



NECESIDAD DE UNA EVALUACION INTEGRAL
DE LOS RECURSOS Y CONSUMOS
DE AGUA EN CHILE

TRABAJO PRESENTADO EN LA PRIMERA ETAPA DE LA
JORNADA DE TRABAJO PROFESIONAL

" LA PLANIFICACION DEL USO DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS
DE CHILE"

AUTOR PRINCIPAL : FERNANDO ALAMOS C.

COLABORADORES : Andrés Benítez G.
Carlos Andreanni L.
Francisco Verni M.
Fernando Peralta T.
Eduardo Ramírez G.
Andrés Infante A.
Enrique Vallejos S.

20 al 24 de Septiembre, 1971

Santiago, Chile

Publicación N° 71/12/C

"NECESIDAD DE UNA EVALUACION INTEGRAL
DE LOS RECURSOS Y CONSUMOS
DE AGUA EN CHILE"

T E M A R I O

1. INTRODUCCION	1
2. NECESIDAD DE EVALUAR LOS RECURSOS HIDRAULICOS	
2.1 Precipitación	4
2.2 Hidrología Superficial	14
2.3 Agua Subterránea	35
2.4 Calidad de las Aguas	47
2.5 Factores Climáticos	56
2.6 Evaporación e Infiltración	60
2.7 Recursos Hidráulicos no Explotados	63
3. NECESIDAD DE EVALUAR LOS CONSUMOS HIDRAULICOS	68
3.1 Regadío	69
3.2 Urbanos	72
3.3 Industriales y Mineros	74
3.4 Hidroelectricidad	75
4. RECUPERACION Y REUSO DEL AGUA	77
5. CONCLUSIONES	89

oooooooooooooooooooo

1.- INTRODUCCION

1.1 AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la decidida cooperación que han tenido los Ingenieros Andrés Benítez, Carlos Andreanni y Francisco Verni de ENDESA, como también de Eduardo Ramírez, Andrés Infante, Fernando Peralta y Enrique Vallejos de CORFO, quienes gracias a su dedicación han permitido la redacción y publicación de este artículo. Agradezco el valioso aporte de dibujantes y secretarias, parte indispensable en todo trabajo.

El aporte hecho por los profesionales antes nombrados es de especial importancia si se considera que en este trabajo se tratan varias especialidades de la hidrología a la cual ellos pertenecen y que el autor sólo las conoce en su calidad de Jefe del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, Departamento dedicado fundamentalmente a la evaluación de los Recursos Hidráulicos y que por lo tanto requiere de datos hidrológicos como elementos básicos de apoyo.

Como Uds. podrán observar en la exposición que haré existen datos hidrológicos y publicaciones en ciertos aspectos y en otros aspectos la carencia de datos es casi absoluta; si he omitido algo, ruego disculpar, pues como podrán observar de este trabajo se desprende, entre otras cosas, la importancia de que una Institución Nacional con plenos poderes y atribuciones se dedique a recopilar, procesar y publicar antecedentes hidrológicos. Si ésto hubiere ocurrido en años anteriores, el Jefe de esa Oficina debió haber dado esta charla y con más y mejores antecedentes que los que puedo mostrarles.

1.2 ANTECEDENTES GENERALES

La ingeniería de nuestro país comenzó a abordar con mayor inquietud el problema de la planificación integral del agua sólo en el curso del último decenio. Puede decirse que incluso hasta el momento actual, la mayor parte de los proyectos relacionados con el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, ha sido enfocado en forma sectorial, proyectándose, construyéndose y explotándose las obras con el exclusivo objeto de lograr

satisfacer el uso que se estudia. Esta forma de enfocar el problema del aprovechamiento de las aguas si bien no es justificable en su totalidad, sus efectos no fueron determinantes, debido a la superioridad de los recursos frente a los consumos.

Sin embargo, en estos últimos años ha comenzado a tomarse conciencia de la importancia de una adecuada planificación del recurso hídrico. Como una base para la planificación, fué la labor coordinada de la Dirección de Riego, ENDESA y Oficina Meteorológica en el Proyecto Hidrometeorológico auspiciado por las Naciones Unidas. La formulación del Instituto de Ingenieros de Chile, de una Política Nacional de Riego, ha sido otro paso de importancia en este aspecto. Por último, esta jornada de trabajo viene a reafirmar el interés del sector de la ingeniería por llegar a formular una adecuada planificación de los recursos hídricos de nuestro país.

El presente trabajo no tiene otro objeto que el aportar un antecedente más que lleve a una correcta planificación, para lo cual en los capítulos siguientes se tratará de analizar el estado actual de la evaluación de los recursos y consumos de agua que el país ha realizado y actualmente realiza, como así también el señalar algunas recomendaciones que lleven a mejorar el sistema existente y a completarlo con aquellas áreas, especialmente las de usos y nuevas tecnologías que hoy día no se están estudiando.

Para llevar adelante una Planificación del uso de los recursos hídricos, es fundamental conocer por una parte el recurso en sí mismo y por otra evaluar a través de metodologías adecuadas las demandas actuales y proyectadas.

La evaluación de recursos hídricos se diferencia de la de otros recursos económicos o naturales en que las cantidades o disponibilidades de agua están ligadas en el tiempo a la ley fortuita del azar. En consecuencia, su correcta evaluación sólo puede ser obtenida por mediciones adecuadas efectuadas en largos períodos de tiempo. Sólo así es posible lograr la funcionalidad entre las magnitudes y su probabilidad de ocurrencia.

La medición de recursos se está realizando en nuestro país en forma sectorial por diversas instituciones que hacen uso del recurso. Se puede señalar que la mayor parte de las mediciones en el aspecto fluvio-métrico son efectuadas fundamentalmente por la Dirección de Riego ó de Aguas y la ENDESA y en el aspecto meteorológico a las dos instituciones señaladas se agrega con gran importancia la Oficina Meteorológica de Chile.

En aguas subterráneas es la CORFO el único organismo estatal que ha efectuado catastros y mediciones, publicando periódicamente sus datos; en este caso CORFO no ha actuado en forma sectorial dado que no es un usuario.

Los factores climáticos son medidos por las mismas instituciones que miden la precipitación a las cuales se han agregado las instituciones dependientes del sector agrícola.

En cuanto a la calidad de las aguas, éstas están siendo observadas en el aspecto sanitario por los organismos de la salud y en sus características físico-químicas, además de los aspectos sanitarios, por CORFO, también efectúan mediciones la D.O.S. del M.O.P.T. y el Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura.

De acuerdo a lo que se señala en el capítulo siguiente, el país dispone en alguna de las hoyas hidrográficas de importancia, de las instalaciones de medición y estadísticas suficientes para iniciar la evaluación integral de los recursos hidráulicos. Un aspecto importante que será necesario analizar es la calidad de la información básica existente.

Por otra parte, la evaluación de los consumos y demandas futuras se encontraría en una etapa de mayor atraso que la determinación de recursos, puesto que el país no dispone de mediciones experimentales sistemáticas o estadísticas que permitan fijar políticas integrales, y la elaboración de metodologías sólo se ha puesto en la mesa de discusión, después de la publicación de Nathaniel Wollman.

En los capítulos siguientes, se pretende dar tanto un enfoque a la situación actual como a las perspectivas futuras en la evaluación y uso del recurso.

2.1 PRECIPITACION

2.1.1 Pluviometría en Chile

2.1.1.1 Antecedentes Generales y Necesidad de una Codificación

El control de una de las variables que integran el ciclo hidrológico, tal como las precipitaciones de lluvia, ha sido preocupación desde muy remoto en el hombre. Los chilenos no hemos escapado a esta inquietud; en efecto, desde 1812, existen registros en Santiago si no de la cuantía del fenómeno, al menos de su frecuencia, indicándose los días de lluvias en el año. Sin embargo, en 1849, se comienza a medir las precipitaciones en Santiago mediante el primer modelo de pluviómetro, oficial para esa época, el que registró lluvias hasta 1852. Pero desde 1866 se establece el registro continuo más importante del país, el que se mantiene en forma ininterrumpida por más de 104 años en el recinto de la Oficina Meteorológica de la FACH de la Quinta Normal. Desde entonces, la instalación y control de estaciones se ha visto incrementado en forma prácticamente sostenida, totalizándose en 1968 un máximo de 525 estaciones pluviométricas bajo control simultáneo. (Fig. N° 1).

Sin embargo, este aumento del control pluviométrico no ha sido acompañado de un adecuado sistema de clasificación y archivo que permita en forma ágil la individualización de las estaciones, como asimismo, determinar el período de control de cada una de ellas. Este problema obedece fundamentalmente a que son varios los organismos que se dedican a medir la lluvia sin que exista una política dirigida que encauce el control y archivo de los antecedentes pluviométricos mediante una codificación nacional de estaciones.

CORFO, al igual que otros organismos, conciente de la necesidad de una centralización, y codificación no tan sólo de los antecedentes pluviométricos sino que de todas las variables hidrológicas que a diario se miden, llevó a cabo la edición del "Mapa Hidrográfico" con el objeto de establecer una base para la clasificación de estaciones.

El país ha sido dividido en el Mapa mencionado en 10 zonas, incluyendo cada una de ellas un número de divisiones hidrográficas clasificadas cada una de ellas de acuerdo al origen y destino de sus aguas, en 7 categorías:

Divisiones Costaneras (101-143)
Divisiones Pre-Andinas (201-217)
Divisiones Andinas (301-318)
Divisiones Trasandinas (401-410)
Divisiones con Aporte al Extranjero (501-515)
Divisiones Cerradas (601-631)
Divisiones de Islas (701-710)

Las zonas de Norte a Sur cubren las siguientes áreas:

- Zona 1 : Desde la línea de la Concordia hasta el límite inferior de la hoya del río Loa.
- Zona 2 : Abarca desde el límite anterior hasta el borde Norte de la hoya del Copiapó.
- Zona 3 : Cubre desde el límite del Copiapó hasta el borde Norte de la hoya del Aconcagua.
- Zona 4 : Incluye las hovas del Aconcagua y Maipo y la división costanera comprendida entre ellos.
- Zona 5 : Rapel Mataquito y la división costanera comprendida.
- Zona 6 : Maule e Itata y las divisiones costaneras.
- Zona 7 : Bío Bío y Toltén y las divisiones costaneras.
- Zona 8 : Abarca del límite Norte del Valdivia hasta el seno de Reloncaví y el límite Norte de la hoya del Puelo.
- Zona 9 : Desde el límite Sur de la Zona 8 hasta el Estrecho de Magallanes.
- Zona 0 : Comprende el territorio nacional al Sur del Estrecho de Magallanes.

Sobre la base de esta división zonal del país, se plantea en este trabajo un análisis de la situación pluviométrica.

2.1.1.2 Instalación de estaciones a través del tiempo

De acuerdo a la Figura 1 que indica el control anual de estaciones en el país, puede observarse que el número de ellas, anterior a 1910, no superaba las 30 estaciones. A partir de esa fecha, se nota un

incremento importante hasta 1946 en las instalaciones, a razón de 10 estaciones por año, alcanzándose una cifra de 380 estaciones; luego de un período de estancamiento, se aprecia un abandono en el control de 7 estaciones anualmente hasta descender en 1956 hasta 315 estaciones. Desde 1962 el auge en el control e instalaciones cobra un ritmo acelerado, alcanzándose un aumento de 85 estaciones anuales hasta llegar al máximo de 525 estaciones bajo control en 1966, período del proyecto hidrometeorológico, fecha a partir de la cual nuevamente se manifiesta un descenso que en 1969 refleja la pérdida de control de 55 estaciones en el país. Este hecho debe preocupar si tal baja no obedece a una supresión planificada con miras a eliminar estaciones mal ubicadas o en zonas de alta densidad.

Sin embargo, de ser así, se debería emprender simultáneamente con la supresión, la instalación de estos equipos en zonas desprovistas de información pluviométrica, pues puede afirmarse que en el país existen 56 hoyas hidrográficas sin ningún antecedente de lluvia. De estas, 38 se ubican al Norte del río Copiapó. En contraposición con lo anterior, la hoya del Maipo dispone de un total de 78 estaciones con registros de lluvias, aunque no todas en funciones actualmente.

El análisis por zonas del total de estaciones bajo control en las figuras 2 y 3 revelan el escaso número de estaciones al Norte del Copiapó (zonas 1 y 2), al igual que en el extremo Sur (Zonas 9 y 0).

2.1.2.3 Análisis de la situación actual:

Los organismos que han centralizado en mayor medida el control de estaciones pluviométricas en el país corresponden a la Oficina Meteorológica de Chile, la Dirección General de Aguas y ENDESA, destacándose la 1a. de ellas por la trascendencia histórica de su gestión, existen otras instituciones que controlan estaciones, tales como el Servicio Agrícola y Ganadero, la D.O.S. y las Universidades pero su total no es significativo frente a los 3 mencionados anteriormente. Existe también un alto porcentaje de particulares que llevan en la actualidad registros pluviométricos los que son canalizados a través de la Oficina Meteorológica. La situación porcentual de instituciones que controlan la pluviometría hasta 1969 era la siguiente:

ENDESA el 14.1%	La D.G.A. el 30,4%	La OMC y partic. el 44.7%
S.A.G. el 2.8%	La D.O.S. el 6.8%	E.A.P. : 1.1% sobre un total de 469 estaciones a lo largo del país.

En base a las curvas de las figuras 4 y 5 que indican la longitud de los registros por zonas y el Cuadro Resumen adjunto, puede concluirse que en las zonas 1 y 2 los registros son cortos, es decir, desde la línea de la Concordia hasta el límite superior de la hoya del Copiapó, sólo un 25% de las estaciones tienen un registro superior a los 10 años. Por otra parte en esta zona no existen estaciones con un registro superior a los 80 años, como asimismo en la zona 5 (Rapel Mataquito) no hay estaciones con más de 70 años de observación. En el país, en general, el registro mayor no supera los 110 años de observación y sólo las estaciones La Serena y Santiago tienen más de 100 años de control.

La figura 6 resume la situación de duración de los registros para todas las estaciones que integran el Catastro de 1968 confeccionado por CORFO. Si se considera que el total de estaciones de dicho catastro suman 852, el 58.6% de ellas dispone de más de 10 años de observación y un 23.6% más de 30 años.

En el cuadro que sigue se dá un resumen de los porcentajes de estaciones por zonas, que disponen de un registro mayor o igual a un cierto período de años:

Z O N A S

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	TOTAL
10	24.7	24.8	59.2	60.8	66	61.2	66	57.2	54.6	89.1	58.6
20	17.1	18.6	39.3	41.6	42	32.4	45.7	37.4	25.2	19.8	36.0
30	7.6	18.6	19.4	25.6	28.4	24.0	31.5	24.2	21.0	19.8	23.6
40	5.7	18.6	10.2	18.4	20.0	15.6	25.5	15.4	11.2	19.8	16.1
50	3.8	6.2	6.3	6.4	10.5	12.0	16.5	6.6	9.8	19.8	9.3
60	3.8	6.2	2.3	1.6	2.1	4.8	3.0	3.3	4.2	0.0	2.9
70	1.9	6.2	1.7	1.6	0.0	1.2	1.5	2.2	1.4	0.0	1.5
80	0.0	0.0	1.1	1.6	0.0	1.2	0.8	2.2	0.0	0.0	1.0
90	0.0	0.0	0.6	0.8	0.0	0.0	0.8	1.1	0.0	0.0	0.5
100	0.0	0.0	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº											
Est.	53	16	176	125	95	83	133	90	70	11	852

2.1.1.4 Análisis de los datos existentes :

El análisis de los registros existentes en base a curvas do - ble másicas revela, en general, un control adecuado de las estaciones de lluvia, salvo algunas excepciones.

Sin embargo, el problema más común que se presenta es la dis - continuidad en los registros, debiéndose frecuentemente recurrir a méto - dos indirectos para la estimación de precipitaciones no medidas, proble - ma que se ve agudizado ante la falta de buenas estaciones de apoyo. Prin - cipalmente este hecho se presenta en la zona 1, 2 y 3 en que el régimen de precipitaciones es poco regular, presentando una baja uniformidad, con presencia de microclimas que inciden en la necesidad de contar con una ma - yor cantidad de pluviómetros a objeto de cuantificar los fenómenos con mayor precisión.

Un análisis de las coordenadas de las estaciones denota otro aspecto que se hace necesario abordar, responde en ciertos casos a una falta de precisión en su determinación como asimismo en sus cotas las que en muchos casos se desconocen (130 estaciones no disponen de ella), hecho que es más importante si se considera que cada estación pluviométrica refleja el fenómeno donde materialmente se encuentra, pudiendo distorsionar en forma importante el trazado de curvas isoyetas una mala apreciación de estos datos.

2.1.1.5 Distribución de estaciones respecto a la altura promedio de los valles por zona : (Figuras N° 7, 8 y 9)

Haciendo un análisis de la distribución de estaciones respecto a una altura media en los valles de las diez zonas en que el país se ha dividido, resulta que un 65% (555 estaciones) de las estaciones se ubica bajo la altura promedio de los valles. Dentro de esta cifra, un 60% (356 estaciones) ha sido instalado bajo los 200 metros.

El análisis por zona refleja los siguientes porcentajes bajo la altura promedio:

ZONA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
%	30	87	75	80	27	61	67	71	89	50

=====

Valè decir, sólo en las zonas 1 y 5 existe una mayor densidad de estaciones en los sectores altos donde realmente es importante la medición de la lluvia.

NOTA : En este análisis no se ha incluido un total de 130 estaciones por no existir antecedentes sobre su altura.

2.1.1.6 Intensidades de Lluvia - Pluviógrafos

La intensidad de lluvia que normalmente se contralan en l o s pluviómetros corresponde a la altura de agua en milímetros caída en 24 ho ras. Sin embargo, intensidades para períodos más cortos se logran median te pluviógrafos, los que, a su vez, necesitan de un pluviómetro para su calibración y chequeo. El número de estos instrumentos inscriptores alcanza a 84 en el país. De ellos, 22 controla la Dirección General de A - guas, 31 ENDESA y 31 la Oficina Meteorológica.

En base al estudio del Perfil Pluviométrico de Chile, preparado por Jean-Luc Devynck, de la U. de Concepción, 1971 en el que se anali- zan las frecuencias de intensidades diarias dentro de ciertos intervalos para los distintos meses del año y considerando el período 1950-1969 a lo largo de 4 perfiles (Costa, Valle Longitudinal, Sector interno de Tierra del Fuego y Altiplano), puede concluirse lo siguiente:

- a) Costa : El número de días de lluvia aumenta regularmente con la lati- tud desde la zona Norte de 0.7 días/año hasta Valdivia, donde alcanza a 184.2 días/año. Entre Valdivia e Isla Guaello el aumento va d e 184.2 a 304.7 días/año. En el extremo Sur se presenta una débil dis- minución de 304.7 a 281.0 días/año.

El número de días con intensidad de lluvia superior a 2 mm/día varía de 0.2 días/año en Antofagasta hasta 295.7 días/año, en Isla Gua rello.

Para precipitaciones diarias muy fuertes y extremas ($p > 30$ mm. por día) se nota un aumento importante desde La Serena a Isla Guerello de 0.9 a 81.3 días/año y una disminución acentuada hacia más la Sur.

- b) Valle Longitudinal : Existe una gran semejanza con el perfil costero.
- c) Perfil Interno Austral : En promedio se registran 110 días con llu - via mayor de 0.1 mm/día. Las precipitaciones > 2 mm. representan po- co más del 50% del número total de días de lluvia del año. Por otra parte, las precipitaciones con intensidades mayores a 10 mm/día son prácticamente inexistentes (0.9 días/año)

d) Altiplano : Los días con lluvia desde Visviriá Ollague disminuyen de 47.4 a 13.7 en un año medio.

Lluvias muy fuertes ($p > 30$ mm) son prácticamente inexistentes (0.3 días/año).

2.1.1.7 Publicaciones

Las publicaciones de datos meteorológicos editadas por la Oficina Meteorológica de la FACH, son las siguientes:

- Anuarios meteorológicos desde 1943 que incluyen los antecedentes de las estaciones climatológicas que controla la O.M.C. y el total de estaciones pluviométricas del país con datos de lluvias.
- Fascículo II : desarrolla un estudio estadístico de las precipitaciones mensuales durante el período de 30 años entre 1931 y 1960 para 77 estaciones seleccionadas de las 137 del Fascículo I.
- Fascículo III : indica los totales mensuales de 349 estaciones que no aparecen en el Fascículo I y cuyos períodos de observación son menores a 30 años.

CORFO, por otra parte, ha editado estudios de isoyetas desde Copiapó a Aconcagua (Zona 3) y, en conjunto con la U. de Chile, el trazado de isoyetas de Aconcagua a Mataquito (Zonas 4 y 5) y desde Bío - Bío a Valdivia (Zona 7). Estos trabajos, sumados al Catastro Nacional de Estaciones pluviométricas del país, codificación en base a cuencas hidrográficas de las estaciones y análisis estadístico de los registros mensuales y anuales, tienden a clarificar la situación pluviométrica de Chile.

2.1.1.8 Acción hacia el futuro

- Como medida hacia el futuro es indispensable adoptar una codificación nacional de estaciones meteorológicas.

- Centralizar la información disponible en un sólo organismo que se haga responsable del control, archivo y publicación de los antecedentes meteorológicos.

- Ejecutar un análisis crítico a la red existente con miras a efectuar una redistribución o afianzamiento de la red, definiendo las estaciones bases cuyo control debe intensificarse en función de su ubicación y período de registro, mejorando en lo que sea necesario las medidas de la red primaria.

- Definir la red secundaria de apoyo para la extrapolación de los antecedentes a una superficie mayor.

- Establecer un sistema ágil de envío, archivo, proceso y publicación de los datos.

-Velar por un control sistemático e ininterrumpido de las estaciones, poniendo especial énfasis en los registros importantes en longitud. En caso de que una estación con registros importantes fuese a ser suspendida o retirada por su propietario, la oficina fiscal en esta materia deberá hacerse cargo de ella, evitando así la pérdida de continuidad en el registro.

2.1.2 Rutas de Nieve

La primera ruta de nieve controlada en el país corresponde a la estación de Portillo instalada en 1951 por ENDESA. Desde esa fecha en adelante se ha mantenido en forma sostenida el aumento de dichos controles llegando en la actualidad a existir 30 distribuidos desde la cuenca del río Elqui hasta el Bío Bío.

Las rutas de nieve en Chile han sido instaladas y controladas por 2 instituciones : la Dirección General de Aguas y ENDESA. La primera comenzó el año 1963 teniendo en la actualidad 22 controles.

En la figura 10 se muestra la evolución a través del tiempo de este tipo de control. Puede apreciarse que la Dirección General de Aguas ha mantenido en forma continua el aumento de las rutas de nieve, en cambio ENDESA que hasta 1968 poseía más del 50% del total controlado a partir de esa fecha ha disminuído las mediciones para tener en la actualidad solamente 8.

En la figura 11 se indica gráficamente los años de estadística disponible. Así se tiene:

Estadísticas entre 0 y 5 años	:	21
Estadísticas entre 5 y 10 años	:	8
Estadísticas entre 10 y 15 años	:	9
Estadísticas entre 15 y 20 años	:	2
También se indica los controles suprimidos:		
Estadísticas suprimidas entre 0 y 5 años	:	5
Estadísticas suprimidas entre 5 y 10 años	:	2
Estadísticas suprimidas entre 10 y 15 años	:	5

Los controles de rutas de nieve se han utilizado hasta ahora en la previsión de caudales de deshielo de los ríos de cordillera con el objeto de planificar las disponibilidades de agua de la temporada primavera - verano.

En el caso de ENDESA cuyas centrales hidroeléctricas reciben el caudal de los ríos de cordillera la previsión del deshielo permite utilizar racionalmente los recursos hidráulicos con lo cual se logra satisfacer adecuadamente las demandas eléctricas del país.

La acción futura en esta materia deberá orientarse fundamentalmente a planificar y construir adecuadas rutas de nieve a lo largo del país, recopilar, procesar y publicar la información y en forma muy especial a efectuar todo el esfuerzo conducente a evitar la supresión de estadísticas largas como las que se observaron en la figura 11.

2.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

2.2.1. Relación histórica. Estaciones Hidrométricas a través del tiempo

Para analizar la evolución histórica de la hidrología en Chile, se han confeccionado los gráficos de las figuras Nos 12 al 15 que ayudan a comprender el proceso de expansión de instalaciones y causas que la han ocasionado. Las estaciones hidrométricas que se han inventariado para realizar este análisis son únicamente aquellas que tienen importancia para la determinación de recursos hidráulicos. Aparte de ellas han existido y existen todavía estaciones que se han instalado para fines muy específicos de anteproyectos y proyectos de obras hidráulicas, como son aquellas que se instalan para medir ejes hidráulicos, filtraciones pequeñas de lagos o embalses, vertientes, etc., que en algunas épocas han sido bastante numerosas, del orden de 50.

