in the salar of Uyuni, Bolivia. Chem. Geol., 30, p. 57-79.
- RAMIREZ FERNANDEZ, J., 1985 - Evaporación en salares altiplánicos desérticos. Proposición de un modelo de medición, II Región, Chile. Universidad de Antofagasta, Facultad de Ingeniería, Depto. de Ing. en Geomensura, 18 p.
- RISACHER, F. y MIRANDA, J., 1976 - Indicios de interés económico en los salares del Sud Lipez. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia.
- RISACHER, F., MIRANDA, J. y CARLO, L., 1976 - Litio y potasio en las borateras de Río Grande. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia, 8 p.

- RISACHER, F., 1984 - Origine des concentrations extrêmes en bore et en lithium dans les saumures de l'Altiplano bolivien. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 299, Série II, n° 11, p. 701-706, 3 p.
- RISACHER, F. y ARMENDIA, A., 1986 - Primeros sondeos en el salar de Uyuni. Actas del 1er Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia. ORSTOM, La Paz, Bolivia, p. 56-57.
- RISACHER, F., 1987 - Informe preliminar sobre perforaciones en la zona del Salar de Uyuni próxima al Río Grande de Lipez. Informe ORSTOM, La Paz, Bolivia, 6 p.
- RISACHER, F., 1988 - Ultimos datos sobre el Salar de Uyuni. Recursos económicos y origen de las concentraciones en Li, K, Mg, B. Actas del Segundo Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia. ORSTOM, La Paz, Bolivia, p. 19-26.
- SERVANT, M. et FONTES, J. Ch., 1978 - Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. Cah. ORSTOM, sér. Géologie, Vol. X, n° 1, p. 9-23.
- VACHER, J. et al., 1988 - Agroclimatología del Altiplano Boliviano. Informe final, tomo 1. ORSTOM en Bolivie, Informe 5, La Paz, Bolivia, 163 p.
- WIRRMANN, D. and DE OLIVEIRA ALMEIDA, L.F., 1987 - Low Holocene level (7700 to 3650 years ago) of Lake Titicaca (Bolivia). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 59, p. 315-323.