En las figuras indicadas se puede observar que el control de los ríos tendiente a determinar su régimen hidrológico y por lo tanto su recurso hídrico, se empezó en 1912. En Enero de este año la Compañía Chilena de Electricidad instala la primera estación hidrométrica en el río Maipo en la Obra, que funciona actualmente. En Marzo de 1913 el Estado instala sus primeras estaciones en el río Aconcagua, siendo estas Juncal en Juncal y Juncalillo en las Calaveras, que funcionaron con interrupciones hasta el año 1931.

A partir de este momento se puede decir que Chile inicia su era hidrológica.

En 1914 se dicta una ley por la que se autoriza al Estado a construir 4 canales y empieza en forma sistemática la instalación de estaciones hidrométricas, que se ven incrementadas por las que instala la Braden en el río Cachapoal para fines hidroeléctricos y la Chilectra en el Maipo Alto.

En 1918, fecha en la cual el Estado comienza la construcción de los canales Mauco, Maule, Melado y Laja existen 33 estaciones de control, de ellas 5 en el Maipo Alto pertenecientes a Chilectra, 1 de la Braden en el río Cachapoal y 27 del Estado que las instala con fines de riego. De estas había 7 en el río Loa, 1 en el San Pedro 1 en el Limarí, 2 en el Choapa, 5 en el Aconcagua, 2 en el Maipo, 1 en el Mataquito, 4 en el Rapel, 2 en el Maule, 2 en el Bío-Bío y 1 en el Imperial.

Posteriormente se produce un estancamiento hasta que en 1929 entra en vigencia la ley 4445 que crea el Departamento de Riego de la Dirección General de Obras Públicas y se inicia el proyecto y construcción masiva de obras de regadío y con ello un alto incremento en los controles hidrológicos, llegándose a tener en funcionamiento 123 estaciones hidrométricas el año 1930. Desgraciadamente el plan tuvo corta duración por falta de financiamiento debido a la crisis mundial de esa época, por lo cual van desapareciendo los controles en forma paulatina bajando su número en 1935 a sólo 43, análogo a las existentes antes de dictarse esa ley.

El control hidrométrico se mantiene casi estacionario hasta que en 1939 se crea la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), en la que se forma el Departamento de Energía y Combustible que se encarga de llevar adelante el Plan de electrificación del País. Para poner en marcha dicho plan, uno de los primeros pasos es la determinación de los recursos hidráulicos disponibles para lo cual se inicia la instalación masiva de estaciones hidrométricas en aquellos lugares que pueden ser aprovechados hidroeléctricamente. Ya en 1941 se habían instalado 18 estaciones.

En 1944 se crea la Empresa Nacional de Electricidad S. A. (ENDESA), filial de CORFO y sobre la base de su Departamento de Energía y Combustible en la que se forma la Sub División Hidrología. En

este momento las instalaciones hidrométricas en Chile son 129, de las que pertenecen al Departamento de Riego 66 (51%), a ENDESA 60 (46,5%) y a particulares 3 (2,5%).

En 1946 el Departamento de Riego efectúa un plan intensivo de instalaciones llegando a tener en 1948, 103 estaciones que representan el 57% del total, mientras que ENDESA incrementa poco las suyas, teniendo 74 (41%).

En 1954 el Departamento de Riego se transforma por ley en Dirección de Riego.

Hasta el año 1956 prácticamente no se realizan nuevas instalaciones y en general estas reemplazan en número a las que se suprimen.

El año 1957 es uno de los más importantes para el desarrollo de la Hidrología chilena y puede decirse sin cometer gran error que empieza un nuevo período. A ello contribuyeron varias circunstancias que se detallan a continuación.

El 27 de Febrero de 1957 el Secretario General de las Naciones Unidas envía una comunicación al Ministerio de Relaciones Exteriores solicitando se conteste un cuestionario sobre la situación Meteorológica e Hidrometeorológica en nuestro País. Con este motivo se reúnen los representantes de los organismos más importantes que operan la red chilena: Oficina Meteorológica, Dirección de Riego y ENDESA, aprovechando estas dos últimas, que son las únicas que se dedican a hidrometría, para realizar un plan conjunto e inmediato de instalaciones hidrométricas. Por este acuerdo no oficial se decide que ENDESA controlaría las cuencas altas de los ríos y la zona sur, o sea, donde hay posibilidades de desarrollo hidroeléctrico y la Dirección de Riego el Norte Grande y cuencas bajas de los ríos donde el regadío es fundamental. De esta forma se evitará la duplicidad de controles y se exten-

día la red hidrométrica. A partir de esta fecha, ambas instituciones inician el plan de instalaciones.

Como resultado de la contestación del cuestionario enviado por las Naciones Unidas y de posteriores comunicaciones y reuniones el Fondo Especial de las Naciones Unidas (hoy PNUD) aprueba el proyecto de "Mejoramiento de la Red de Estaciones Hidrométricas y Meteorológicas de Chile". De acuerdo al Plan de Operaciones suscrito se contempló ampliar y mejorar la red existente. En líneas generales la ayuda consistió en la asesoría de tres expertos, becas y equipos. La contribución del Fondo Especial fue de US\$ 771.280 mientras que la contraparte, o sea los organismos chilenos, hacían un aporte de US\$ 1.200.000 que incluía instalaciones y operación de las instalaciones, aumento de personal, etc. En estos valores están incluidos los aportes a la red meteorológica de las instituciones. En las figuras que se acompañan puede observarse el incremento y mejoramiento de la red existente.

El proyecto comenzó el 10 de Octubre de 1960 y duró 4,5 años o sea hasta Marzo de 1965, siendo sumamente satisfactorios sus resultados.

Para darse una idea cuantitativa del incremento que se produjo en Chile desde 1957 se incluyen los siguientes cuadros:

	LIMNIMETROS			LIMNIGRAFOS			TOTAL		
	1957	4.10.60	3.65	1957	10.60	3.65	1957	10.60	3.65
D.de RIEGO	66	89	102	34	54	122	100	143	224
ENDESA	37	46	69	42	65	128	79	111	197
PARTICULARES	2	2	2	-	-	-	2	2	2
t o t a l	105	137	173	76	119	250	181	256	423

El incremento que experimenta la red hidrométrica durante el período 1956-1965 fué:

INSTITUCIONES	L I M N I M E T R O S					
	57-60		60-65(F.E.)		57-65	
	△	%	△	%	△	%
D.de RIEGO	23	34,8	13	14,5	36	54,5
ENDESA	9	24,4	23	50,0	32	86,5
PARTICULARES	-	-	-	-	-	-
t o t a l	42	40,0	36	26,4	68	64,8

△ = No de instrumentos incrementados en el período.

INSTITUCIONES	L I M N I G R A F O S					
	57-60		60-65 (F.E.)		57-65	
	△	%	△	%	△	%
D.de RIEGO	20	59,1	68	125,9	88	259,0
ENDESA	23	54,8	63	96,8	86	204,6
PARTICULARES	-	-	-	-	-	-
t o t a l	43	56,6	131	110,1	174	228,8

T O T A L

INSTITUCIONES	57-60		60-65 (F.E.)		57-65	
	△	%	△	%	△	%
D.de RIEGO	43	43,0	81	56,5	124	124,0
ENDESA	32	40,0	86	77,5	118	249,5
PARTICULARES	-	-	-	-	-	-
t o t a l	75	41,4	167	65,2	232	128,2

El mejoramiento de la red se puede analizar en el siguiente cuadro a partir del porcentaje de instalaciones limnigráficas respecto al total de estaciones.

A Ñ O S	LIMNIMETROS		LIMNIGRAFOS		TOTAL	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1956	105	58,0	76	42,0	181	100
1957	137	53,5	119	46,5	256	100
1958	173	40,9	250	59,1	423	100

Analizando estos cuadros se deduce que en el período 1957-1965 el control fluviométrico en Chile ha tenido un gran auge. El proyecto del F.E. tuvo influencia en dos sentidos, activó indirectamente el control hidrométrico a partir de 1957 e influyó directamente durante su duración ya que en este período se incrementó en un 65% el número de las instalaciones y mejoró notablemente la red ya que las estaciones limnigráficas aumentaron en un 110%.

Finalmente, por la ley Nº 16640 ha sido creada la Dirección General de Aguas, que se constituyó a fines de 1969. La antigua sección Hidrometría de la Dirección de Riego ha sido transformada en Departamento de Hidrología y traspasado a la Dirección General de Aguas. Una de las funciones de esta Dirección es la de "mantener y operar el servicio hidrométrico nacional y proporcionar y publicar la información que genere".

2.2.2. Situación Actual

Como se expresó en el punto anterior existen dos organismos que operan la casi totalidad del servicio hidrométrico nacional; la Dirección General de Aguas y ENDESA.

La Dirección General de Aguas opera aquellas estaciones que son necesarias para operar obras de riego, determinar los recursos hidráulicos de las futuras obras y las que son necesarias para mantener una red completa a lo largo del país. Actualmente posee 112 estaciones limnimétricas y 158 limnigráficas, o sea un total de 270. Además controla en forma esporádica, realizando aforos cada cierto tiempo, gran número de canales de riego no principales.

ENDESA mantiene un servicio para la operación de las estaciones necesarias para determinar los recursos hidráulicos de los futuros desarrollos hidroeléctricos y operan satisfactoriamente las centrales existentes. Actualmente posee 38 estaciones limnimétricas y 81 limnigráficas, o sea un total de 119, además de numerosas otras que se han instalado para fines específicos (ejes hidráulicos, filtraciones, etc.).

Resumiendo se tiene:

INSTITUCIONES	LIMNIMETROS		LIMNIGRAFOS		TOTAL	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
D.G.de AGUAS	112	28,7	158	40,4	270	69,1
ENDESA	38	9,7	81	20,7	119	30,4
PARTICULARES	2	0,5	-	-	2	0,5
t o t a l	152	38,9	239	61,1	391	100,0

(El porcentaje se refiere al total de Estaciones)

En el gráfico N°12 se observa que ENDESA ha disminuído su red de estaciones hidrométricas a partir de 1966, mientras que la Dirección General de Aguas la mantuvo constante hasta 1969 para aumentarla a partir de 1970. Esto se debe a que ENDESA suprimió algunas Estaciones que después de un cierto número de años cumplieron con el

fin para el cual fueron instaladas y al traspaso a la Dirección General de Aguas de una serie de estaciones, especialmente de la zona austral y magallánica que no tenían interés inmediato para el desarrollo hidroeléctrico de Chile pero que formaban parte de la red hidrométrica nacional.

Para operar esta red hidrométrica se cuenta con el siguiente personal técnico:

	D. AGUAS	ENDESA	TOTAL
Ingeniero	15 ⁽¹⁾	4 ⁽¹⁾	19
Hidromensores	25	12 ⁽²⁾	37
Calculistas	15	4	19

(1) incluye jefaturas

(2) no incluye jefatura y dos laboratoristas

De acuerdo a este cuadro, entre los dos organismos se tendría en terreno 37 hidromensores, 25 la Dirección de Aguas y 12 ENDESA. Como controlan entre ambas 389 estaciones se tiene que en promedio cada hidromensor tiene a su cargo de 10 a 11 estaciones. Este promedio sería aceptable siempre que el hidromensor se dedicase únicamente a esta tarea, lo que generalmente no ocurre debido a que ciertas zonas debe mantenerse una concentración de hidromensores que están a cargo de medidas especiales para fines específicos de proyecto. Por otra parte, parte de su tiempo deben dedicarlo al mejoramiento y construcción de estaciones hidrométricas y a la atención de la red pluviométrica y de estaciones meteorológicas. Por otra parte, la Dirección de Aguas se encuentra en un proceso rápido de expansión por lo cual parte del personal ha ingresado últimamente y lógicamente necesita un cierto tiempo para adquirir experiencia.

La elaboración de datos se encuentra en proceso de automatización el cual se encuentra muy adelantado. Tanto la Dirección de Aguas como ENDESA utilizan la computación para el cálculo de aforos y estadística. ENDESA para el cálculo de su estadística limnigráfica, utiliza un digitalizador "Benson-Lahuen", aportado por el Proyecto del Fondo Especial, razón por la cual ha disminuído el número de calculistas y en este momento se ha instalado y empezado a operar en forma experimental, dos limnigrafos digitales de cinta perforada y se han adquirido dos limnigrafos de burbujas.

Existe un "Canal de Calibración de molinetes", construído por la Dirección de Riego y ENDESA durante el Proyecto de F.E. el que aportó el equipo, marca OTT y que pasó al Laboratorio del Instituto Nacional de Hidráulica en Peñaflores que lo opera junto a ENDESA.

La Dirección de Aguas y ENDESA poseen cada una un laboratorio de sedimentación, muy completo, para determinar el arrastre en suspensión de las muestras enviadas de terreno y granulometría del lecho de las estaciones que se controlan. Además, en terreno, existen otros menos completos que realizan operaciones de filtrado y secado de las muestras.

Durante el Proyecto del F.E. la antigua Dirección de Riego y ENDESA recibieron equipo suficiente para la operación de las instalaciones existentes pero debido al uso intensivo que ha tenido durante estos últimos años es necesario reemplazar y completar el existente. Las necesidades más urgentes serían:

- Mejoramiento de secciones de control
- Automatización de cálculo de estadísticas limnigráficas
- Experimentación con limnigrafos digitales para elegir el que se adapte mejor a nuestras necesidades
- Aumento del número de equipos de aforos

- Mejorar la movilización, lo que es indispensable para un buen control de la red
- Estrenamiento del personal

Actualmente la calidad de los datos fluviométricos en general es aceptable, pero desgraciadamente, se presentan todavía numerosos casos en que la estadística adolece de errores debido principalmente a la carencia de aforos de caudales altos que permitan una buena determinación de las curvas de descarga y a la discontinuidad de las lecturas limnimétricas o mal funcionamiento del limnógrafo.

Quedaría por analizar que servicio prestan actualmente los servicios hidrométricos de la Dirección de Aguas y ENDESA. En primer lugar, facilitan las estadísticas fluviométricas obtenidas a organismos estatales y particulares que lo solicitan y, naturalmente a su propio organismo, pero desgraciadamente no se centralizan en uno solo los datos obtenidos ni se efectúan publicaciones periódicas de esos datos.

Respecto a estudios hidrológicos ENDESA realiza ella misma los que necesita para las centrales hidroeléctricas en operación y para sus programas de planificación, anteproyecto y proyecto de sus obras. La Dirección de Aguas realiza algunos y proporciona datos a la Dirección de Riego a la cual pertenecía la Sección Hidrometría antes de su creación.

Como servicios mas interesantes se podría consignar las previsiones de deshielo que se hacen anualmente para los ríos principales de la Zona Central, para lo cual se han instalado numerosas rutas de nieve. ENDESA realiza este tipo de previsiones para la operación de sus Centrales desde el año 1954 y la Dirección de Aguas desde el año 1966 a través de su Sección de Nivología, con fines de regadío.

Análogamente, ENDESA realiza previsión de crecidas pluvia-

les para la operación de la Central Rapel cerca de la desembocadura de este río, servicio que dió también durante la construcción de esa Central.

Finalmente existe un problema latente, que ha existido siempre, en lo referente al control de los canales. Excepto los canales muy importantes para la política de riego de ciertas zonas o de las centrales hidroeléctricas, los canales se miden muy esporádicamente, con lo cual los datos obtenidos son de poca utilidad e induce a errores. Esto impide realizar estudios serios para determinar el régimen natural de los ríos, estudios de recuperación, etc.

2.2.3. Análisis de los datos existentes

Al tratar la situación actual de la hidrología se han esbozado algunos problemas que influyen en la calidad de los datos existentes. En este punto se profundizará y analizará este tema.

Lo más importante es conocer cuantas estaciones hidrométricas se han controlado, se controlan actualmente y la longitud de su registro, para lo cual se ha calculado este cuadro que se ha representado gráficamente en la figura Nº 16.

	PERIODO DE REGISTRO EN AÑOS									Total
		6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41	
No Total Estac.	211	195	111	39	47	43	13	15	12	686
No Actual Estac.	69	118	69	24	35	39	11	14	12	391
No Estac. Suprimidas	142	77	42	15	12	4	2	1	0	295

Este cuadro nos indica que en Chile se han instalado 686 estaciones hidrométricas en lugares diferentes, de las cuales se controlan 391 (57%) y se han suprimido 295 (43%). Además 142 estaciones se han suprimido antes de funcionar 5 años, período mínimo para que sean útiles para estudios futuros y que equivale a un 20,7% del total instaladas y se suprimieron 77 antes de tener 10 años de registro y que representan un 11,2% del total instalado, es decir, 219 estaciones (31,9% del total instalado) tienen estadísticas que muy posiblemente no podrán ser de gran utilidad, con lo cual se han perdido una inversión que debe evitarse en el futuro, sobre todo en un país como el nuestro donde las estaciones hidrométricas son pocas y el financiamiento difícil.

Presentando el cuadro anterior con valores acumulados se tiene:

ESTADISTICA CON UN REGISTRO SUPERIOR A N AÑOS

N	41	36	31	26	21	16	6	
TOTAL	12	27	40	83	130	169	280	475
ACTUAL	12	26	37	76	111	135	204	322

Si se considera que una estación debe tener más de 30 años para determinar bien el régimen hidrológico de un río, tenemos que en Chile existen 40 estaciones que cumplen este requisito, que podrían considerarse estadísticas base, poniéndose menos exigente y bajando el límite a 20 años se tendrían 130 de las cuales funcionan actualmente 111.

El panorama a la vista de estas cifras no parece desalentador. Sin embargo, la calidad y continuidad de las estadísticas merecen ciertos repasos, siendo los más importantes los siguientes.

- Registros discontinuos, o sea faltan caudales medios mensuales y

- medios diarios en muchos años por fallas en el observador, limnigrafo o carencia de inspección.
- Carencia de aforos de altos caudales, lo que obliga al trazado de curvas de descarga muy extrapoladas.
- Falta de antecedentes de las estadísticas antiguas.

Esto trae como consecuencia la necesidad de analizar y revisar las estadísticas antes de ser utilizadas. Este análisis debe consistir en los siguientes puntos:

- Aplicación de un test que permita verificar la bondad de las estadísticas. Para ello, se pueden utilizar las precipitaciones o estadísticas fluviométricas base utilizando el método de las curvas de doble acumulación, siendo este un primer paso para verificar como es la estadística.
- Revisión del trazado de las curvas de descarga, incluyendo si es necesario la revisión de los aforos, especialmente los que midieron caudales altos que son los que tienen más errores y determinan la extrapolación de las curvas.
- Análisis de las lecturas limnimétricas, comprobando que fueron bien hechas. Algunas veces el nivel del río permanece constante a pesar de que han existido precipitaciones. También ocurre el caso contrario.
- Revisión de los rollos limnigráficos.

Si bien estas deficiencias son menos frecuentes últimamente, se producen generalmente en los registros antiguos. Este último es muy interesante porque para verificar las estadísticas es indispensable contar con estadísticas fluviométricas base que sirvan de Patrón, por lo que deben analizarse en forma exhaustiva. Si considera

ramos que tenemos 130 estadísticas con más de 21 años de registro y 83 con más de 26; poseemos una buena base para seleccionar un alto número de estadísticas que ofrezcan confianza.

Finalmente hay un punto que debe ser analizado, la influencia del riego en las estadísticas en estudio. Toda estadística debe representar el régimen natural del río, si quiere utilizarse como estadística base. Cuando una estadística está afectada por el río es indispensable indicar este hecho. Actualmente hay publicaciones sobre el régimen hidrológico de los ríos, en las que se ha omitido este hecho, resultando que aparecen ríos de la zona Central que se consideran del régimen pluvial en su desembocadura, cuando la realidad es que todos tienen régimen nivo-pluvial. Lo que ocurre es que el escurrimiento proveniente del deshielo es utilizado en el riego del valle central y por lo tanto, la onda de deshielo se amortigua o bien desaparece cuando el año está bajo el normal. Por ejemplo, en la cuenca del río Rapel el riego absorbe durante el mes de Enero un caudal mínimo de 160 M³/s., caudal que se pierde superficialmente y por lo tanto en la desembocadura no se detecta la onda de deshielo.

2.2.4. Análisis de una acción hacia el Futuro

La solución a los problemas existentes que impiden obtener estadísticas fluviométricas fidedignas, requiere tomar medidas que se agrupan en tres grupos:

2.2.4.1. Mejoramiento de los controles existentes

2.2.4.2. Mejoramiento y racionalización de la red hidrométrica

2.2.4.3. Mejoramiento del proceso elaborador de datos

2.2.4.1. Para mejorar los controles existentes con el fin de obtener buenos datos básicos es necesario que cada estación hidrométrica posea:

- Sistema de aforo que permita medir grandes caudales o sea deben tener cable o puente de aforo.
- Mejoramiento de los sistemas de aforo, especialmente durante las crecidas para lo cual es necesario tener escandallos coaxiales de gran peso (100Kg) y medir el ángulo de arrastre.
- Buena instalación de limnímetros y limnígrafos que permita registrar todas las crecidas que se produzcan.
- Suficiente número de hidromensores para que puedan aforar frecuentemente todas las secciones de control, especialmente las crecidas. Sería suficiente dos aforos por mes durante los estiajes y mayor frecuencia en los períodos de caudales altos.
- Mejoramiento del caudal de los canales de regadío haciendo su control continuo.

2.2.4.2. La red hidrométrica actual posee defectos debido a que en general ha sido organizada para cumplir fines específicos de proyectos y no desde un punto de vista nacional. Por ejemplo, actualmente, solo existen 12 estaciones que miden la descarga al mar de los ríos (Loa en Chonchi, San Pedro en Cuchabrache, Copiapó en Angostura, Limaquí en Panamericana, Choapa en Estero Canela, Maipo en Cabimbao, Rapel en Corneche, Maule en Forel, Bío-Bío en Concepción, Imperial en Almagro, más Cholchol en Cholchol, Pueblo en Carrera Basilio y San Juan en desembocadura). Igualmente deben medirse los ríos internacionales en la frontera y en aquellas zonas que actualmente no tienen interés económico hidráulico pero que en un futuro permitiría tener estadística base.

Para ello sería recomendable, en líneas generales:

- Planificar y establecer una red hidrométrica básica constituida por estaciones base de 1er. orden. Estas estaciones deberán contar con limnógrafo, cable y una estación meteorológica debiendo ser controlada muy frecuentemente y deberán ubicarse de forma que,
 - controlen la descarga al mar o salida y entrada del país de to dos los ríos chilenos.
 - toda cuenca que tenga alrededor de 1.000 Km². sea controlada por una estación base, que se ubicará cerca de la desembocadura del río en otro principal.
 - controlen los ríos a su entrada al valle central antes de la bo cátoma de los canales de riego.
 - controlen el curso principal del río en varios puntos que controlen incrementos de superficies de cuenca superiores a 2.000 Km².
 - controlen los ríos en su desagüe al curso principal y cuyo aporte porcentual sea determinante en su régimen hidrológico aún cuando controlen una cuenca menor de 1.000 Km².

Pueden ocurrir que algunas de las estaciones cumplan varios requisitos. Para su elección, se debe dar prioridad a aquellas estaciones ya instaladas, que actualmente funcionan y tienen un registro ininterrumpido de 20 años, o sea han sido instaladas antes de 1950. Actualmente existen 103, que no necesariamente deben ser consideradas como básicas.

- Planificar y establecer una red de 2º orden constituida por estaciones limnigráficas con cable. Estas estaciones deben controlar cuencas del orden de los 500 Km². o ríos importantes por su caudal.
- Planificar y establecer una red hidrométrica que controle los canales de riego.

- Planificar y establecer una red de 3er. orden constituida por estaciones limnimétricas que sirva de relleno a las anteriores.

Como es natural, al establecer esta red, se tomará en cuenta las estaciones existentes mejorándolas en caso necesario.

Estudiar la red para que tenga cierta densidad es difícil porque deben tenerse en cuenta varios factores. El principal es la zona de que se trate, no puede pedirse igual densidad en el Norte Grande que en la Zona Central ni Sur, como tampoco las mismas características de red, por ser diferente su importancia económica, las posibilidades de acceso, la densidad de población, su clima, su densidad de drenaje, etc.

Según Langbein (1) la densidad debe ser entre 0,2 y 1,0 estación base por 1.000 Km². En el caso de Chile debemos estar cercanos de esta última cifra por ser cuencas de pequeña superficie y climas diversos dentro de una misma cuenca, de forma que los afluentes de un mismo río tienen distinto régimen hidrológico. En general los ríos de una misma cuenca son diferentes, unos tienen régimen netamente nival (alta cordillera), otros nivo-pluvial (alta cordillera, precordillera y valle) y otros régimen netamente pluvial (cordillera de la Costa).

La densidad de las estaciones de Chile considerando todas las existentes actualmente y por zonas es:

(1) Diseño de redes hidrológicas. Max A.Kohler OMM Nota Técnica No 25.

ZONA	RIOS	S(Km2)	Nº TOTAL DE ESTACIONES	DENSIDAD (N/1.000 Km2.)
III	COPIAPO ELQUI	38.540	25	0,65
IV	LIMARI LIGUA	24.136	49	2,22
V	ACONCAGUA MAIPO	22.486	39	1,74
VI	RAPEL MATAQUITO	19.864	38	1,91
VII	MAULE ITATA	32.598	80	2,46
VIII	BIO-BIO	24.262	55	2,26
IX	IMPERIAL TOLTEN	21.124	22	1,04
X	VALDIVIA BUENO	25.160	24	0,96
XI	MAULLIN PUELO	9.260	9	0,97

En este cuadro solamente se han considerado superficies de las cuencas principales, o sea no se han considerado cuencas comprendidas en la zona III ni las cuencas costaneras.

2.2.4.3. Finalmente debe resolverse el "Mejoramiento del proceso e laboratorio de datos". En este caso, hay básicamente dos problemas:

- Cálculo de curvas de descarga, especialmente su extrapolación, lo que solamente puede resolverse en forma satisfactoria haciendo a foros de caudales altos de buena calidad, o sea desde cable, molinetes coaxial, escandallo de 100 Kg. y ángulo de arrastre.
- Automatización de la traducción de los limnigramos lo que hace el proceso más rápido, más exacto y se necesita menos personal.

Para que un plan de acción futura tenga éxito es necesario efectuar cursos de entrenamiento del personal de terreno y oficina, especialmente a los que recién ingresa a estas labores, lo que permitirá alcanzar un alto standard técnico y mejoramiento de la obtención y cálculo de los datos de terreno, que redundará en la calidad de las estaciones fluviométricas.

Como acción hacia el futuro debería incluirse como primera prioridad:

- Efectuar previsiones de deshielo para todos los ríos de la Zona Central que tengan aprovechamiento agrícola.
- Establecer un servicio de previsión de crecidas que alertara a la población de posibles inundaciones, fenómeno que viene produciéndose con demasiada frecuencia.
- Estudiar las crecidas de todos los ríos en forma exhaustiva para el proyecto de obras que pueden ser afectadas por ellas, para poder estudiar su regulación y realizar un control efectivo de ellas, evitar que se construyan poblaciones en lugares amagados por ellas y conocer realmente el volumen escurrido con el fin de estudiar su embalse y utilización posterior en verano.

2.2.5. Normalización para determinar el régimen de los ríos

En Chile existen actualmente diversos organismos, empresas e ingenieros que realizan estudios hidrológicos, pero cada uno analiza las estadísticas y presenta los resultados en forma diferente de forma que es imposible comparar los estudios realizados aún cuando pertenezcan a la misma zona y, afinando más, se trata de la misma estadística.

Las discrepancias más notables son:

- Definición del valor normal. En algunos casos consideran como valor normal el valor promedio, en otros el valor de probabilidad 50%. Si bien en la zona Sur son parecidos en la zona Central y sobre todo en la zona Norte son muy diferentes.
- Período de registro considerado, ya que se trabaja con estadísticas de distinta longitud, y aún de períodos no comunes, por lo cual los resultados no pueden ser comparables.
- Trazados de las curvas de duración. Unos ajustan una curva a los puntos, otros una recta, unos la trazan a ojo, otros le ajustan leyes de distribución en muchos casos diferentes (Allen-Hazen, Ven te Chow, Gumbel, Pearson, etc.).
- Igual caso cuando se trata de determinar curvas de probabilidad de valores extremos.

Para evitar estas discrepancias es necesario establecer:

1º Métodos de trabajo.

2º Período de observación que debe considerarse, en todos los estu

dios, ampliando las estadísticas cortas que no los cubran.

30 Normalización de la presentación de los datos que definen el régimen hidrológico de los ríos; que podría ser como mínimo.

- caudales medios, incluyendo desviación standard y coeficiente de variación.

- curvas de duración general de los caudales medios anuales, mensuales y caudales de temporada (deshielo, pluvial, etc.).

- variación estacional del caudal medio mensual.

- curva de caudales medios diarios clasificados.

40 Normalización para determinar la curva de probabilidad de crecidas.

2.3 AGUAS SUBTERRANEAS

2.3.1 Antecedentes Históricos

La especialidad de aguas subterráneas tuvo su origen en el país en forma rudimentaria y remota con la construcción de numerosos piques y norias que captaron aguas subterráneas, los que especialmente fueron construidos en la zona Norte con fines agrícolas e industriales. El auge del salitre en la Pampa Nortina fué posible gracias a la explotación de este recurso.

Los primeros pozos perforados con máquinas se ejecutaron en el país alrededor de 1906 por la antigua Dirección de Hidráulica, vale decir, hace 60 años.

La Corporación de Fomento, consciente de la importancia que esta especialidad tiene para el país, creó su Sección en 1948, adquiriéndose en aquél entonces 2 equipos perforadores, los que hasta hoy día se encuentran trabajando.

A medida que se fué formando el personal especializado para hacerse cargo de esta maquinaria y en razón de la creciente demanda por perforaciones de pozos, la Sección fué en continuo crecimiento, hasta hoy, en que contamos con 27 equipos perforadores, esperando en un futuro próximo ampliar considerablemente este número para responder así en forma más ágil a los numerosos programas de desarrollo propuesto por el Supremo Gobierno.

El auge que iba tomando esta especialidad se vió fuertemente incrementado por el plan extraordinario que impulsó la D.O.S. hace aproximadamente 15 años; con dicho plan fué posible la creación de empresas particulares destinadas a perforar pozos de abastecimiento para diversos usuarios.

En la actualidad existen en el país 92 equipos perforadores distribuidos entre las siguientes firmas o empresas:

CORFO	27
Dirección de Riego	20
Dirección de Obras Sanitarias	20
Contratistas	25
<hr/>	
TOTAL	92
=====	

La D.O.S. tiene arrendada la mayoría de su maquinaria a contratistas para la ejecución de obras destinadas al abastecimiento de agua potable en ciudades y poblaciones. Se espera que en un futuro próximo se haga cargo del abastecimiento de poblaciones rurales, las que eran abastecidas por la Oficina de Saneamiento Rural del S.N.S.

La Dirección de Riego dedicaba gran parte de su maquinaria a estudiar las fundaciones de los embalses que proyecta y construye, desde 1968 a esta parte, sin descuidar esta labor, esta construyendo pozos con fines de regadío en el área de sequía.

CORFO dedicaba su maquinaria preferentemente a efectuar los estudios necesarios para conocer las características de los acuíferos y su inter relación con las aguas superficiales, obteniendo así las conclusiones que permitan planificar el uso de este recurso en combinación con las aguas superficiales de cada cuenca. Hoy en día la mitad de su maquinaria está dedicada a este fin y la otra mitad a atender finalidades específicas, especialmente en un plan de regadío con CORA.

Finalmente los contratistas están en condiciones de abastecer la demanda de perforaciones provenientes del área privada y de algunos requerimientos de la Empresa Pública, sea agrícola, industrial, urbana o minera; cuenta para ello con créditos de CORFO en los 2 primeros casos y con la información técnica proveniente de los archivos de CORFO.

En los comienzos de la década del 60 comenzaron a surgir los primeros problemas relacionados con la falta de control de la explotación de este recurso, estos, como dato ilustrativo, comenzaron a producirse en la zona de Colina situada al norte de la ciudad de Santiago.

Fué así como las diversas instituciones encargadas de regular y estudiar los recursos de agua del país, fueron tomando conciencia acerca de la necesidad de obtener y recopilar la información básica necesaria como para establecer una política de uso conjunto de los recursos de agua superficial y subterránea.

El objeto del presente trabajo es el de mostrar el avance logrado en cuanto a recolección de información y a metodologías empleadas.

En términos generales conviene destacar, que esta labor se realiza en el sector del territorio nacional comprendido entre Arica v

la hoya del río Mataquito, abordándose los siguientes aspectos:

2.3.2 Elaboración de un catastro nacional de pozos

Por catastro nacional de pozos se entiende un archivo de las características técnicas y ubicación, de la totalidad de los pozos perforados con maquinaria especializada, tanto por empresas estatales como particulares. En un futuro y de contar con más personal y medios se espera catastrar las norias significativas por su caudal. Parte de la información obtenida es periódicamente publicada, ordenada por hoyas hidrográficas.

Esta acción de catastrar los pozos fué iniciada por el Instituto de Investigaciones Geológicas y seguida posteriormente por CORFO, único organismo fiscal que hoy en día la efectúa.

En la metodología seguida para la confección de un catastro de pozos, se distinguen diversas fases:

La primera dice relación con la recolección de los antecedentes de los pozos perforados en una hoya determinada. Esta labor es la más difícil de realizar y la que más tiempo demanda, pues son pocas las empresas o instituciones que disponen de información completa acerca de los pozos que perforan.

Sería fácil dar solución a este problema si la Dirección General de Aguas, organismo que tiene el total control legal sobre los recursos hídricos, enrolara a los diversos perforistas de esta especialidad otorgándoles algún tipo de permiso para perforar cada pozo, el cual implique la obligación de suministrar a esa Dirección los antecedentes que ella solicite. Con esta medida se lograría además, evitar el contrasentido que significa la perforación de un pozo con anterioridad al otorgamiento de una merced de agua provisoria.

La segunda fase comprende fundamentalmente la ubicación en terreno de aquellos pozos cuyos antecedentes se colectaron, esta ubicación se traspa a planos o fotomosaicos a escalas comprendidas entre 1:20.000 y 1:50.000. Es corriente el caso que en terreno se descubra la existencia de una cierta cantidad adicional de pozos, cuyos antecedentes se averiguarán más adelante.

En la tercera fase se numeran definitivamente los pozos ubicados, según un sistema de coordenadas geográficas y se procede a formar el archivo, de modo que a cada pozo ubicado en terreno le corresponda u n a carpeta con todas o parte de sus características técnicas. Aquellos pozos que no fué posible ubicar, no ingresan al archivo.

Por el momento, la publicación periódica de la información que existe en el archivo, se realiza confeccionando mensualmente largos listados, que es necesario revisar varias veces antes de ser impresos. Este engorroso proceso será en breve reemplazado por un sistema de codificación en tarjetas IBM, de gran parte de los antecedentes de los pozos , lo cual redundará en una mayor rapidez de ejecución, eficiencia y confiabilidad de las publicaciones.

Entre los múltiples usos y ventajas que representa disponer de un catastro o inventario nacional de pozos, pueden citarse los siguientes:

- 1.- Permite aumentar la productividad de las captaciones que se perforen en un futuro inmediato, ya que al contar con un archivo técnico centralizado, se evitará la perforación de pozos en zonas hidrogeológicamente no aptas para captar agua subterránea.
- 2.- Contribuye a disminuir el costo de las investigaciones hidrogeológicas, ya que éstas pueden basarse en gran medida en las obras ya realizadas.
- 3.- Constituye un antecedente valioso para realizar cualquier estudio destinado a reglamentar el uso de las aguas tanto superficiales como subterráneas.
- 4.- La sola consulta del citado catastro, permite al especialista dise ñar, aventurar resultados y establecer el costo de la captación y el de su futura explotación.

A continuación se presenta un resumen de la labor realizada en este aspecto:

RESUMEN DE LA LABOR REALIZADA EN MATERIA DE CATASTRO DE POZOS PROFUNDOS

H O Y A		Nº DE POZOS, POR USO					TOTAL	CAUDAL	PROF: mts.
Nº	NOMBRE	REGADIO	INDUST.	A. POT.	ESTUDIO	OBSERV.			
118	Choapa-Petorca	3	-	9	-	-	12	86	262
119	Ligua-Aconcagua	-	13	8	1	-	22	40	449
120	Aconcagua-Maipo	72	21	52	1	-	146	2.037	5.417
121	Maipo-Rapel	15	-	3	-	-	18	137	808
122	Rapel-Mataquito	10	-	10	1	-	21	124	460
202	Azapa	49	5	19	12	-	85	1.097	5.450
214	Petorca	23	-	-	5	-	28	390	1.280
215	Ligua	20	5	14	2	2	43	516	1.984
302	Copiapó	44	9	9	9	10	81	3.018	3.823
303	Huasco	7	3	8	16	1	35	642	1.638
304	Elqui	31	13	28	2	-	74	1.141	5.170
305	Limarí	25	4	34	8	-	71	393	2.005
306	Choapa	6	-	4	2	-	12	139	590
307	Aconcagua	86	59	67	65	21	298	6.294	12.517
308	Maipo	261	240	335	38	-	874	25.652	52.810
309	Rapel	101	26	112	2	-	241	6.165	12.360
310	Mataquito	20	3	36	-	-	59	2.534	2.304
604	Pampa del Tamarugal	29	5	57	87	209	387	3.226	27.717
t o t a l		852	406	805	251	243	2.507	53.631	137.044

2.3.3 Control Periódico de la Superficie Freática

Los primeros programas de control de la superficie freática emprendidos en el país, se iniciaron con anterioridad al año 1960. Sin embargo, sólo a partir del año 1969, se logró implantar un control periódico y estable de la superficie freática.

Algunos de los aspectos en los cuales se utilizan los antecedentes aportados por el control de la superficie freática, pueden citarse los siguientes:

- 1.- Es un elemento útil para la definición de áreas de recarga y descarga de agua subterránea.
- 2.- Permite establecer y corregir políticas de explotación del agua subterránea.
- 3.- Suministra antecedentes valiosos para la ejecución de cualquier investigación hidrogeológica.
- 4.- Cada corrida de mediciones constituye de por sí un indicador de la situación en que se encuentra el embalse subterráneo.
- 5.- Representa un claro aporte al estudio de Balances Hidrológicos de Cuencas.

En la actualidad el programa de control de la superficie freática consulta la medición mensual de 1.220 pozos en el sector del país comprendido entre su extremo norte y la hoya del río Mataquito.

Para llegar al actual programa de mediciones, fué necesario seleccionar de entre los pozos existentes en cada hoya, aquellos que mejores condiciones presentaban. Lo cual implicaba considerar además de los factores hidrogeológicos, algunos otros no menos importantes, tales como las características de las instalaciones de bombeo, las que a menudo impiden o dificultan la medición, facilidades de acceso al pozo y grado de explotación de la obra, ya que si un pozo es frecuentemente bombeado, lo probable es que de él se obtenga sólo una pequeña cantidad de medidas. En algunos casos fué necesario instalar dentro del pozo, cañerías de pequeño diámetro destinadas exclusivamente a hacer posible la medición de su nivel de agua. Al obtener mayores antecedentes sobre fluctuaciones de ni

veles, se podrá seleccionar de nuevo la red de mediciones, reduciendo considerablemente su número.

Los instrumentos empleados en estas mediciones son la huincha metálica, la línea de aire y la sonda eléctrica. El sistema de línea de aire se le utiliza poco debido a su falta de precisión. En algunos casos se emplean también registradores automáticos; estos instrumentos son de un elevado costo y sólo pueden ser instalados en pozos de 10" ó más de diámetro, perfectamente verticales y cuyo nivel se sitúa a no más de unos 20 metros de profundidad, condiciones que en la práctica son difíciles de lograr.

La medida de cada pozo se refiere a un punto fijo de la obra perfectamente marcado, denominado "punto de medida". Las variaciones que dicho punto experimenta, como consecuencia de los cambios o reparaciones de los equipos de bombeo, son anotados a objeto de no variar el punto de referencia primitivo.

La nivelación geométrica es un complemento necesario y de apoyo a los programas de control de la superficie freática.

Consiste en la nivelación del punto de medida del nivel estático de los pozos existentes, refiriéndolos al nivel del mar, para lo cual se utiliza la red de puntos de nivelación del Instituto Geográfico Militar.

Las cotas obtenidas, hacen posible el trazado de curvas equipotenciales, las que permiten establecer el gradiente del agua subterránea, su sentido de escurrimiento y las zonas de recarga y descarga.

La estadística de niveles de cada pozo es graficada y archivada junto a sus otros antecedentes.

A objeto de aumentar la eficiencia en el manejo de la estadística disponible y poder sacar de ella el mayor partido, se ha iniciado su codificación en tarjetas IBM, lo cual además permitirá realizar, a un reducido costo, periódicas publicaciones, en las que se informará acerca de los cambios que haya podido experimentar la superficie freática en las diversas hoyas controladas.

Para ilustrar la importancia que tiene el control de la superficie freática, sobre todo en aquellas áreas en las cuales los recursos

de agua subterránea son explotados masivamente, se describirá e ilustrará someramente lo que está ocurriendo en el valle de Azapa.

Descripción de las fluctuaciones de la superficie freática en el valle de Azapa

La recarga de los sedimentos aluviales del valle de Azapa se realiza a través de dos sistemas diferentes. El primero de ellos constituye un proceso natural en el que intervienen las esporádicas avenidas que escurren por su cauce principal, como consecuencia de tormentas estivales en la alta cordillera las cuales corresponden al llamado invierno boliviano. Los efectos que tienen estas avenidas, de rápido escurrimiento, en la superficie freática, dependen fundamentalmente de su magnitud, pues casi no logran alterar la tendencia general de las curvas limnigráficas.

El segundo mecanismo de recarga, puede ser considerado como artificial, ya que proviene de la infiltración de las aguas del canal Lauca, las que se utilizan para el regadío del sector medio del valle, donde también existe una importante explotación de recursos de agua subterránea.

Las aguas del citado canal comenzaron a llegar al valle a mediados del año 1962, sufriendo a partir de esa fecha varias interrupciones. Su escurrimiento se regularizó sólo a partir del mes de Abril de 1967.

La influencia que ha tenido este mecanismo de recarga en la superficie freática del sector medio del valle, puede apreciarse en el limnigrama correspondiente al pozo N° 68, el cual representa la zona descrita.

El limnigrama del pozo N° 118 ubicado en el sector del valle demuestra que la recarga que recibe este sector no sólo es insuficiente sino que es apreciablemente sobrepasada por la descarga la que en su mayor parte corresponde a extracción de agua subterránea para el abastecimiento del sector urbano.

El control de la superficie freática permitió detectar a tiempos estos descensos de nivel, evitando de este modo la inminente contaminación del agua subterránea con agua de mar, fenómeno conocido con el nombre de intrusión salina.

Entre las medidas que se aconsejaron adoptar, las cuales fueron inspiradas en las fluctuaciones de la superficie freática, figuran la de utilizar parte de los recursos del Lauca para recargar el sector bajo del valle,

ce haber cortado las fuentes naturales de recarga, fenómeno que agregado a una creciente explotación de recursos de agua subterránea, tiende a acentuar el estado de desequilibrio que existe en el embalse subterráneo.

Es interesante hacer notar en este aspecto que uno de los sub grupos de trabajo creados por UNESCO en su Decenio Hidrológico es el de "Influencia de la Urbanización en la Hidrología". Las publicaciones que ellos efectúen serán de extremo interés para nuestros casos.

De los casos citados, se puede concluir la conveniencia de es tablecer un control de explotación del agua subterránea extraída, en aque llas zonas del país, en las cuales exista, de acuerdo al catastro nacional de pozos y una elevada densidad de estas obras y de acuerdo al con - trol de la superficie freática, un descenso sostenido de dicha superfi - cie.

La metodología empleada para realizar en terreno esta labor , consiste en medir el caudal de cada pozo, utilizando cualquiera de los mé todos convencionales (escuadra, orificio o molinete), esta determinación puede realizarse dos veces al año.

El tiempo anual de operación se determina en la mayoría de los casos, definiendo la potencia efectiva utilizada por los equipos de bom - beo, en base al medidor de consumo eléctrico, del cual se obtiene u n a constante cuyas dimensiones son KWH por hora de funcionamiento. El cuo - ciente entre esa constante y los KWH por año de operación, obtenidos a través de la compañía distribuidora eléctrica correspondiente, permite ob tener la cantidad de horas de bombeo anual.

Hasta la fecha, no se han realizado en el país trabajos siste - máticos de esta naturaleza. Solamente durante el año 1968 se determinó , utilizando la metodología descrita, que la extracción de agua subterránea en el valle del río Aconcagua fué en dicho año 20,5 millones de m³. Más o menos en la misma fecha, se realizó también en el valle del río Maipo una encuesta similar, según la cual la extracción anual de agua subterrá nea en dicho valle fué de alrededor de 250 millones de m³.

2.3.5 Acción Futura

Al comienzo del presente trabajo, se expresó la necesidad de

establecer una política de uso conjunto de agua superficial y subterránea, la que hasta la fecha no ha sido posible definir claramente.

Normalmente existe la tendencia a nivel técnico e institucional, a abanderizar y enfatizar la importancia que soluciones en base a aguas superficiales tienen con respecto a otras, basadas en la utilización de agua subterránea, como si se tratara de soluciones totalmente incompatibles y excluyentes entre sí, ó como si en definitiva existieran dos clases o tipos de aguas.

Es muy posible que lo citado anteriormente sea el origen o escollo principal que existe para lograr el establecimiento de la citada política.

Profundizando algo más en el problema se podría agregar, que por tener más importancia y resonancia soluciones en base a aguas superficiales, los que las propician, tienden a menudo a ignorar el agua subterránea.

Para ilustrar lo expresado, basta con recordar lo que sucede en el Valle de Azapa, en cuyo caso es posible afirmar que los problemas que ocurren en su sector bajo, hubiesen podido evitarse, de haber existido en la autoridad competente un concepto de unidad de ambos recursos.

El valle del río Copiapó, también es un buen ejemplo, ya que es una de las zonas del país, en la cual el agua subterránea es explotada a modo de embalse multi-anual. En este caso la pregunta que cabe formularse es ¿Qué sucedería con el agua subterránea si por medio del tranque Lautaro, se disminuyera sustancialmente la recarga de los acuíferos? Similares consideraciones son posibles de plantear para el caso de la construcción del embalse Puntilla del Viento, en el Valle del río Aconcagua.

Otro importante aspecto del problema es la gran diferencia que existe en el costo de explotación de ambos recursos. Dicha diferencia aunque ficticia, propende hacia la no utilización de recursos de agua subterránea, en razón a que para su empleo, el usuario debe incurrir en elevadas inversiones iniciales a las que hay que agregar también las de explotación.

Es corriente el caso, especialmente en el sector agrícola, de que los usuarios dispongan de usufructos que comprometan tanto recursos superficiales como subterráneos, reservándose el derecho de usufructuar de unos u otros, o incluso de ambos a la vez.

Con lo dicho se ha pretendido indicar algunos de los inconvenientes que implica la no existencia de una política dirigida de uso y distribución de los recursos de agua del país.

Al igual que en los otros recursos, debe archivarse esta información en un organismo centralizador mediante sistemas adecuados y ágiles como el que ya CORFO ha iniciado con IBM.

Analizarla y publicarla periódicamente es función básica que no debe dejarse de lado.

A la mayor brevedad deberá abordarse la medición de caudales subterráneos extraídos artificialmente, los que ligados al aporte natural por vertientes y evapotranspiración y a las fluctuaciones de niveles nos permitirán cuantificar mejor esta parte del ciclo hidrológico.

Una acción legal por parte del D.G.A. destinada a catastrar las intenciones de perforación, permitirá bajar los costos, de por sí altos, en esta materia.

Es necesario dotar al personal que efectúa estas labores de medición de una flota de vehículos más acorde con sus trabajos.

Finalmente, en el campo del procesamiento de datos conviene efectuar publicaciones periódicas, tal vez anuales, de las curvas equipotenciales de superficie freática por lo menos en aquellos valles donde el recurso subterráneo está siendo explotado con mayor intensidad.

2.4. CALIDAD DE LAS AGUAS

2.4.1. Antecedentes Generales:

Desde hace siglos la humanidad ha dañado y desperdiciado su recurso más valioso, el agua. El hombre ha contaminado los ríos y lagos en tal grado que sus aguas han dejado de ser buenas para el consumo humano o suficientemente aptas para la industria.

Recién se está tomando conciencia de la importancia del agua en el desarrollo social, agrícola, industrial o minero y, en general, ya no se decide sobre la ubicación de una industria sin tener en cuenta sus relaciones con el agua y el grado de contaminación que le impondrá.

Queda la posibilidad de no llegar a una crisis en el problema del agua siempre que apliquemos oportunamente la ciencia y la tecnología y la usemos sabiamente.

2.4.2. Situación en Chile:

2.4.2.1. Instituciones:

En Chile, el Servicio Nacional de Salud fue creado por mandato de la ley 10.383, del 8.8.1952. Dentro de las acciones sanitarias que le confirió la ley, corresponde a la Sección Higiene Ambiental del S.N.S. procurar que los cursos de aguas superficiales o subterráneos, lagos o playas, resulten con la menor contaminación posible. Este Servicio ha actuado generalmente por requerimientos específicos y se ha especializado en contaminaciones por residuos industriales líquidos.

La Dirección de Obras Sanitarias del Ministerio de Obras Públicas, en su calidad de organismo destinado a abastecer de Agua Potable a los pueblos y ciudades, está de continuo controlando la calidad de las aguas que los abastecen; cuenta, por lo tanto, con numerosos análisis físico-químicos y bacteriológicos, pero no se conocen de esa Dirección publicaciones o informes regionales.

Recientemente, el Servicio Agrícola y Ganadero y la Dirección General de Aguas se están preocupando también de este tema, sin conocerse aun resultados o informes.

Finalmente, CORFO ha creado una Sección Calidad de las Aguas dentro de su Departamento de Recursos Hidráulicos y con el fin de investigar el estado actual de las contaminaciones en cauces superficiales y corrientes subterráneas, con el objeto de sugerir políticas de planificación hidráulica, tendientes a evitar las contaminaciones. En esa Sección se estudia también las técnicas de desalación.

El Departamento de Recursos Hidráulicos cuenta con aproximadamente 3.000 boletines de Análisis de Agua, de algunas importantes cuencas del País (Loa, Copiapó, Huasco, Aconcagua y otras). Existe la necesidad de recopilar y clasificar estos análisis por Hoyas Hidrográficas y por lugares y fechas de muestreo. Esto permitiría analizar la variación de la calidad química del agua y su aptitud para los diversos usos.

A pesar de que por lo menos cinco instituciones fiscales tienen relación con el problema de la calidad de las aguas, muy pocos son los profesionales y personal dedicado a ellas.

2.4.2.2. Laboratorios que trabajan en aguas:

Dentro de este rubro podemos citar entre otros a los siguientes:

- Departamento de Salud Pública y Medicina Social (S.N.S.)
- Dirección General de Aguas (M.O.P. y T.)
- Dirección de Obras Sanitarias
- Empresa de Agua Potable.
- Escuela de Agronomía (U. de Chile)
- Instituto Bacteriológico.
- Instituto de Higiene Industrial y Contaminación Atmosférica.
- Instituto de Investigaciones y Ensayos Farmacológicos (IDIEF)
- Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Sección Ingeniería Sanitaria (U. de Chile)

Cabe señalar que éstos y otros laboratorios no contemplados en la nómina, trabajan con diversos métodos analíticos, de acuerdo a su capacidad e instrumentación, lo cual acarrea como consecuencia disparidades en los resultados de muestras iguales. Esto ha motivado la realización de un Seminario sobre "Métodos de Análisis de Aguas", en el cual participan la casi totalidad de los Laboratorios citados anteriormente.

2.4.3. Requisitos de Calidad de las Aguas según sus Usos:

El agua, en estado natural, lleva normalmente incorporados otros elementos químicos, por lo que es muy improbable encontrarla en la naturaleza en forma pura. Aun más, incluso el agua de lluvia no es siempre pura ya que recoge de la atmósfera minerales disueltos y gases solubles (dióxido de carbono y dióxido de azufre) y posteriormente los precipita incorporados en mayor o menor grado. Esto, si bien implica una degradación de la calidad química del agua, no constituye contaminación propiamente tal, ya que por contaminación se entiende una alteración o degradación tal de la calidad del agua que la hace inaprovechable. Esta deterioración es debida principalmente al hombre, aunque también existen causas naturales. Por otra parte, el agua puede ser de tan mala calidad natural al obtenerse que no se pueda utilizar.

Atendiendo a la vital importancia del agua en las diversas actividades del hombre, es necesario destacar los requisitos mínimos de calidad que debe cumplir para destinarla a los distintos usos.

Considerando los que, a nuestro parecer, constituyen los principales usos del agua (abastecimiento de agua potable, riego y abastecimiento industrial), destacaremos algunos requisitos de calidad, según un anteproyecto de Norma, para la Protección del agua de los cuerpos receptores de aguas servidas y de residuos industriales líquidos.

CARACTERISTICAS USOS	Abast.de A.Pot.(su jeta a trat)	R I E G O			ABAST. INDUSTRIAL	
		Verd.y si milares.	Citrus	Otros Cultiv.	Elab.de Aliment.	Refrig.y otros usos
Bacterias (b/100 ml.)						
Coliformes (opt.)	100	100	1.000	10.000	1	
Coliformes (máx.)	10 ⁴	1.000	10.000	50.000		
DBO 5d-20°C(mg/l)opt.	1				0.0	5.0
DBO 5d-20°C(mg/l)máx.	2				2.0	10.0
SD (mg/l) (máx.)	1.500					
Boro (mg/l) (opt.)			0.5	1.0		
Boro (mg/l) (máx.)			1.0	5.0		
Na % (opt.)		35.0	35.0	35.0		
Na % (máx.)		80.0	75.0	80.0		90.0

Los análisis químicos que se efectúan para las investigaciones de CORFO se hacen en base a la siguiente tabla de datos y por medio de ellas se puede clasificar perfectamente si las aguas son o no aptas para determinados usos.

ORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS.
Sección Calidad Química del Agua

ANALISIS DE AGUA

Muestra N° Cuenca
Corrida N°
N° de muestra de esta corrida

Procedencia

Fuente	U b i c a c i ó n			
	Coordenadas	Nombre o lugar	Comuna	Departamento Provincia
Río				
Pozo				
.....				
Otra				
.....				

Operador del muestreo
Fecha y hora del muestreo
Fecha envío muestra al laboratorio

1.- Determinaciones in situ

Caudal (mg ³ /seg)	Carbonatos (CO ₃) (mg/l.)
Temperatura ° C.	Bicarbonatos (HCO ₃) (mg/l.)
pH	H ₂ S (mg/l.)
Fierro, Fe ⁺⁺ (mg/l.)	CO ₂ (mg/l.)
Oxígeno disuelto (mg/l.)	Cloro residual (mg/l.)

2.- Información del Laboratorio

Métodos de análisis Operador en Lab.:
Fecha

2.1.- Macrocomponentes

CATIONES	mg/l.	mg/l.	A N I O N E S	mg/l.	mg/l.
Calcio (Ca)			Carbonatos (CO ₃)		
Magnesio (Mg)			Bicarbonatos (HCO ₃)		
Sodio (Na)			Cloruros (Cl)		
Potasio (K)			Sulfatos (SO ₄)		
S u m a			S u m a		

2.2.- Microcomponentes

Litio (Li)			Boro (B)		
Cobre (Cu)			Sílice (SiO ₂)		
Fierro (Fe)			Nitratos (NO ₃)		
Manganeso (Mn)			Selenio (Se)		
Zinc (Zn)			Fluor (F)		
Arsénico (As)			Aluminio (Al)		
			Fosfato (PO ₄)		

2.3.- Otras Características

pH (de laboratorio)
 Dureza total, c.Ca CO₃(mg/l)
 Dureza bicarbonatos c.Ca CO₃(mg/l)
 Dureza de no bicarbonatos, c.Ca CO₃(mg/l)
 Residuo sólido disuelto (R.S.D.) (180°C)(mg/l)
 Sólidos Totales(mg/l)
 Conductancia específica (C.E.)(micromhos) cm. 25°C.
 Relación: $\frac{R.S.D.}{C.E.}$
 Turbiedad (unidad Jackson).
 Color(escala Pt.Co)
 S A R
 Porcentaje de Sodio
 Índice de Langelier
 Índice Coli (NMP)(b/Coli/100 ml)
 DBO (5d.20°C)(mg/l)

OBSERVACIONES

.....

 Jefe Sección Calidad
 Química del Agua

SANTIAGO, de de 19

2.4.4. Contaminaciones y Degradaciones:

Si bien el agua pura prácticamente no existe en la naturaleza, es evidente que el hombre contribuye cada día más a degradarla en sus distintas fuentes. Es así, como tanto el agua subterránea como la superficial, va siendo contaminada por las aguas servidas de las poblaciones, los residuos industriales, los productos químicos utilizados (pesticidas, detergentes, etc.), además de otras formas de contaminación del agua que se van haciendo cada vez más aceleradas; es así como en las zonas costeras (Concón, por ejemplo) las condiciones de sobreextracción del acuífero profundo hace que la recarga se produzca parcialmente con agua de mar desde el acuífero freático, lo que va degradando paulatinamente la calidad del agua de los pozos de la D.O.S. (Ver Gráfico Nº 17).

En cuanto a contaminación de aguas superficiales se puede destacar el estudio de la contaminación del río Aconcagua, en el cual se concluye que las fuentes de contaminación más importantes en este río, son las aguas servidas de la población y los residuos industriales.

Existen gráficos de la variación de la contaminación del río Aconcagua, en función del índice coli, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno disuelto necesario para la oxidación bioquímica de la materia orgánica putrecible, durante el proceso de estabilización de la misma (Ver Gráfico Nº 18). Se aprecia la influencia de las descargas de aguas servidas y de residuos industriales sobre la calidad del agua del río (disminuye el oxígeno disuelto y aumenta la DBO y el índice coli). Sus efectos son especialmente notorios aguas abajo de San Felipe y de Quillota, lugares que se ven afectados por el bajo caudal del río (aprox. 0.5 m³/s. Abril-Mayo 1971).

Otro tipo de medición que tiene directa relación con el anterior es el de la variación de la población equivalente que descarga al río. Entendiéndose por población equivalente, la cantidad de habitantes que produce el mismo efecto contaminante que la descarga

de un residuo industrial de un proceso determinado por unidad de producción (Ver Gráfico Nº 19).

Se calcula mediante la expresión:

$$P.E. \text{ (hab.)} = \frac{V \text{ (m}^3\text{/día)} \times \text{DBO del RIL (gr/m}^3\text{)}}{60 \text{ (gr/hab. x día)}}$$

V = Volumen de producción del RIL diario de la industria.

60 (gr/hab. x día) = Carga diaria por habitante; expresa la cantidad de oxígeno disuelto necesario para estabilizar, mediante procesos biológicos, las aguas servidas domésticas producidas en promedio por un habitante en un día.

El Departamento de Recursos Hidráulicos cuenta también con interesantes estudios regionales entre los cuales existen perfiles químicos bastante completos del río Loa como, asimismo, se cuenta con perfiles de calidad química, en función de sólidos disueltos, para el agua superficial y subterránea del Valle de Copiapó y el agua superficial del río Aconcagua (Figuras Nºs 20, 21 y 22).

Otra Hoya Hidrográfica, cuya calidad química ha sido estudiada y analizada en forma más o menos intensa, es la del Salar de A tacama. En ella existe un plano de gastos medios de calidad química en función de su contenido de Arsénico, Boro y sólidos disueltos. (Se adjunta plano escala 1:1.000.000 - Ver Figura Nº 23).

2.4.5. Acción Futura:

- Por los ejemplos expuestos se deduce claramente la importancia de conocer las contaminaciones que la naturaleza y el ser humano le imponen a las aguas en su escurrimiento dentro del ciclo hidrológico.

- Las características de las aguas deben estudiarse tanto desde el punto de vista físico-químico, como biológico, efectuándose tanto estudios regionales como puntuales para aquellos casos especí-

ficos de importancia. Además, se requiere que este tipo de estudios sea hecho en forma periódica para poder apreciar el avance o disminución de las contaminaciones por medio de las políticas formuladas.

- Al igual que en los otros recursos de agua, se requiere aquí codificar la información, archivarla y publicarla periódicamente.

- Un aspecto importante de la acción futura es que los laboratorios trabajen con iguales métodos analíticos para obtener así resultados comparables.

2.5 FACTORES CLIMATICOS

2.5.1 Situación Actual : La situación en nuestro país referente a la medición de los factores climáticos es esencialmente diferente a la planteada en los capítulos anteriores.

Primeramente debe decirse que la medida de los diversos factores climáticos está circunscrita básicamente a tres Instituciones: La Oficina Meteorológica de Chile, la Dirección General de Aguas y la ENDESA. El Ministerio de Agricultura, por medio del Servicio Agrícola Ganadero también efectúa mediciones orientadas hacia sus fines específicos.

Los antecedentes de las mediciones efectuadas se encuentran en los archivos de cada Institución, desconociéndose publicaciones al respecto y dado el escaso tiempo para efectuar este trabajo, no fué posible conocerlos y haber obtenido duración de estadísticas, calidad de éstas, tipo de instrumentos utilizados, etc.

Los antecedentes que fueron posibles recopilar sólo permiten hacer un balance de la situación actual del N° de estaciones ya que en muchos casos no se ha llevado un efectivo control de las fechas de instalación y supresión de cada instrumento que permita realizar en un tiempo prudencial una evaluación de las estadísticas existentes.

2.5.2 Factores climáticos medidos y su distribución geográfica y por Institución

En el cuadro adjunto se presenta un resumen de los puntos de medida que se efectúan en el país actualmente. En este cuadro se ha dividido el país en 6 zonas de norte a sur separando en cada una las medidas realizadas por cada Institución. Las zonas consideradas son las siguientes:

Norte Grande	: De Arica hasta Copiapó exclusive
Norte Chico	: De Copiapó a La Ligua
Central Norte	: De Aconcagua a Mataquito
Central Sur	: De Maule a Bío-Bío
Sur	: De Imperial a Puelo
Austral	: De Puelo al Sur

Del cuadro se deduce que el número de lugares de medición de cada factor climático en todo el país es el siguiente:

Temperatura	:	171
Humedad relativa del aire	:	147
Presión Atmosférica	:	106
Viento	:	99
Radiación Solar	:	52

NUMERO DE ESTACIONES POR INSTITUCION EN QUE SE MIDEN LOS DISTINTOS

FACTORES CLIMATIVOS A TRAVES DEL PAIS

ZONA	TEMPERATURA				HUMEDAD				PRESION				VIENTO				RADIACION SOLAR			
	O.M. Ch.	D. G. A.	ENDESA	TOTAL	O.M. Ch.	D. G. A.	ENDESA	TOTAL	O.M. Ch.	D. G. A.	ENDESA	TOTAL	O.M. Ch.	D. G. A.	ENDESA	TOTAL	O.M. Ch.	D. G. A.	ENDESA	TOTAL
NORTE GRANDE	10	19	4	33	8	17	3	28	9	1	-	10	11	1	1	13	7	1	1	9
NORTE CHICO	8	14	-	22	8	15	-	23	9	3	-	12	8	3	-	11	3	3	-	6
CENRAL NORTE	27	11	3	41	18	9	3	30	20	5	2	27	19	5	1	25	8	5	2	15
CENTRAL SUR	14	8	8	30	12	8	6	26	14	2	4	20	11	2	2	15	4	2	3	9
SUR	10	-	4	14	8	-	4	12	9	-	-	9	8	-	4	12	3	-	3	6
AUSTRAL	29	1	1	31	26	1	1	28	28	-	-	28	23	-	-	23	6	-	1	7
TOTAL EN EL PAIS	98	53	20	171	80	50	17	147	89	11	6	106	80	11	8	99	31	11	10	52

En el Norte Grande los controles de la D.G.A. y ENDESA se concentran fundamentalmente en la región del altiplano, lugares en los cuales ambas instituciones tienen intereses específicos en relación a riego e hidroelectricidad.

El Norte Chico sólo es controlado por la O.M.CH. y la D.G.A. siendo este último organismo el que posee mayor número de controles principalmente en cuanto a temperatura y humedad.

La zona Central Norte y Central Sur son controladas en su mayor parte por la O.M.CH. siendo la región mejor controlada del país.

La zona Sur es controlada por O.M.CH. y ENDESA, la primera a lo largo de la región costanera y la segunda más al interior en aquellas zonas de interés hidroeléctrico.

La zona Austral es controlada básicamente por la O.M.CH. en su mayor parte a lo largo de la región costanera.

Las estadísticas de temperatura, humedad, presión y viento son llevadas por cada Institución, en cambio los datos de radiación solar son procesados y archivados por el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Santa María.

Aparte de las Instituciones anteriormente indicadas existen otras que poseen estaciones meteorológicas para fines especiales. Entre ellas se encuentra el Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura que posee actualmente 15 estaciones agrometeorológicas ubicadas entre Vallenar y San Fernando. Estas estaciones controlan precipitación, temperatura del aire, suelo y subsuelo, humedad, vientos, etc. orientando esencialmente al conocimiento de las relaciones aire-planta-suelo.

2.5.3 Acción Futura :

- Centralizar la información y codificarla
- Analizar y publicar los datos
- Estudiar una red de 1er. orden y otra de 2º orden destinadas a obtener información básica
- Entrenar personal para efectuar las mediciones
- Llevar la información a planos a escala 1:1.000.000 ó 1:500.000 para obtener las condiciones general del país en estos aspectos.

2.6 EVAPORACION E INFILTRACION

2.6.1 Evaporación :

La evaporación constituye uno de los factores que interviene en el ciclo hidrológico. Interesa conocer su influencia a fin de cuantificar los recursos hidráulicos disponibles.

La medida directa de la evaporación se hace generalmente a través de evaporímetros de estanque o piche.

Los antecedentes disponibles sólo permiten hacer un análisis de las instalaciones existentes a la fecha, ya que no es posible conocer en un breve tiempo todos los datos referentes a fechas de instalación y su presión de estaciones y longitud de estadísticas, como sucede en el caso de estadísticas pluviométricas.

En la actualidad existen alrededor de 130 evaporímetros instalados en el país. Cuatro instituciones tienen la mayor parte de las instalaciones evaporimétricas: La Oficina Meteorológica de Chile, la Dirección General de Aguas, la ENDESA y el Servicio Agrícola y Ganadero.

En el cuadro adjunto se ha hecho un resumen de los lugares en que se realizan mediciones en el país. En este cuadro se ha dividido el país por zonas, similar a la división hecha al analizar los factores climáticos, separando en cada una los instrumentos pertenecientes a cada institución.

En el Norte Grande la mayor cantidad de evaporímetros está a cargo de la Dirección General de Aguas con 22, las cuales están instaladas preferentemente en la zona del altiplano y la pampa. En el Norte Chico hay instalados 21 instrumentos, la mayoría pertenecientes también a la Dirección General de Aguas. La zona Central Norte y Sur es la mejor controlada con un total de 40 instrumentos.

En la zona Sur la ENDESA controla 13 instrumentos de un total de 17. En la zona Central solamente hay instalados 4 evaporímetros, pertenecientes a la Dirección General de Aguas y ENDESA.

Separando por institución y por zona las instalaciones evaporimétricas del país, se llega al siguiente resumen:

NUMERO DE EVAPORIMETROS INSTALADOS ACTUALMENTE EN EL PAIS

ZONA	O.M.CH.	D.G.A.	ENDESA	S.A.G.	TOTAL
NORTE GRANDE	7	22	4	-	33
NORTE CHICO	6	15	-	5	26
CENTRAL NORTE	5	10	4	4	23
CENTRAL SUR	6	8	7	6	27
SUR	2	2	13	-	17
AUSTRAL	-	3	1	-	4
TOTAL EN EL PAIS	26	60	29	15	130

Los registros estadísticos están a cargo de cada Institución manteniéndose en cada una un archivo correspondiente.

Durante los últimos años se han hecho algunos trabajos en el país con el objeto de estudiar diferentes aspectos relacionados con la evaporación. Merecen destacarse las experiencias efectuadas por la División Hidrología de ENDESA en el Embalse Lliu-Lliu al interior de Limache con el propósito de comprobar o comparar el instrumental destinado a medir evaporación como asimismo analizar las diferentes fórmulas empíricas usadas para evaluar la evaporación potencial en base a factores meteorológicos. Igualmente resulta interesante el trabajo ejecutado por el Ing. Emilio Iranguen sobre "Cálculo y Medida de la Evaporación en Chile^(*)" donde se obtiene un mapa de evaporación anual de Chile que indudablemente podría servir de base a otros estudios que se realicen en el futuro.

(*) Memoria para optar al título de Ing. Civil (Escuela de Ingeniería Universidad de Chile - 1970).

2.6.2 Infiltración :

En el estudio de los recursos hidráulicos, la infiltración interviene en dos formas, como un aspecto del ciclo hidrológico en el balance de una cuenca y como porcentaje de retorno de la tasa de riego aplicada.

En el primer caso su determinación es difícil y debe basarse en métodos indirectos, tales como el análisis de hidrogramas en puntos seleccionados de una cuenca.

En el caso de regadío puede determinarse mediante diferencia entre la tasa aplicada y el agua consumida, como también a través de un control de fluctuaciones de nivel del agua subterránea.

En Chile, los valores de infiltración para ambos casos, son muy pocos y corresponden a estudios aislados. Por otra parte no existe una medición sistemática ya sea de la infiltración a nivel de cuenca, como tam poco en áreas de riego.

Por esto una acción hacia el futuro debe ir encaminada a mediciones sistemáticas de infiltración en diversas zonas del país, que nos permitan definir en mejor forma sus valores medios y extremos, valores interesantes de conocer para efectuar balances hidrológicos más precisos.

2.7. Recursos Hidráulicos no Explotados:

2.7.1. Glaciares:

En el symposio habido en Reading, Inglaterra, en Julio de 1970, se observó que aun quedaba mucho por hacer para tener valores precisos en el balance hidráulico y que los glaciares representan al rededor del 80% del agua de buena calidad en ese balance.

El área glacializada del globo terráqueo, sin considerar las áreas polares, se estima entre 182.000 Kms². (Corbel 1961) y 239.000 Kms²..

Uno de los países que más ha trabajado en cubicar sus recursos glaciológicos, es Canadá, quien estima poseer una superficie de 50.071 Kms²..

En Chile, poco o nada se ha hecho al respecto; las instituciones fiscales no se han dedicado preferentemente a este recurso y sólo algunas en forma esporádica han tocado aspectos especiales. Así tenemos que ENDESA en colaboración con personal de la U. de Chile efectuó experiencias en el glaciar Cotón destinadas a provocar un aumento del deshielo por medio de siembra aérea de una solución coloidal y negro de humo. La CORFO inició el catastro de glaciares del Valle del Aconcagua, quedando esta labor sin terminarse por falta en el país de personal especializado.

Entre el 15 de Noviembre y el 15 de Diciembre del presente año se realizará en Santiago un "Curso Internacional de Hidrología de la Nieve y del Hielo", auspiciado por UNESCO como parte de su Decenio Hidrológico, el que será dictado por 3 expertos en la materia, entre los que contaremos al profesor L. Lliboutry. Debe aprovecharse este curso para formar profesionales nacionales en esta materia que nos permitan cuantificar este recurso.

Se considera de extrema importancia para Chile el conocimiento de nuestros glaciares ya que ellos representan una de las reservas más grandes de agua con que contamos y es a la vez importante conocer sus características antes que iniciemos su explotación, ya que el uso indiscriminado de ellas puede tener repercusiones insospechadas.

En caso de iniciar un catastro glaciológico, éste deberá contemplar a lo menos tres aspectos: Inventario, atlas glaciológico y archivo de datos.

El inventario deberá consistir en:

- La interpretación y anotación en fotografías aéreas de las áreas glacializadas, utilizando fotos a escalas entre 1:30.000 y 1:60.000. Las fotografías deben tomarse periódicamente cada 5 años o menos si fuese posible y en el mismo mes del año, en lo posible al fin del período de ablación.
- La preparación de mapas básicos a escala 1:50.000 y basados en las fotografías aéreas existentes.
- La medición de todos los datos desde las fotos aéreas, requeridos en la "Hoja estandard de datos", utilizando máquinas lectoras especiales unidas a computadores. La cinta magnética obtenida se pasa por un programa Fortran para seleccionar y resumir la información.
- La transferencia de datos de cada glaciar a la Hoja estandard y la preparación de informes.

Conviene que todos los inventarios que se hagan se ciñan a las normas establecidas por la Comisión Internacional de la Nieve y del Hielo, grupo de trabajo del Decenio Hidrológico de la UNESCO, publicado en 1970. En esta forma están trabajando Canadá, Rusia, Italia y Noruega.

Un segundo aspecto es el Atlas Glaciológico que para todo Chile podría dibujarse a escala 1:500.000; deberá contener la ubicación de ellos y la codificación numérica que les corresponda.

Finalmente, debe hacerse un archivo del inventario ordenado por sus números de códigos, con todos los antecedentes de cada glaciar, formando así un centro de datos glaciológicos los que permitirán más adelante seleccionar los glaciares más representativos para futuros estudios. Este centro de datos deberá efectuar publicaciones periódicas de los antecedentes que se vayan recopilando.

Si tenemos en cuenta que la demanda de agua aumenta, aproximadamente al doble de la velocidad que aumenta la población, no debe

mos extrañarnos que requerimos con urgencia conocer nuestras reservas glaciológicas, debiendo empezar de inmediato con la toma de fotografías aéreas impidiendo así la pérdida de años y datos irrecuperables.

BIBLIOGRAFIA:

Proceeding of Workshop seminar 1970 on Glaciers, sponsored by Canadian National Committee for I.H.D. UNESCO.

2.7.2. Lluvia Artificial:

Son suficientemente conocidos los métodos empleados para provocar lluvia artificial, sobretodo aquellos que tienden a aumentar los núcleos de condensación cuando las condiciones de presión y temperatura están dadas, con el objeto de producir o acelerar la iniciación del proceso que da lugar a la lluvia; sin embargo, aun no se conoce con suficiente aproximación la eficacia del método, pues es necesario un registro pluviométrico extenso antes de comenzar las experiencias como, asimismo, un período de pruebas continuado durante bastante tiempo, el cual puede ser superior a diez años.

Experiencias realizadas en otros países, señalan como posible la obtención de un recurso adicional de agua por medio de la lluvia artificial; aunque el costo de las experiencias puede ser elevado, representa una interesante alternativa para zonas áridas.

En Chile se han realizado experiencias en el Norte Chico y actualmente se realizan en el Norte Grande; de las primeras, por haber sido experiencias aisladas, no puede obtenerse ningún dato interesante; de las segundas, en caso de continuarse, deben acompañarse de un adecuado control pluviométrico en el área, con objeto de cuantificar a largo plazo, la eficacia de estas operaciones.

2.7.3. Neblinas:

Es posible la condensación artificial de neblinas bajas; interesantes experiencias han sido efectuadas por la Universidad del Norte en Antofagasta, siendo su resultado exitoso. Aunque los volúmenes recogidos no son muy grandes, es posible pensar en un abastecimiento de esta naturaleza para consumo humano de un número reducido de personas.

Existen puntos más propicios, dentro de una zona de neblinas bajas, los cuales generalmente corresponden a pequeñas gargantas en medio de cerros, donde se produce una circulación de aire la cual favorecería el rendimiento de los elementos captadores de agua.

Este sistema constituye una manera de obtener un recurso extra de agua, el cual puede ser muy interesante para zonas costeras, tanto del Norte Chico como del Norte Grande de Chile.

2.7.4. Trasvase de Cuencas:

Dado el título de este capítulo, "Recursos Hidráulicos no Explotados", el que pretende enunciar ciertos recursos existentes hoy día y que presentan una potencialidad futura y dada la realidad nacional, no podemos dejar de mencionar la potencialidad de recursos existentes en diversas cuencas hidrográficas, especialmente en el Sur, donde gran parte de sus recursos hidráulicos se vacía en el Mar.

En un análisis primario más amplio podríamos considerar como recursos potenciales todos aquellos que hoy en día no se utilizan y, por lo tanto, aun los de cuencas del Norte Grande, Norte Chico o Zona Central que se vacían al Mar o se malgastan por otras razones.

Dentro de esta idea se destacan los recursos hidráulicos del Sur del País, que representan volúmenes significativos que están perdiéndose y es así como ha surgido la idea del "Río de la Unidad".

Este Río de la Unidad representa sin lugar a dudas una interesante alternativa que debe ser estudiada acuciosamente, debiendo estudiar en primera prioridad los recursos hidrológicos de cada cuen

ca, el uso que de ellos se hace, la proyección futura de los usos y recursos, las obras hidráulicas complementarias requeridas y, posteriormente, un análisis económico del proyecto, el cual deberá compararse con otras soluciones más tradicionales y propias de cada región.

En todo caso, debe recalcar que la obra propuesta presenta una alternativa que si hoy en día no se llevare adelante, serán nuestros hijos o nietos los que deberán construirla.

3.- NECESIDAD DE EVALUAR LOS CONSUMOS HIDRAULICOS

Los consumos de agua, se dividen habitualmente en los siguientes sectores: consumo de riego, consumos urbanos, consumos industriales, mineros y utilización hidroeléctrica. También podemos nombrar al turismo o recreación y la navegabilidad por ríos y lagos, los que en Chile aún no son significativos. Cada uno de estos consumos tiene características muy propias en cuanto a las magnitudes de los recursos necesarios, oportunidad y seguridad de disponer de ellos, calidad del recurso, degradación y pérdidas ocasionadas por el uso, etc.

La multiplicidad y heterogeneidad de usuarios y la concepción de propiedad del agua que existía hasta poco tiempo atrás, explican que en un país de pequeño desarrollo económico como el nuestro, no haya sido posible efectuar los controles necesarios y la adecuada coordinación entre los programas de utilización de los recursos. La mayor parte de los antecedentes que existen, corresponden a medidas y controles sectorizados; información obtenida en general en forma poco sistematizada y en especial, no explotada con fines de planificación integral. Sólo en los últimos años CORFO ha estudiado los recursos hidrológicos como un todo indivisible y ha promovido el uso integrado de ellos, efectuando numerosas publicaciones.

Por estas razones, parece de importancia fundamental el lograr que las instituciones ligadas a la evaluación de los recursos y consumos, tomen la decisión de impulsar los estudios integrales y en especial, centralizar, publicar, sistematizar y normalizar las informaciones provenientes de cada uno de los diversos usuarios del agua como de las oficinas fiscales que estudian planes integrales.

Como podrán apreciar en la exposición que se presenta a continuación, los antecedentes sobre consumos no guardan relación con los de recursos; sabemos que existen valiosos antecedentes, pero éstos se encuentran dispersos y sin haber sido analizados desde el punto de vista de uso comunitario durante el tiempo que existió para preparar esta charla no fué

posible informarse y recopilar antecedentes para haberlos informado mejor acerca de la cuantía de datos existentes o al menos de las oficinas y empresas que los obtienen y coleccionan.

3.1 REGADIO

Entre todos los usos del agua, el riego es sin duda el que ocupa el mayor volumen de recursos y tiene por eso, una importancia trascendental en la planificación de los recursos hidráulicos, más aún si se considera que las condiciones de clima del país hacen imprescindible el riego en la mayor parte del territorio. Esta condición de ser el riego el uso que ocupa el mayor volumen de agua, su rol decisivo en la producción agrícola, del país y el hecho de que existe un fuerte déficit de producción de alimentos, unidos a la postergación económica de las zonas agrarias, indican la urgencia de aplicar una adecuada política de riego, para lo cual es necesario efectuar la planificación general del recurso agua.

La importancia económica que tiene queda de manifiesto en la publicación de la Política Nacional de Riego planteada por el Instituto de Ingenieros de Chile, en cuyo texto encontramos que para llegar al año 2000 con dietas alimenticias normales, la demanda de productos agropecuarios sería 3 veces superior a la demanda del año 1965. Esto involucra que si la producción agropecuaria continuara al ritmo actual (2.1% anual) el déficit de la balanza de pagos del sector, que en la actualidad alcanza a 150 millones de US\$, se elevaría a casi 1.000 millones de US\$. La significación económica de este déficit de la balanza de pagos queda de manifiesto si recordamos que las exportaciones totales de cobre del año 1970, alcanzaron a 870 millones de US\$.

Por las razones expuestas, el Plan Nacional de Riego, concluye en la imperiosa necesidad de aumentar a la brevedad, la producción agropecuaria del país.

Como metas de producción, el Plan ha adoptado aquellas que satisfagan las demandas de productos, procurando equilibrar la balanza de pagos del sector agropecuario, de tal manera que el país se autoabastezca de alimentos y que las exportaciones del sector equiparen las importaciones de los productos que no es posible o económico producir en el país.

Para cumplir con estas metas, es necesario abordar el aumento de producción desde tres frentes simultáneos: aumento de la seguridad de riego de algunos terrenos actualmente bajo canales, aumento del área de cultivo bajo canales, tecnificación de la agricultura.

El Plan de Riego cuantifica estos objetivos en las siguientes cifras: aumento de la seguridad de riego de 800.000 hás., incorporación a l riego de 530.000 hás. actualmente de secano, aumento de la productividad actual de la agricultura en un 140% entre 1970 y el año 2000. Esto involucra que a fines del presente siglo, la superficie total bajo agua de canales y con riego seguro, debería alcanzar a los 2,5 millones de hectáreas, y su explotación debería realizarse con una productividad superior al doble de la actual, vale decir, con niveles de eficiencia similares a la de los países altamente desarrollados.

Como puede observarse en el Plan de Riego parece claramente cuantificado los aspectos más generales de la planificación. Sin embargo, dicho Plan no ha podido llegar a una evaluación de los recursos hidráulicos necesarios debido a que no se dispone de los estudios sistemáticos que permitan por una parte conocer la realidad del aprovechamiento actual y por otra parte determinar las tasas de riego, rotación de cultivos y otros aspectos influyentes en la correcta fijación de los recursos necesarios.

Por esta razón es preciso abordar a la brevedad algunos de los aspectos más determinantes en la evaluación. Entre éstos, deberá iniciarse al más breve plazo la medición del agua de riego en el país y la instalación de estaciones experimentales que permitan determinar el adecuado aprovechamiento de las aguas y suelos.

La medición del agua de riego permite un mejor control de la tasa de riego, disminuyendo así el desperdicio de agua. Se han hecho estimaciones de la tasa promedio requerida por un riego racional en diversas cuencas hidrográficas y se han comparado con las tasas efectivamente utilizadas. De estas comparaciones se concluye que las extracciones o captaciones de agua desde los canales son superiores a las tasas requeridas por los cultivos, agudizándose este hecho en aquellas zonas en las cuales existe una mayor abundancia de este recurso.

Por otra parte, el poder controlar la tasa de riego a través de una efectiva medición de los volúmenes de agua utilizados, permite entregar a los cultivos, las cantidades de agua que efectivamente necesitan, evitándose los excesos o defectos que los perjudican.

Felizmente, nuestro país cuenta con una topografía y geología que permite el uso del agua 2 ó 3 veces en su recorrido de Cordillera a Mar. Por esta razón no puede considerarse que el agua usada en exceso en el sector alto de un valle sea pérdida neta, pues en gran parte incrementa los recursos subterráneos y más abajo será aprovechada por regantes. No ocurrirá igual cosa con los regantes del último sector del valle, vecino a la costa.

Aparte de las ventajas señaladas, la medición del uso del agua significa disponer de una hidrometría más precisa, elemento indispensable para el estudio y planificación de los recursos hidráulicos, y para el proyecto de las obras de desarrollo necesarias.

La necesidad y ventajas de medición de las aguas de riego, se hacen más evidentes e importantes en aquellas zonas de mayor escasez del recurso, en las que el ahorro, mejor uso y aprovechamiento máximo, son de vital importancia.

Se estima que para obtener un adecuado uso del agua, deberá cobrarse al usuario de acuerdo al volumen de agua utilizado por él. Para esto se requiere primeramente contar con un adecuado sistema de medida de caudales, el cual hoy día no existe y lo que es más importante, debe tenerse claro conocimiento sobre el volumen de agua necesario para cada cultivo, suelo y zona geográfica.

No puede olvidarse, que en la actualidad se realizan mediciones de algunos canales matrices como así también se controlan en forma parcial canales de distribución. El principal defecto que tienen, es la falta de calidad de las medidas y la discontinuidad con que se realizan. También se origina una falta de conocimiento por parte de la Oficina Fiscal rectora en esta materia de las medidas efectuadas en general por diversos usuarios privados, dado que no existe la obligación de efectuar los controles y menos aún de entregar la información a un organismo centralizador. Pue-

de concluirse entonces, que no sólo será necesario crear la conciencia y obligación de efectuar controles continuos y sistemáticos, sino que también la información resultante deberá ser centralizada.

Además de la medición del agua para riego, se ha planteado la necesidad de impulsar la creación de estaciones experimentales para la investigación del adecuado aprovechamiento de las aguas y suelos. Estas estaciones permitirían analizar la aplicación de nuevas técnicas de riego, control de la erosión, fertilización, genética, etc., lo que indudablemente se traduciría en un mejor aprovechamiento no sólo de los recursos hidráulicos sino que permitiría dar el apoyo científico necesario para alcanzar los índices de productividad que el Plan de Riego ha formulado.

De lo expuesto se puede concluir que la evaluación de los consumos de riego debe iniciarse con un examen exhaustivo de la situación existente en torno a la medición de las aguas, impulsar a nivel público y privado el control de los recursos utilizados y crear el apoyo científico para obtener el máximo aprovechamiento del agua y de los suelos.

3.2 URBANOS

El suministro de agua a los centros urbanos va dirigido a satisfacer las necesidades de diversos tipos de usuarios. Entre éstos, el consumidor doméstico, la industria y la utilización municipal, constituyen los usuarios más relevantes. A pesar de las diversas características de cada uno de ellos, el conjunto de usuarios recibe, por efectos de su localización en el centro urbano, el mismo tipo de recurso.

Se prevé para los centros poblados del Norte grande que esta situación no podrá continuar por muchos años, siendo tal vez más económico contar con redes diferenciadas por calidad de las aguas y por usuarios.

Dentro de los aspectos influyentes, parece adecuado, abordar a la brevedad la medición hidrométrica y control de la ubicación de la calidad de los afluentes y efluentes, y el control de los consumos actuales de manera de diferenciar el consumo urbano en las diversas utilizaciones que del recurso se realizan.

Los controles hidrométricos y de calidad permitirán conocer el manejo actual de estas aguas, fijar los volúmenes de pérdidas, detectar las variaciones estacionales, y en general, realizar la planificación secto - rial y a corto plazo. El control de calidad de las aguas afluentes será un antecedente de vital importancia para analizar la degradación que e l consumo origina sobre el recurso, lo que a su vez permitirá detectar la contaminación que se produce hacia aguas abajo y en consecuencia fijar las políticas de saneamiento y reuso del agua. El control de calidad de los a - fluentes será indispensable en aquellos sistemas que por la escasez d e l recurso y los aumentos de demanda sea preciso reusar los efluentes en el consumo urbano, o como ya ocurre en algunas ciudades del Norte, debe tener se en cuenta este problema en pro del turismo en sus playas.

El control de los diversos usuarios de los centros urbanos será de importancia para la planificación, debido a que de él podrán obtenerse las tasas reales de cada tipo de consumo, elemento indispensable para una correcta proyección de las demandas.

En la actualidad, algunas empresas de importancia disponen de controles obtenidos por procesamiento en computadores. Sin embargo, la infor mación entregada por esos procesos, no ha sido hasta ahora utilizada en la formulación de políticas de utilización del agua o en la aplicación de ta - rifas diferenciadas a los distintos tipos de usos.

Al igual que con los otros tipos de consumo, se ve la necesidad de contar con una decisión de efectuar los controles necesarios y de disponer de un organismo centralizado de la información, que analizándola formule una política de utilización de agua y a la vez pueda obtener los conoci - mientos necesarios para prever las dotaciones futuras según el tipo de po - blación a abastecer.

Desgraciadamente el escaso tiempo disponible para preparar e s t e trabajo y el hecho de no existir una oficina centralizadora de estos ante - cedentes y datos no ha permitido presentar resultados graficados como en el caso de los recursos. Esto no significa que no hayan datos ya que sólo los consumos individuales habrían servido para interesantes comentarios.

Es necesario hacer presente también que tanto en Santiago como en las provincias existen numerosos consumidores que no tienen medidor de caudal, esta situación debe terminar a la brevedad sin que ello signifique no poder continuar con una política de bonificación a los consumidores más humildes.

Deberá también efectuarse una intensa publicidad destinada a evitar el derroche del agua, principalmente causada por una inadecuada conciencia de la población en la importancia del recurso.

3.3 INDUSTRIALES-MINEROS

Analizaremos en el presente párrafo la situación actual sobre la evaluación de los consumos de la minería y de las industrias pesadas que se localicen fuera de los centros urbanos y, en consecuencia, disponen de abastecimiento de agua independiente de los consumos domésticos y municipales.

En nuestro país, no existen estadísticas oficiales sobre los volúmenes de agua que utiliza la industria y minería. Sin embargo, la mayor parte de la demanda se origina en pocas instalaciones de gran magnitud y, en consecuencia, la labor de recopilación, investigación y proyección se ve simplificada.

En la industria liviana y en la pequeña minería, por su heterogeneidad de técnicas, diversificación de localizaciones e incluso, falta de planes o programas de expansión, no es posible conocer sus demandas actuales y aún menos efectuar una correcta proyección de las demandas a largo plazo. Sin embargo, por la pequeña incidencia que tienen estos consumos, es probable que en una primera etapa no sea justificable una investigación muy exhaustiva.

En cambio, la evaluación y planificación de los consumos de la industria pesada y de la gran minería, podría abordarse. Para este efecto, el principal escollo actual es la falta de una institución con los medios y decisión para realizar esta labor.

La evaluación de estos consumos es de especial importancia en la zona norte del país, donde se concentra la mayor parte de la gran minería y donde los recursos de agua son escasísimos.

Se requiere conocer para cada una de ellas sus caudales afluentes, efluentes y el grado de contaminación de estos últimos, además de la ubicación de su descarga y de su ocurrencia en el tiempo.

En esta zona la evaluación de los consumos es indispensable ya que dada la escasez del recurso es necesario fijar las prioridades en su uso. Indudablemente, la primera prioridad deberá tenerla el consumo doméstico. Los excedentes sobre este uso deberán ser dedicados a los elementos productivos, como la minería y la agricultura. En este sentido, el conocimiento de las disponibilidades de agua y de los consumos existentes, diferenciando las diversas calidades de agua acordes a sus necesidades, permitirán la acción futura en orden a delimitar las áreas agrícolas y a fijar las capacidades de producción minera que podrán contar con su suministro suficiente, seguro y oportuno de agua.

3.4 HIDROELECTRICIDAD

Si bien el uso del agua en la hidroelectricidad no es de tipo consuntivo, es decir, el agua utilizada no es consumida sino que devuelta al cauce y susceptible de ser plenamente reutilizada para otros fines, es indispensable conocer o evaluar los consumos de agua utilizados para estos fines.

Esta necesidad de evaluar los consumos deriva principalmente de la falta de sincronismo que se produce con el regadío que, junto con la hidroelectricidad, son los principales usuarios del agua por la magnitud de los volúmenes. También se producen problemas por la localización de los puntos de uso.

Por tratarse de un uso consuntivo, el agua que se utiliza en hidroelectricidad puede ser utilizada para otros fines. Sin embargo, cuando la central hidroeléctrica está ubicada en el curso inferior del río, deberán evitarse usos consuntivos aguas arriba. Análogamente, una central ubicada en el curso superior del río, plantea la incompatibilidad con otros usos del agua entre la cota de captación y la de descarga.

La principal incompatibilidad con el regadío se refiere a la época en que se debe extraer el agua de los cauces naturales ó los embalses. La electricidad los requiere con mayor intensidad en invierno, cuando es necesario almacenar y ahorrar agua para el primero.

De lo expuesto, se deduce la necesidad de conocer y evaluar los consumos en hidroelectricidad con otros usuarios y, especialmente, con el regadío.

En la actualidad, la mayor parte de la utilización del agua en la producción de energía eléctrica es realizada por la ENDESA, Chilectra y, en menor grado, por otros productores (Cemento Melón, Papelera de Puente Alto, Empresa Minera El Teniente, etc.). En general, estas empresas disponen de mediciones de los volúmenes de agua que utilizan y, además, cuentan con programas de expansión definidos. El conjunto de estos antecedentes permitirá contar con la información básica para la evaluación integral. Falta sólo centralizar la información en la oficina que pueda estudiarla y planificar el recurso fijando una política adecuada al conjunto de usuarios.

De lo anterior se aprecia claramente que es necesario y urgente:

- Catastrar los usuarios del agua, a lo menos en 1er. orden.
- Propender posteriormente al catastro de usuarios de 2º o 3er. orden.
- Medir los consumos de los usuarios en cantidad, calidad y demanda diaria y horaria si fuese posible por lo menos para los más grandes consumidores.
- Tomar las medidas legales necesarias destinadas a obtener del usuario los datos de sus consumos.
- Centralizar la información obtenida; Analizarla y publicarla periódicamente.
- Efectuar los estudios a nivel de cuenca o región que permitan el óptimo aprovechamiento de los recursos superficiales, subterráneos, etc., en común y para el provecho común de los diversos usuarios.
- Fijar la política de aguas tendiente a lograr el aprovechamiento y uso óptimo de estos recursos.

4. RECUPERACIONES Y REUSOS DEL AGUA

4.1. ANTECEDENTES GENERALES

La planificación económica de la utilización de los recursos hidráulicos debe considerar como punto importante del análisis, la posibilidad de utilizar las aguas ya aprovechadas por otros usuarios. Este aspecto es más relevante en aquellas zonas en que escasea el recurso en su estado natural y en consecuencia puede justificarse el realizar inversiones para tratar las aguas.

En la actualidad, la reutilización de las aguas es un caso frecuente en el riego de nuestro país, y en forma sectorial o eventual en la industria y minería.

Los ríos de las zonas más agrícolas se encuentran seccionadas para la repartición de las aguas de riego en forma que la primera sección situada aguas arriba, puede captar la totalidad del caudal. Los derrames y recuperaciones de riego, sean estos superficiales o provenientes del drenaje de napas subterráneas, reconstituyen parte del caudal del río y en consecuencia la sección situada aguas abajo, puede aprovechar estas aguas en su totalidad. Ocurre también que las recuperaciones de riego de algunas zonas, desaguan hacia otro río y los caudales así recogidos son distribuídos en una cuenca vecina.

Indudablemente un sistema de riego con estas características implica un alto grado de reutilización de las aguas, lo que a su vez origina un deterioro de la calidad del recurso y mayores pérdidas por evaporación e infiltración. Hasta ahora, las aguas de riego no sufren una contaminación o degradación de importancia debido al uso discreto de fertilizantes químicos y herbicidas y en especial a la óptima calidad original de las agua.

Por otra parte, un sistema de riego como el señalado, influye el régimen hidrológico de la hoya, siendo difícil poder estimar los caudales naturales del río en su recorrido a lo largo de los valles. En consecuencia, no es aconsejable proceder a una racionalización inmediata en el uso del recurso sin antes estudiar cuidadosamente la influencia que el sistema de riego ha tenido en la hidrología de los valles; puesto que un mejoramiento en la eficiencia de las secciones de aguas arriba del valle, pueden afectar seriamente el riego de otras zonas de aguas abajo que aprovechan los derrames que se producen. Especial importancia tiene este hecho frente a la política de transferencias de caudales de una a otra hoya hidrográfica.

Por estas razones, parece lógico recalcar sobre la necesidad de contar con medidas y controles de las aguas utilizadas en el riego. Solo en la medida que se disponga de los antecedentes básicos necesarios, se podrán formular políticas adecuadas de aprovechamiento y reutilización del recurso.

El reuso de las aguas provenientes de las descargas de los consumos domésticos, mineros y manufactureros se diferencia de las aguas recuperadas y reutilizadas en el riego, por el mayor grado de contaminación que estos usos originan. Por lo tanto, en la mayor parte de los casos aparece la necesidad de proceder al tratamiento de las aguas. Este hecho produce un encarecimiento del recurso por lo que solo ha sido adoptado en las zonas en que se origina escasez del agua. Como excepción puede citarse la utilización del agua para la refrigeración en cuyo caso solo es necesario efectuar el enfriamiento, lo que involucra costos menores frente a otros tipos de tratamiento.

4.2. PLANTAS DESALADORAS

Esta es una tecnología que día a día se pone más de actualidad en el mundo y numerosos son los países que las utilizan en gran escala; a medida que transcurren los años de experimentación y de producción, se descubren nuevos sistemas que permiten abaratar los costos de explotación, acercándose ya bastante a los costos de aguas naturales captadas y conducidas por obras hidráulicas más o menos costosas.

Estas plantas desaladoras, o purificadoras de agua, representan una posibilidad de reuso del agua.

Procesos más factibles. La literatura informa que existen unos catorce distintos procesos destinados a la desalación de aguas, algunos de los cuales no han pasado más allá de ser pruebas de laboratorio y que van desde destilación por combustible nuclear hasta simple evaporadores solares. En base a estudios comparativos hechos en Australia y a los antecedentes consultados, se estima que para Chile serían convenientes los procesos basados en:

Destilación por combustible. En el estudio que fuera hecho en Australia (1) no fue posible establecer una correlación entre caudales producidos y salinidad del agua cruda, aún en plantas que operan con iguales procesos. Sin embargo, la información entregada por AID (7) y que está resumida en la tabla adjunta, se encuentra que es posible obtener agua dulce a partir de agua de mar, a un costo promedio de (US\$ 0,10/m³), con plantas que requieren una inversión que va desde 21,6 a 52,9 millones de dólares. Todas ellas producirían un caudal de 189.000 (m³/día) (2,2 m³/seg).

Además, en estudios presentados por Guillermo Ruiz (9) se

encuentra que para plantas de un propósito, el costo va desde 0,066 a 0,116 (US\$/m³) que entregan caudales de agua dulce por conversión de agua de mar, con caudales que oscilan entre 8.640 a 60.000 (m³/día) (0,1 m³/seg) y con costos de capital que varían desde US\$ 2.300.000 a US\$ 11.040.000.=

Hasta aquí según las dos fuentes de información, serían perfectamente posible obtener agua dulce desde el agua de mar a razón de 0,10(US\$/m³), en las condiciones ya indicadas.

También Ruiz (9) entrega cálculos para plantas duales, de doble propósito (agua y electricidad) en que los costos de capital casi se duplican respecto a las plantas de un propósito, para caudales semejantes, a un costo casi de un 10% superior a las de aquellas (véase las tablas correspondientes). Nosotros hemos añadido en cada una de ellas, una columna a la izquierda donde se dan los valores calculados de costo por m³., considerando el costo total actualizado, 15 años de amortización, el caudal diario producido y 360 días/año de operación, aún cuando se debió sólo considerar un factor de utilización de un 0,85

Destilación por evaporación solar. Este sistema sólo es atrayente para satisfacer pequeños consumos. En Australia (1) su costo es enorme 22,6 (US\$/m³). Pero en algunas plantas norteamericanas, se ha logrado costos de 0,80 a 1,60 (US\$/m³), (5).

Se estima que en Chile faltaría establecer costos en base a datos nacionales, aplicando la tecnología que es bien conocida (5).

Electrodiálisis. Los costos por m³. son muy variables (véase tabla) y parecería que, según las observaciones que se practicaron en el Mineral El Salvador, el proceso es delicado y requiere

asistencia de personal calificado.

Osmosis inversa. Es un proceso muy ventajoso para aguas salobres 6.000 a 8.000 (mg/l) y que tendría muchas probabilidades de aplicación en las aguas del Norte de Chile. Las producciones consideradas por Du Pont, (8) son del orden de las consideradas por Ruiz. Los costos de producción son un poco más alto, pero las inversiones son menores. Las características de estas plantas permiten aumentar la producción, con sólo acoplar nuevos módulos. Es sensible no poder contar con datos más actualizados, porque los ahora considerados son del año 1967 y entonces se tenía grandes esperanzas de mejorar su técnica y economía.

Conclusiones. Los estudios hechos sobre alternativas de abastecimiento de agua potable del Norte Grande, económicamente son casi coincidentes con los hechos por AID para plantas norteamericanas, dando un valor grueso de 0,10 (US\$/m³), en las condiciones señaladas.

La osmosis inversa es también aconsejable por cuanto si bien tiene un mayor costo 0,16 (US\$/m³), requiere una menor inversión. Además el aumento de capacidad de la planta se logra con sólo acoplar nuevos módulos.

La destilación solar es aconsejable para pequeños consumos faltando estudios nacionales que serían más realistas sobre su costo que en norteamérica van desde 0,80 a 1,60 (US\$/m³).

De los valores expuestos en las tablas juntas se puede apreciar que es posible obtener agua desalada a valores cercanos a US\$ 0,10/m³.

Deseo recalcar que cuando se habla de Plantas desaladoras, en el caso de Chile no debe pensarse sólo en desalar agua de mar sino que también la desalación de aguas salobres provenientes de ríos y de lagos existentes en el Norte Grande y parte del Norte Chico. Por ser aguas con contenidos de sales mucho menor que el agua de mar, puede obtenerse aguas desaladas a costos muy inferiores.

Por otra parte, procesos como el de electrodiálisis utilizado en El Salvador, significan grandes ventajas debido a que por medio de ellas es posible obtener aguas de menor contenido salino sin tener que llegar a agua destilada, situación que permite obtener aguas a costos considerablemente menores y con características físico-químicas más parecidas a las aguas que normalmente consumimos.

B I B L I O G R A F I A

1. Desalination a Survey of Australian Plant Department or Nacional Development, Australia, 1970.
2. W.A. Homer Journal American Water Work Association, Agosto 1969.
3. Apuntes personales de Raúl Merino B.
4. Efraín Friedman - Sergio Alvarado - Desalinización de agua en el Norte de Chile (Provincia de Antofagasta) para uso industrial y agrícola - Memoria presentada al Seminario Internacional sobre la aplicación económica de la desalinización del agua. Nueva York - Septiembre de 1965.
5. United Nation - Solar Distillation - 1970.
6. United Nations - Water Desalting in Development Countries.
7. AID - A Manual on Water Desalination. Volumen one - Technologi VII-17.
8. Investigaciones de Du Pont sobre Osmosis Inversa y Fibras Huecas. Catálogo A-55330 - 1967.
9. Alternativas para abastecimiento futuro de agua potable del Norte Grande - Guillermo Ruiz Troncoso - D.O.S. 1969.

1. PROCESOS DE DESTILACION

- MSF : Evaporación a múltiple efecto
 COMEX : Extracción combinada múltiple
 LTV-MEMS : Múltiple efecto con múltiple etapa de tubos grandes verticales.
 LTV-MEFF : Múltiple efecto de película de tubos grandes verticales
 MEMS : Múltiple efecto con múltiple etapa
 TFMED : Destilación múltiple efecto, con película delgada

NOMBRE DE LA PLANTA	SALINIDAD (Mg-1)		CAUDAL PRODUC. m ³ /día	COSTO US\$ PRODUC. m ³	COSTO PLANTA US\$		REF.
	Agua cruda	Agua tratada			Inversión al tiempo amortiz.	Operac. por año	
Dampier, Australia	Agua de mar	50	1.500	0,825	157 x 10 ⁶	108.000	1
De un propósito (Chañaral)	id.	30	864	1,62	-	-	3
Nuclear-Antofagasta(dual)	id.	-	53.000	0,17	30 x 10 ⁶	-	4
Arica (Petróleo)	id.	-	17.200	0,60	1,9 x 10 ⁶	1,5x10 ⁵	4
Chañaral (Petróleo)	id.	-	8.200	0,29	6,2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁵	4
Tocopilla (Petróleo)	id.	-	17.500	0,18	5,3 x 10 ⁶	5,8x10 ⁵	4
Antofagasta (Petróleo)	id.	-	53.000	0,21	1,2 x 10 ⁷	2,7x10 ⁶	4
Chañaral (Proyecto A)	id.	-	1.000	0,49	4,7 x 10 ⁵	1,8x10 ⁵	6
Chañaral (Proyecto B)	id.	-	1.000	0,57	4,6 x 10 ⁵	2,7x10 ⁵	6
Allischalmer	id(MSF)	-	189.000	0,092	27 x 10 ⁶	-	7

Continuación Cuadro anterior

NOMBRE DE LA PLANTA	SALINIDAD (Mg-1)		CAUDAL PRODUC. m ³ /día	COSTO US\$ PRODUC. m ³	COSTO PLANTA US\$		REF.
	Agua Cruda	Agua Tratada			Inversión al tiempo amortiz.	Operac. por año	
Research an Engr. Ltda.	id(MSF)	-	189.000	0,089	28,7x10 ⁶	-	7
Agua Chem.	id(MSF)	-	189.000	0,075	21,6x10 ⁶	-	7
Badger	id(MSF)	-	189.000	0,083	28,2x10 ⁶	-	7
Baldwin Lima	id(COMEX)	-	189.000	0,095	38,4x10 ⁶	-	7
C.F. Braun	id(LTV-Mems)	-	189.000	0,083	34,0x10 ⁶	-	7
Burns and Roe	id(MSF)	-	189.000	0,093	26,0x10 ⁶	-	7
Dow Chemical	id(LTV-Meff)	-	189.000	0,113	39,7x10 ⁶	-	7
H.K.Ferguson	id(MEMS)	-	189.000	0,125	61,0x10 ⁶	-	7
Fluor Corp.	id(MESF)	-	189.000	0,112	34,8x10 ⁶	-	7
General Electric	id(TFMED)	-	189.000	0,882	27,8x10 ⁶	-	7
Ralph and Parson	id(MSF)	-	189.000	0,139	52,9x10 ⁶	-	7
EE.UU. (1968) Planta de un propósito	1.000 a 3.000	-	3.785	0,40	-	-	2
id.	id.	-	18.925	0,38	-	-	2
id.	id.	-	567.750	0,13	-	-	2
Planta de doble propósito	1.000 a 3.000	-	3.785	0,06	-	-	2
id.	id.	-	18.925	0,26	-	-	2
id.	id.	-	567.750	0,065	-	-	2

2. Plantas Duales (caldera a petróleo)

Electricidad : - factor de carga 45%
precio de venta US\$ 0,014/KWH

CAPACIDAD		ENERGIA EXPORTABLE	COSTO DE CAPITAL	COSTO TOTAL DE OPERACION	
lts/seg	m3/día	(MW)	(US\$)	(US\$)	US\$/m3
100	8.640	6,0	4.340.000	5.910.000	0,127
145	12.500	8,0	5.500.000	7.750.000	0,115
173	15.000	11,0	6.560.000	9.260.000	0,115
232	20.000	14,0	8.260.000	11.610.000	0,108
400	35.000	25,0	12.910.000	18.160.000	0,096
520	45.000	30,0	15.800.000	22.400.000	0,092
580	50.000	33,0	17.170.000	24.570.000	0,090
700	60.000	38,0	19.860.000	28.560.000	0,085

1. Plantas de Un Propósito

CAPACIDAD m3/día	COSTO CAPITAL US\$	COSTOS DE OPERACION		COSTO TOTAL ACTUALIZADO US\$	US\$/m3
		ANUAL US\$	TOTAL US\$		
8.640	2.300.000	460.000	3.130.000	5.430.000	0,116
12.500	3.000.000	550.000	3.750.000	6.750.000	0,100
15.000	3.650.000	650.000	4.430.000	8.080.000	0,100
20.000	4.590.000	780.000	5.300.000	9.890.000	0,092
35.000	7.170.000	1.070.000	7.300.000	14.470.000	0,077
45.000	8.770.000	1.250.000	8.500.000	17.270.000	0,071
50.000	9.540.000	1.350.000	9.200.000	18.740.000	0,069
60.000	11.040.000	1.500.000	10.200.000	21.540.000	0,066

2. Destilación Solar

P L A N T A	SALINIDAD mg/l		CAUDAL PRODUC. m ³ /día	COSTOS US\$ PRODUCTO		COSTO DE LA PLANTA US\$		REF.
	Agua Cruda	Agua Tratad.		1.000 gal.	m ³	Inversión	Operación por año	
Coober Pedy S.A. AUSTRALIA Plantas observ. por N.U. (1970)	19.000	-	6,65	88,80	22,6			1
				3 a 6	0,80 a 1,60			5
<u>3. Electrodialisis</u> El Salvador Exmouth, Australia Area B Exmouth, Australia Area C	2.630	800	864	-	0,30	6,5 x 10 ⁵	-	3
	2.000	500	189	4,80	5,10	1,1 x 10 ⁴	7 x 10 ³	
	1.000	-	31,15	19,20	1,28			8
<u>4. Osmosis Inversa</u>	6.000		1.000		0,18	3,3 x 10 ⁵	1,7 x 10 ²	8
	6.000		10.000		0,16	3,0 x 10 ⁶	1,6 x 10 ³	8
	6.000		100.000		0,14	2,75x 10 ⁷	1,4 x 10 ⁵	8

4.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

Me permito mencionar las plantas de tratamiento dada la importancia que ellas tienen en el reuso del agua, pero a la vez lamento que el escaso tiempo disponible para preparar esta charla, que como Ustedes pueden apreciar ha resultado demasiado larga y he tocado demasiados aspectos de esta especialidad, no me permito extenderme sobre la materia y sólo he deseado mencionarlas.

Sería interesante que la Dirección de Obras Sanitarias, entregase a lo menos un listado de las plantas que existen en el País y en lo posible análisis bacteriológicos de las aguas que ingresan y que salen de estas plantas.

En el capítulo de Calidad de las Aguas, pudo observarse ampliamente la importancia que ellas tendrán en el Valle del Aconcagua, al evitar las contaminaciones urbanas existentes.

5. C O N C L U S I O N E S

- Existe gran cantidad de información pluvio y fluviométrica, como también de agua subterránea. En menor cantidad existe información en calidad de las aguas y factores climáticos.
- Poco o nada se conoce sobre medición de consumos hidráulicos. Los datos son insuficientes para permitir un análisis.
- El deterioro o degradación del agua es materia de reciente preocupación, existiendo escasas instituciones y profesionales dedicados a ella.
- La evaluación de los recursos hidráulicos se ha estado efectuando en forma sectorial por los usuarios, salvo los últimos años en que se han iniciado estudios regionales.
- Es necesario que la Dirección General de Aguas, o algún organismo estrechamente ligado a ella, centralice la información, la codifique, archive analice y publique periódicamente, tanto lo que se refiere a recursos como a usos del agua.
- Una oficina dedicada a estas materias deberá dotársele, además de personal adecuado y suficiente, con vehículos acordes a sus necesidades y con instrumental que le permita registrar y procesar la información en forma automática.
- Se requiere con urgencia adoptar una codificación acorde a la división hidrográfica del país que sirva de base para el archivo de datos. Se propone la del "Mapa Hidrográfico de Chile".
- Deberán dictarse normas sobre instrumentación, toma de datos y métodos de análisis, que permitan hablar un lenguaje común. Igualmente deberá normalizarse la metodología de los diversos laboratorios existentes.
- Se requiere un acuerdo entre las Instituciones dedicadas a la medición de factores hidrológicos en el sentido de no suprimir arbitrariamente aquellas estaciones con largos períodos de observación.
- Deberá hacerse un análisis crítico de las redes hidrológicas y climatológicas existentes, tendientes a mejorar su distribución geográfica y a am

- pliarlas de acuerdo con la realidad nacional.
- Se hace necesario impulsar, a través de las Universidades, cursos cortos para hidromensores en las diversas ramas de la hidrología.
 - Para mejorar la hidrometría se requiere mejorar las estaciones de aforo tendientes a medir las creces.
 - Deberán efectuarse previsiones de deshielo para los ríos de la zona central y previsiones de crecidas que permitan alertar las poblaciones ribereñas.
 - En cuanto a aguas subterráneas, debe extenderse la labor actual a la medición de los volúmenes extraídos.
 - La D.G.A. deberá dictar normas que permitan registrar oportunamente los permisos previos de perforación.
 - La calidad de las aguas, deberá ser factor de interés a considera por la Institución rectora y en especial deberán controlarse los efluentes urbanos e industriales.
 - Deberá iniciarse el catastro y estudio de glaciares.
 - Las lluvias artificiales y las neblinas son temas de interés para zonas áridas y su experimentación requiere de largos períodos.
 - El río de la Unidad, por la magnitud de obra que significa requiere de un apoyo hidrológico de primera importancia y de un acabado conocimiento del uso actual del recurso.
 - Iniciar de inmediato el catastro de usuarios del agua a lo menos en 1er. orden (Asociaciones de Canalistas, en Regadío)
 - Medir los consumos de los usuarios en cantidad, calidad y demanda diaria.
 - Tomar las medidas legales necesarias destinadas a obtener del usuario los datos de sus consumos.
 - Efectuar los estudios a nivel de cuenca o región que permitan el óptimo aprovechamiento de los recursos hidráulicos en común y para el provecho común de los usuarios.
 - Fijar la política de aguas tendiente a lograr el aprovechamiento y uso de estos recursos.
 - La naturaleza de los valles centrales chilenos permite el reuso natural del agua.

- Las plantas desaladoras son una alternativa de interés para Chile y de primera importancia para el Norte Grande. La electrodiálisis aparece como el método de más interés para desalar aguas semi salobres.
- Se requiere conocer el efecto que tienen los efluentes urbanos en los ríos y la importancia que éste tiene en la salud de la población.
- Finalmente debemos recalcar, dado lo complejo del ciclo hidrológico y las estrechas relaciones entre los diversos recursos, como las relaciones que deben existir entre los usuarios del agua, que una planifica - ción integral del agua sólo podrá ser hecha por la autoridad competente si efectúa "una evaluación integral de los recursos y consumos de agua en Chile", y que para ello deberá centralizar la información, codificar la, analizarla y publicarla, además de tomar las medidas necesarias tendientes a optimizar el uso mediante dictación de normas y reglamentos y aplicación de nuevas tecnologías.

oooooooooooooooooooooooo

Fig. 1.-
**TOTAL DE ESTACIONES EN EL PAIS
 CONTROLADAS ANUALMENTE**

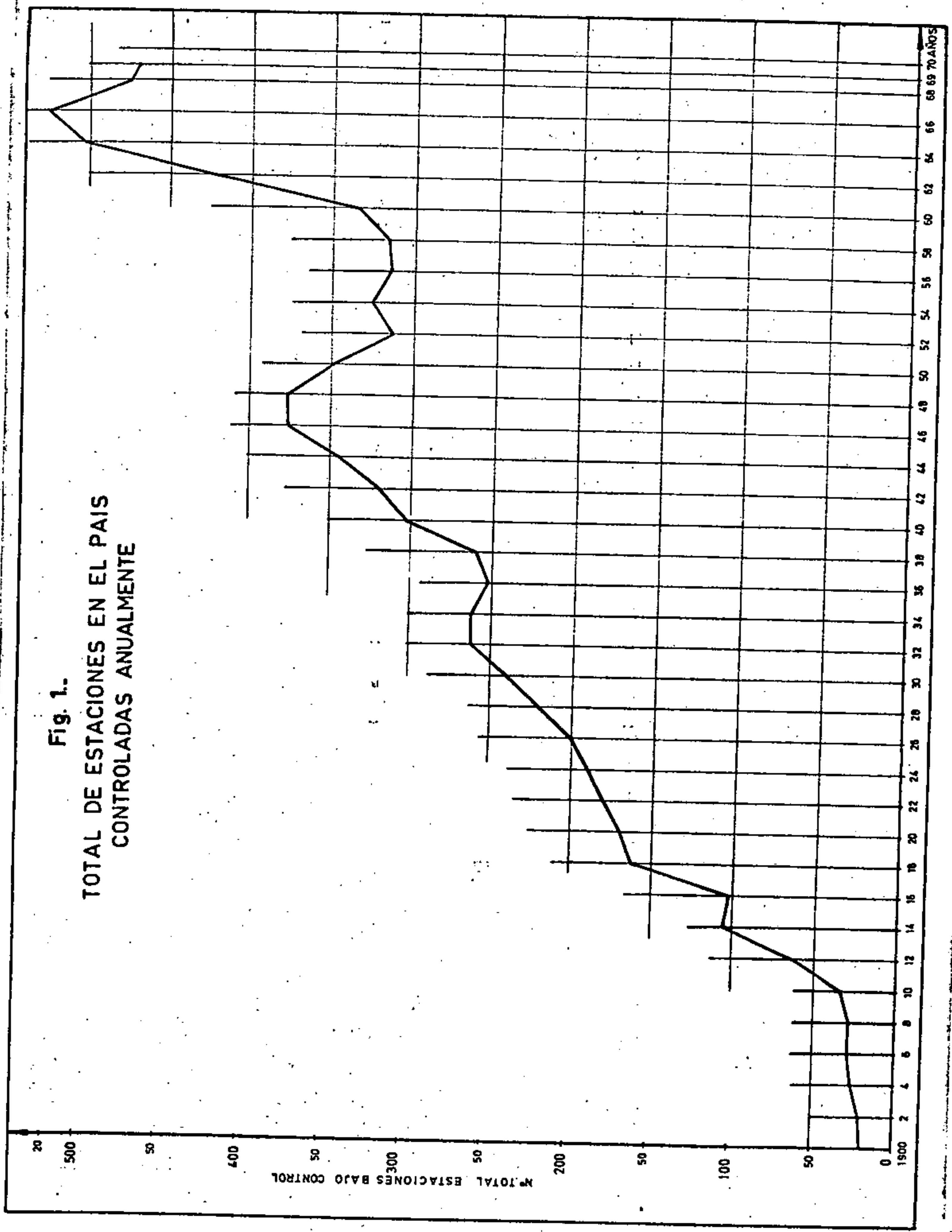


Fig. 2..
 ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS
 CONTROLADAS ANUALMENTE

ZONAS 0 A 4

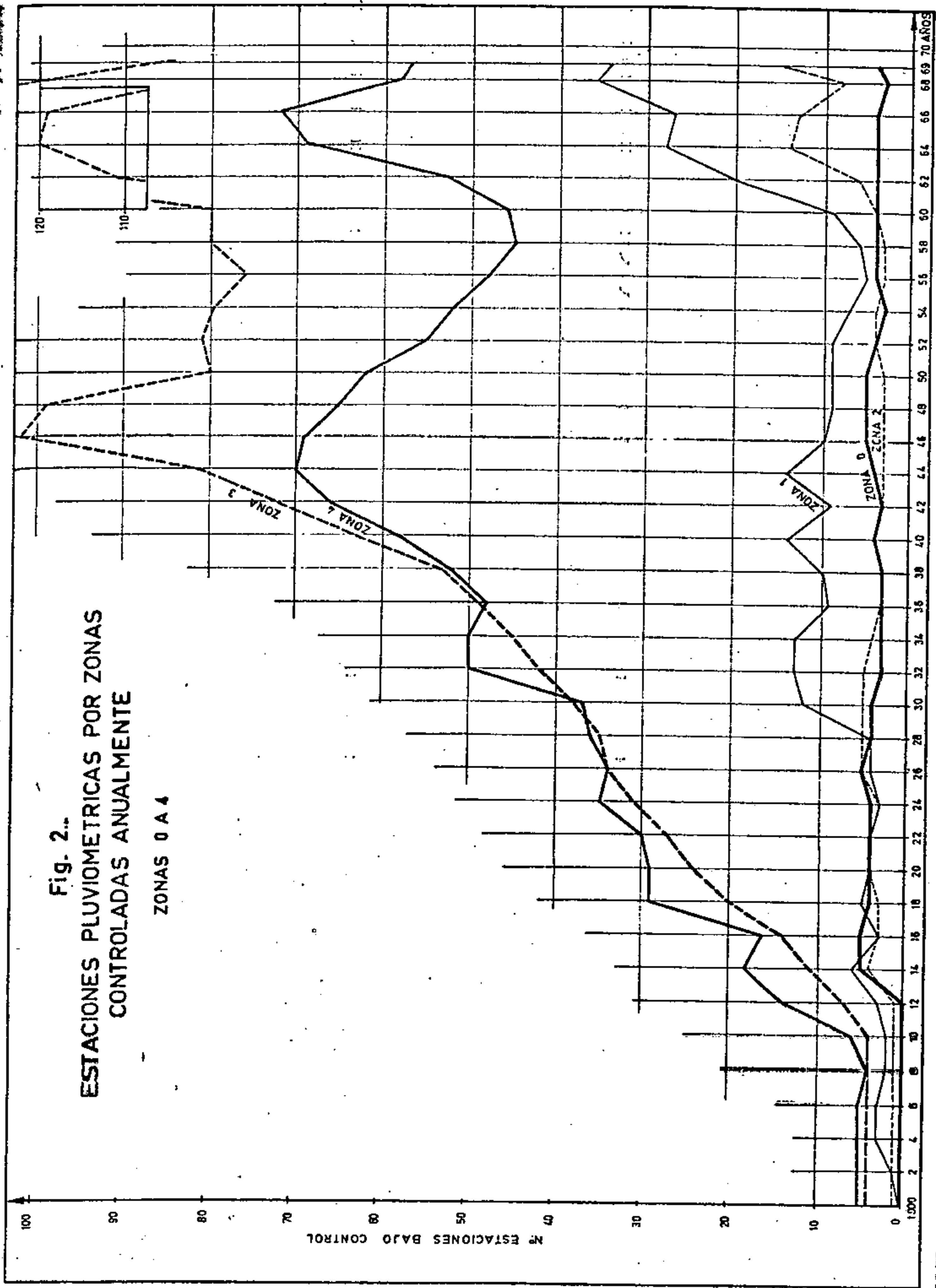


Fig. 3.-
 ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS
 CONTROLADAS ANUALMENTE

ZONAS 5 A 9

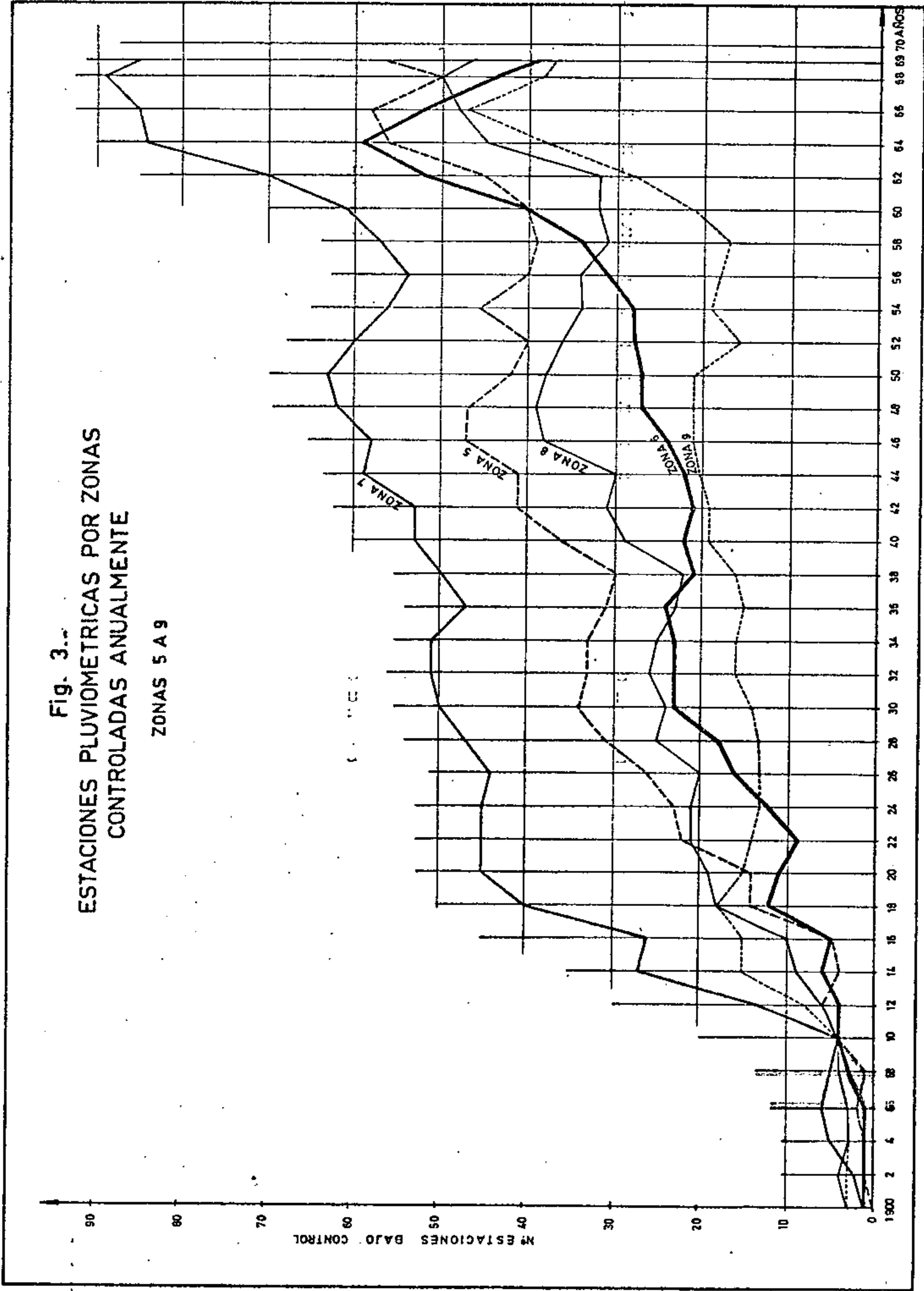


Fig. 4.-
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS
CON LONGITUD DE REGISTRO MAYOR O IGUAL A X AÑOS

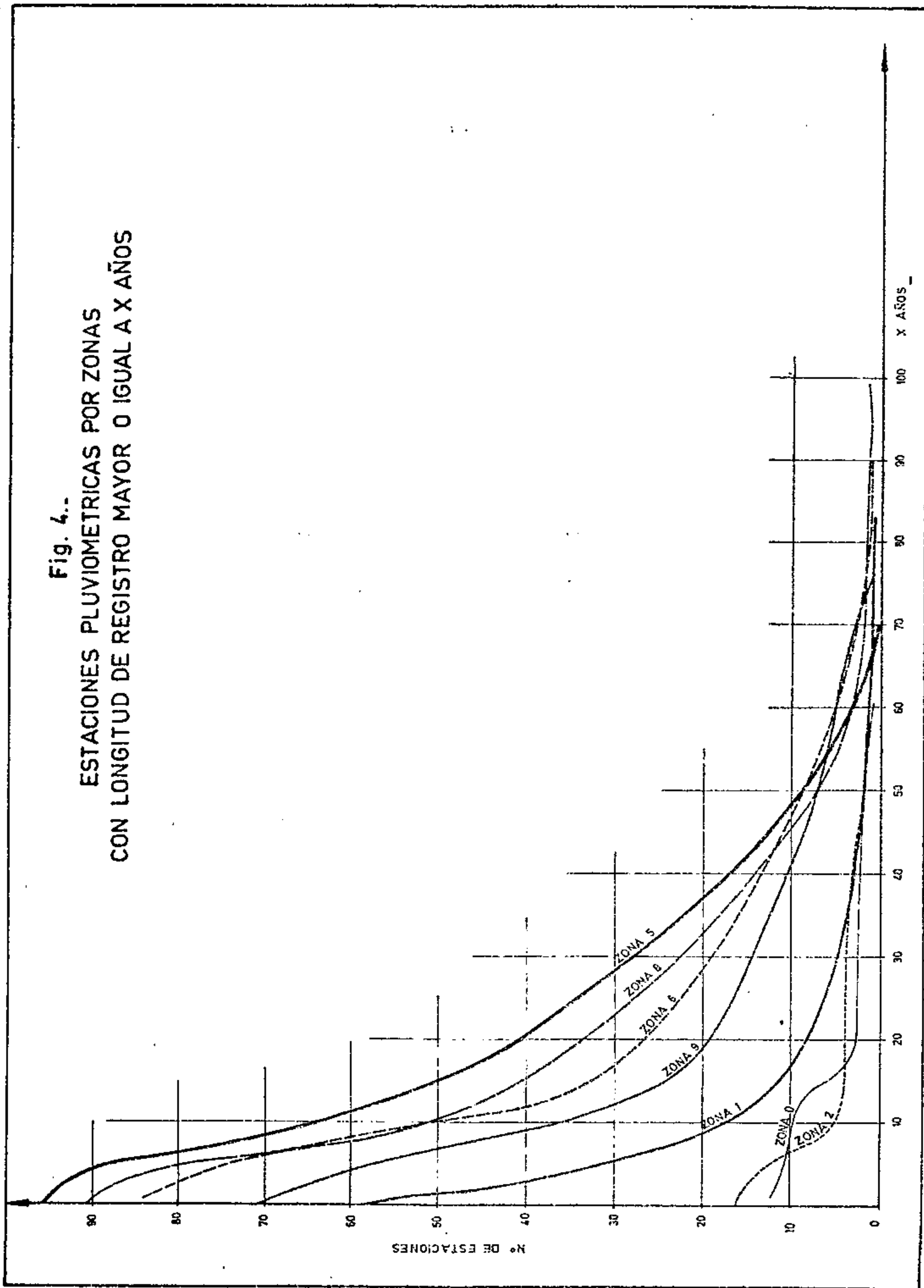


Fig. 5.-
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS
CON LONGITUD DE REGISTRO MAYOR O IGUAL A X AÑOS
ZONAS 3-4-7

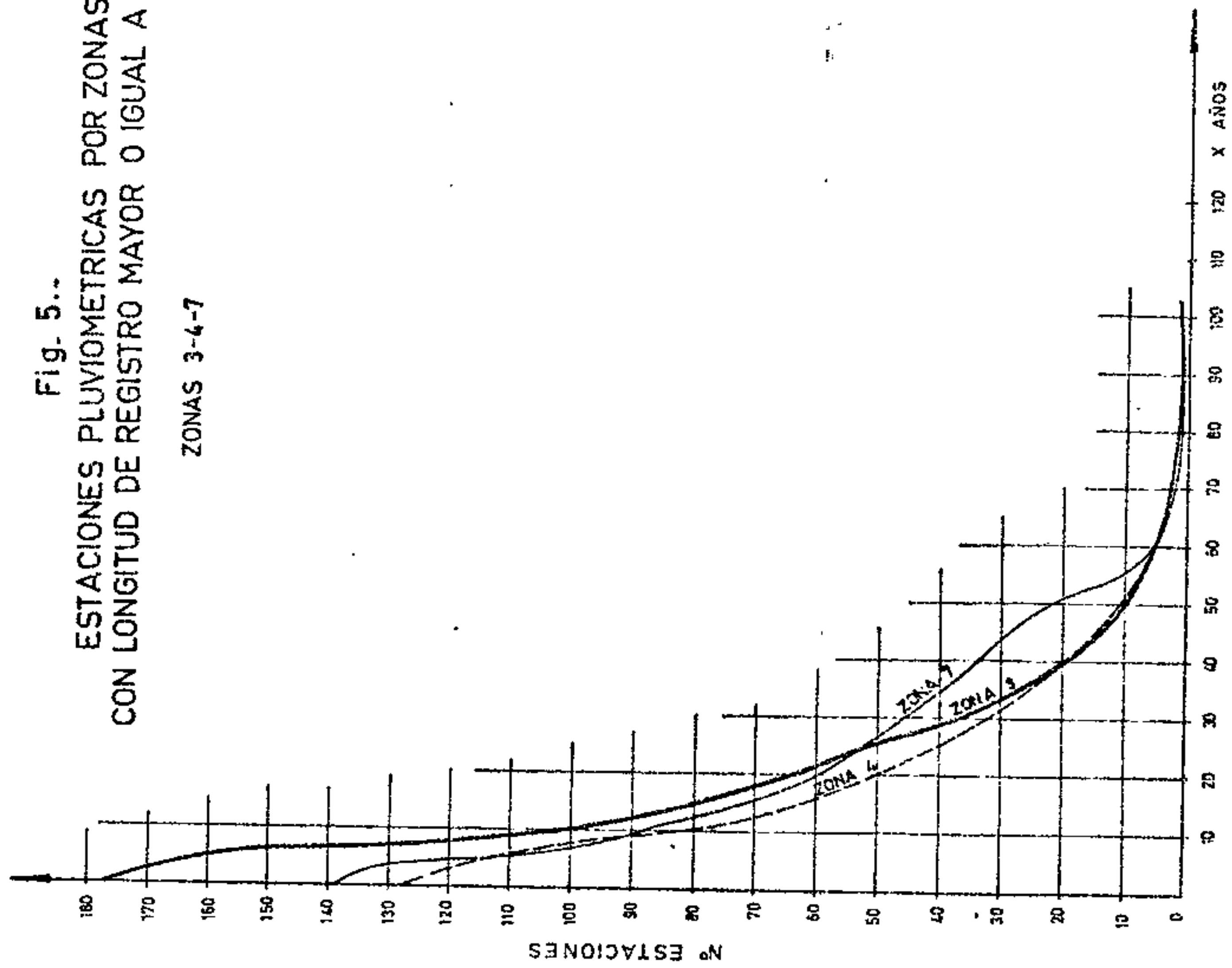


Fig. 6.-
 TOTAL DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS
 CON REGISTROS MAYOR O IGUAL A X AÑOS

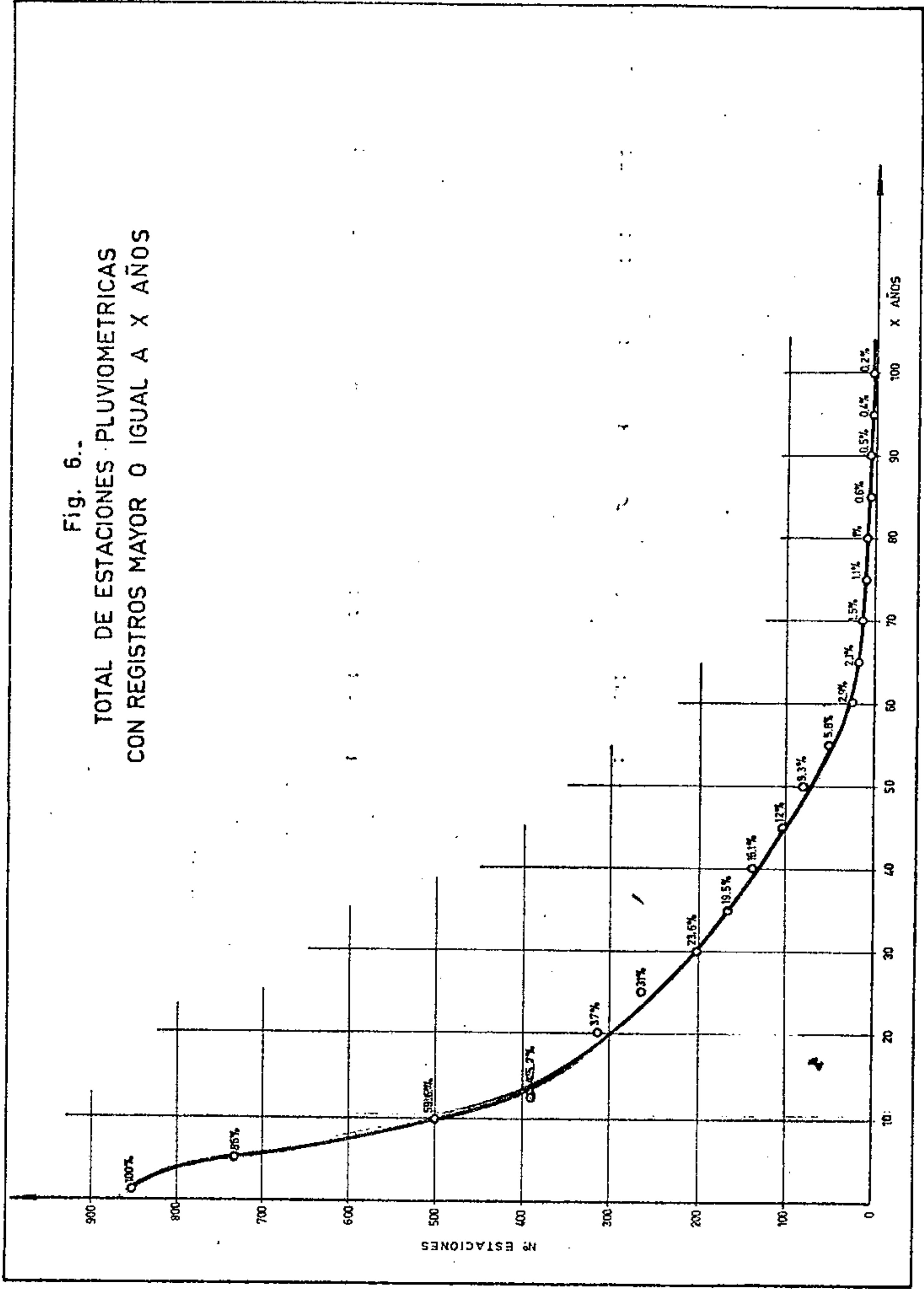


FIG. N° 7

FIG. N° 7

COTAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS

ZONA 0

ZONA 3

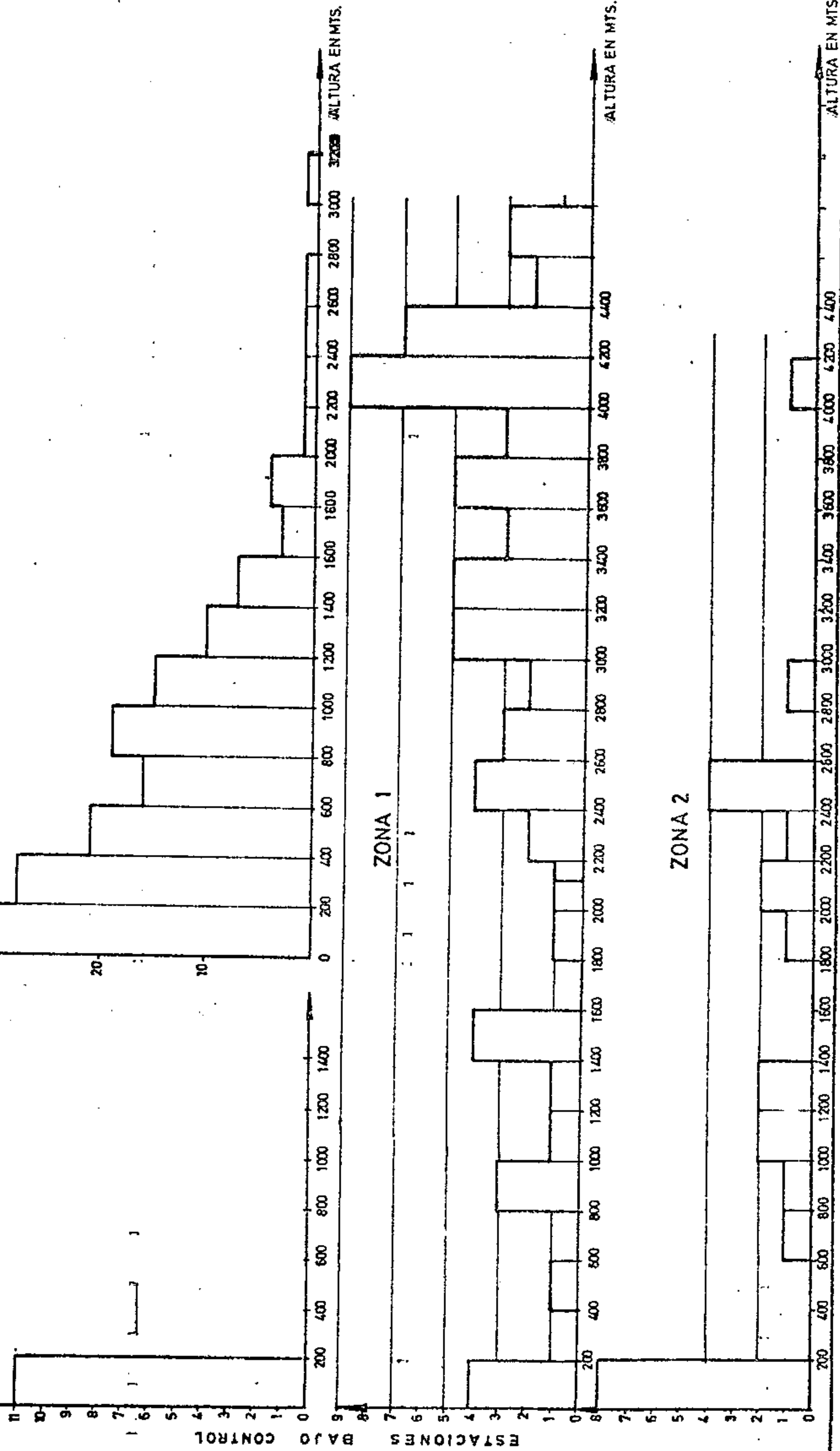


FIG. Nº 8

COTAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS

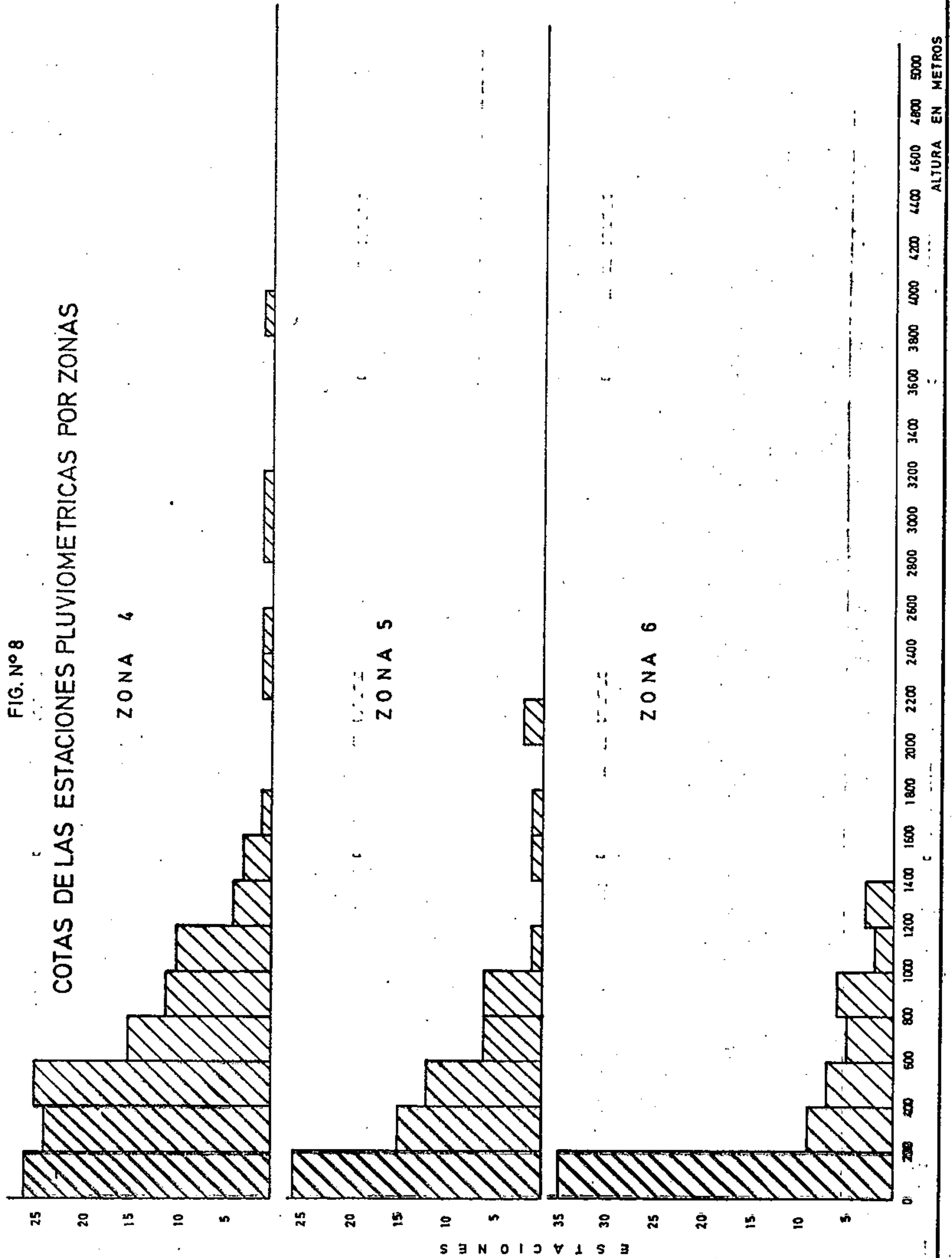
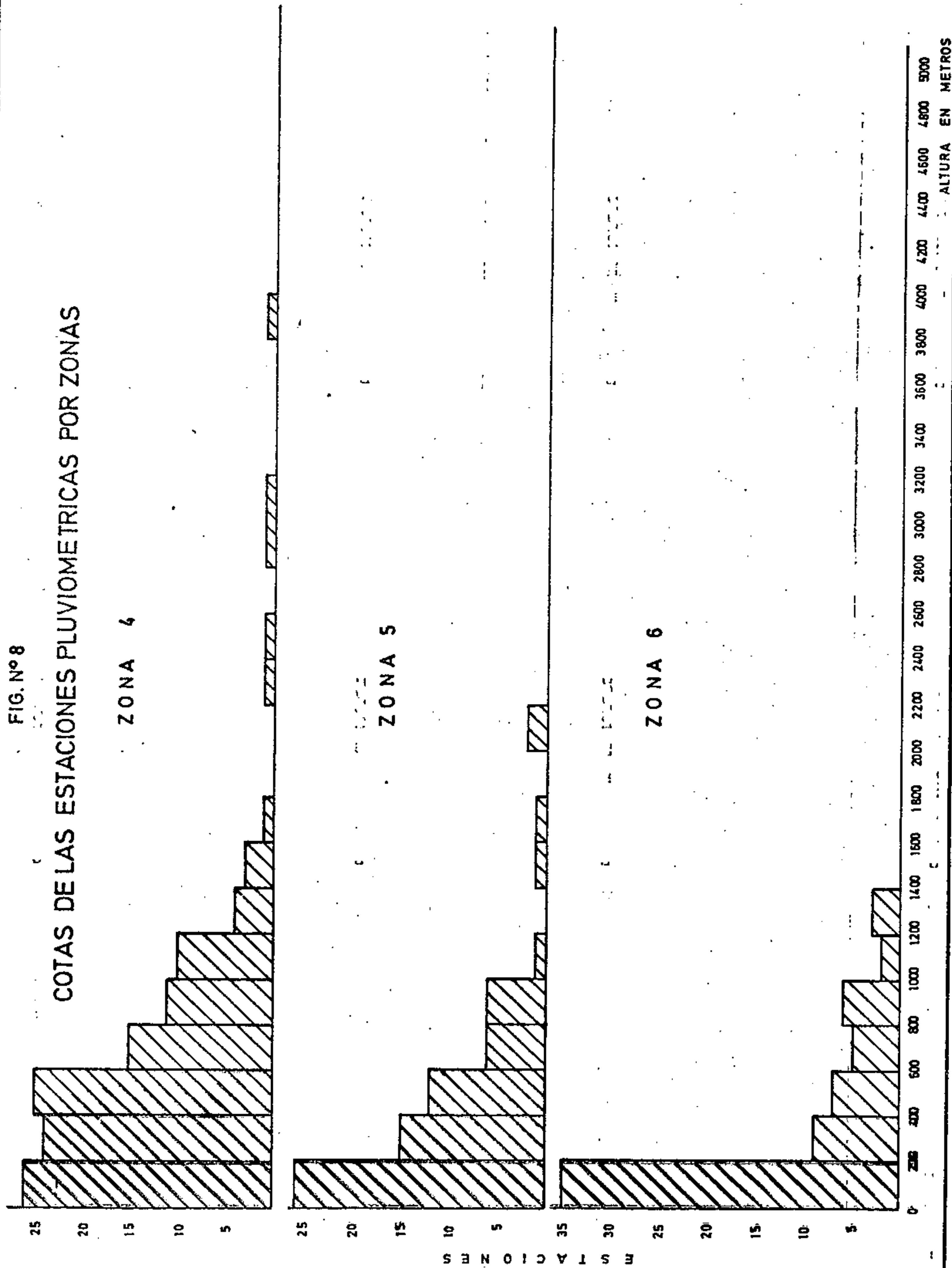


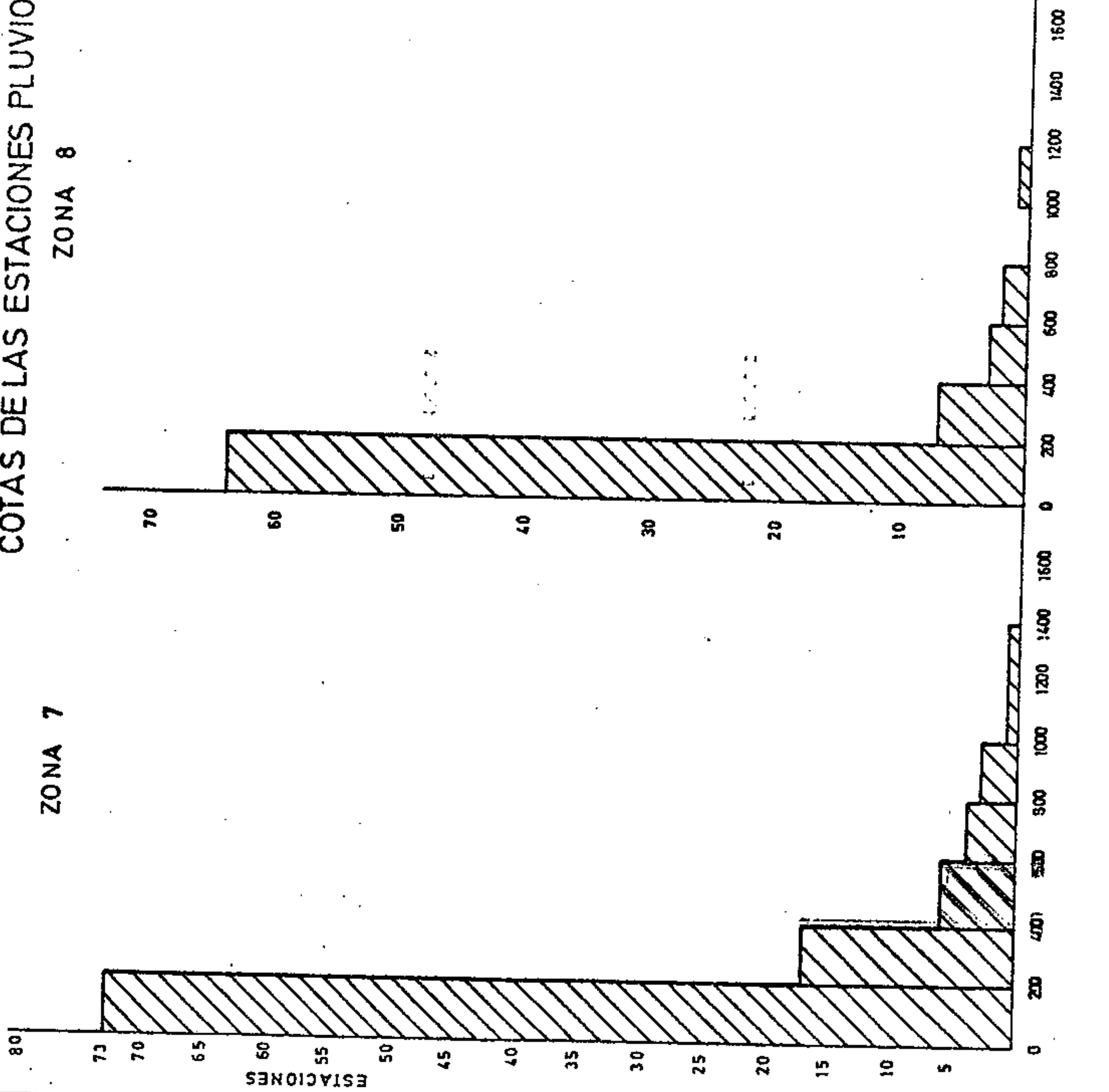
FIG. Nº 8

COTAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS

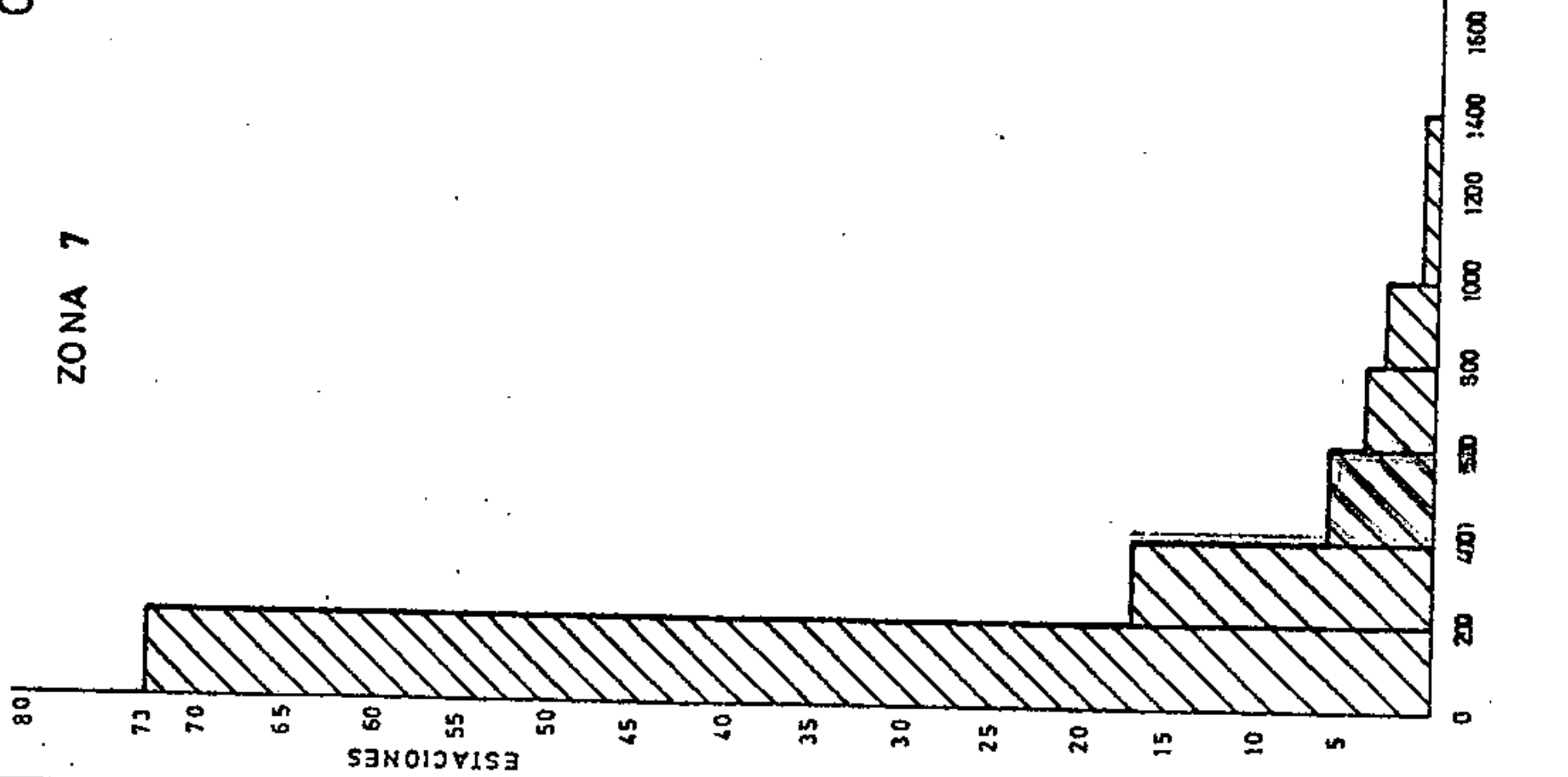


ALTURA EN METROS

FIG. Nº 9
 COTAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS POR ZONAS
 ZONA 8



ZONA 7



ZONA 9

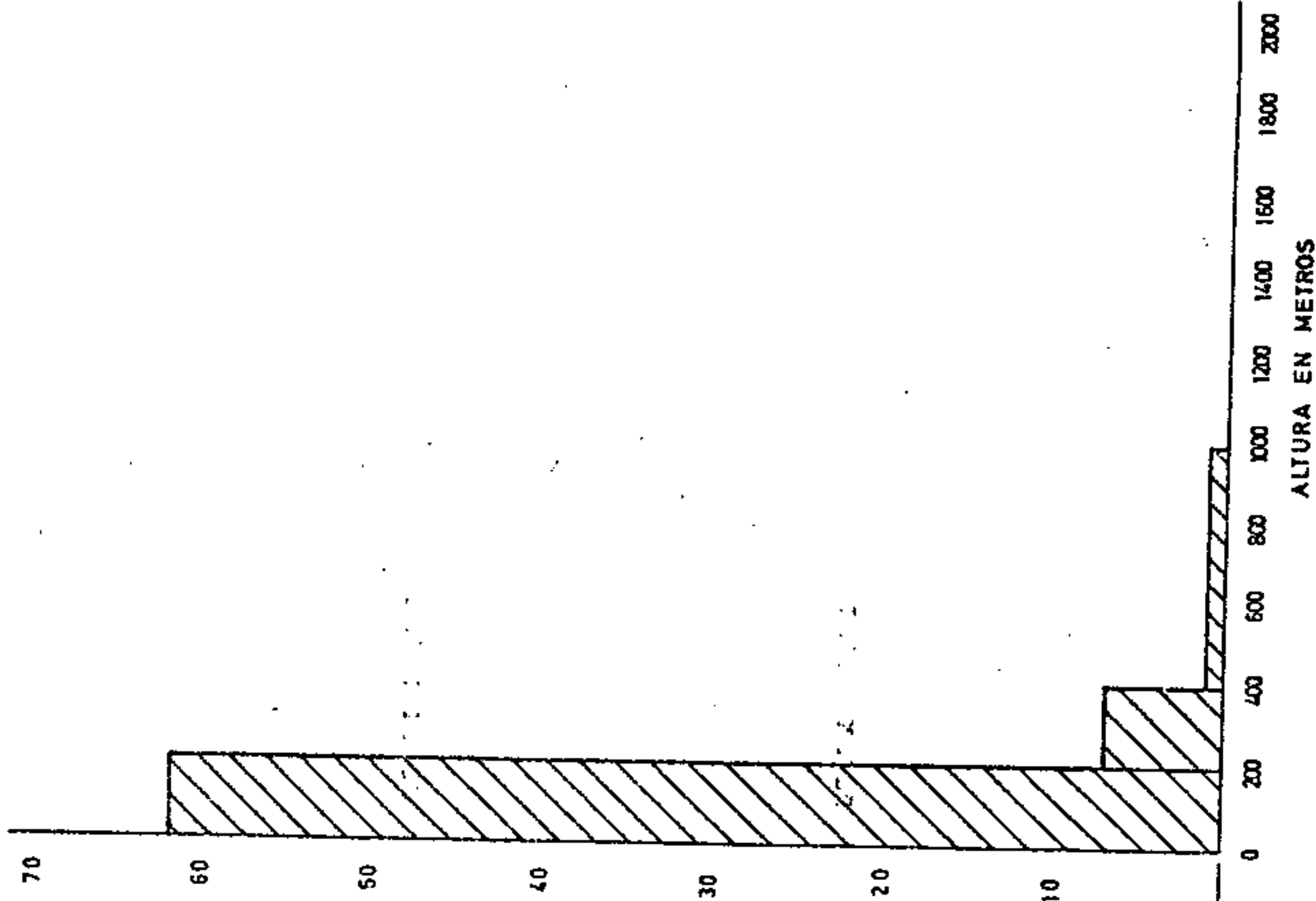


FIG. Nº 10

RUTAS DE NIEVE

Nº DE RUTAS POR AÑO

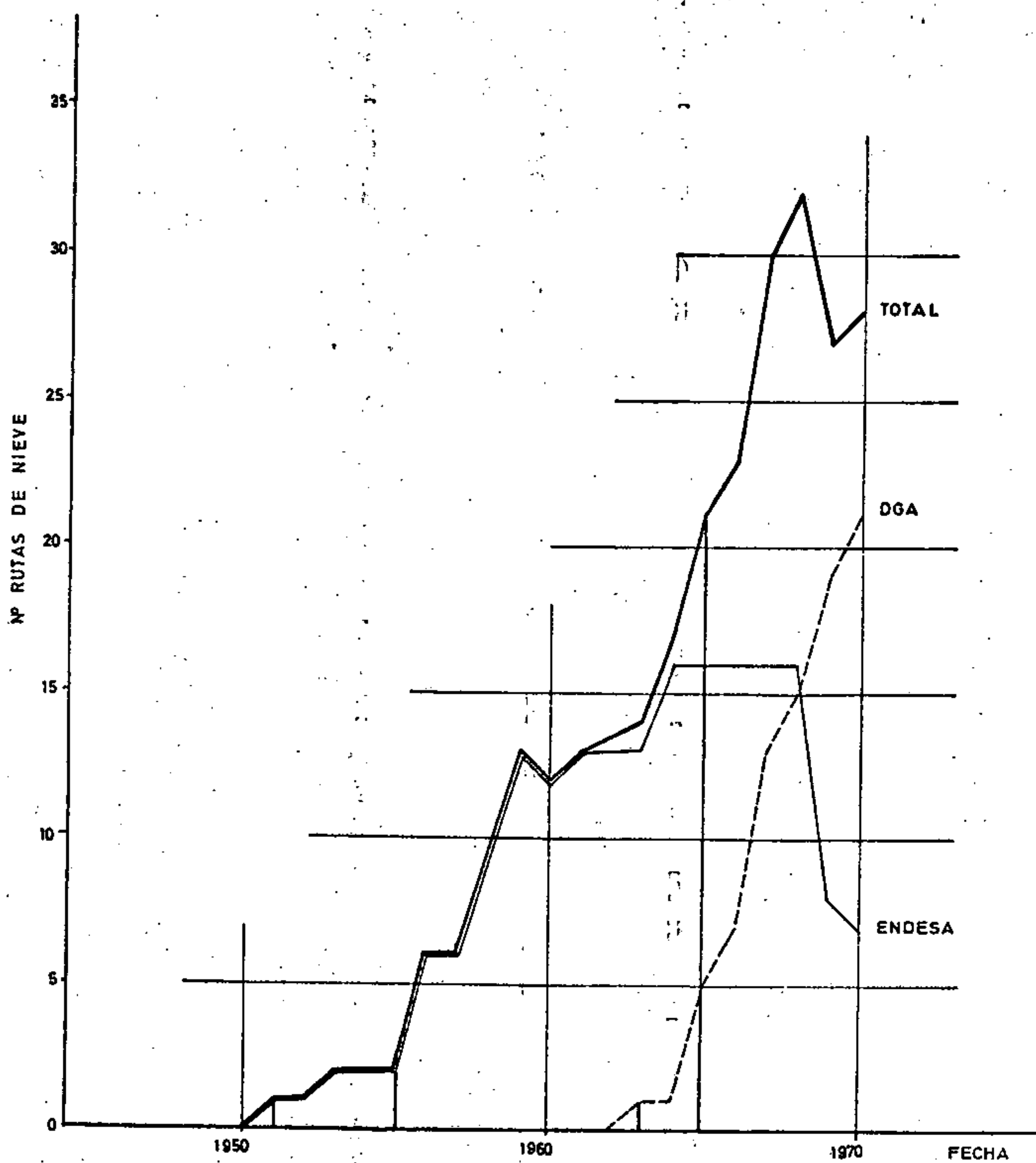
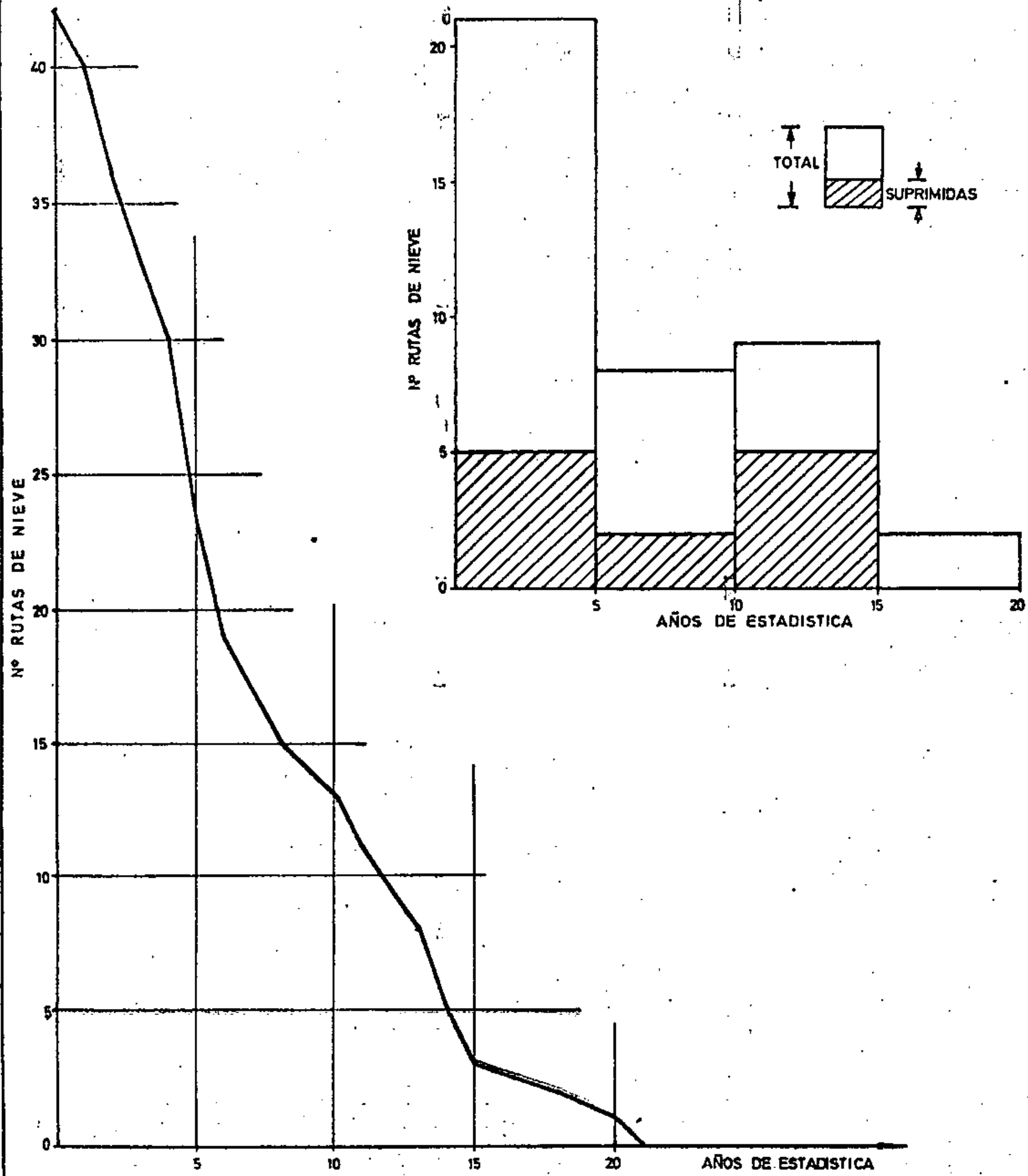
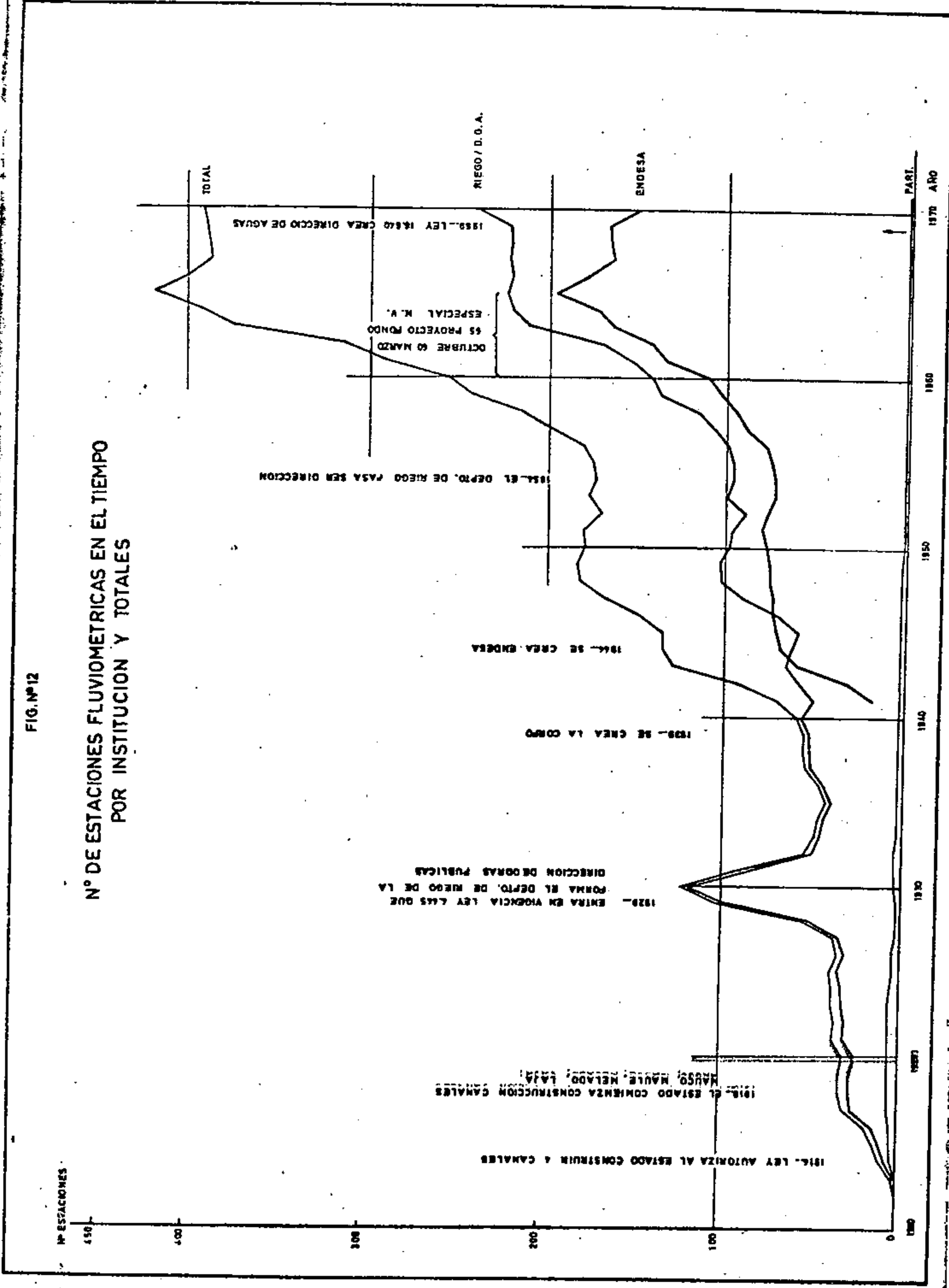


FIG. Nº 11

RUTAS DE NIEVE

ANTIGUEDAD DE LA ESTADISTICA





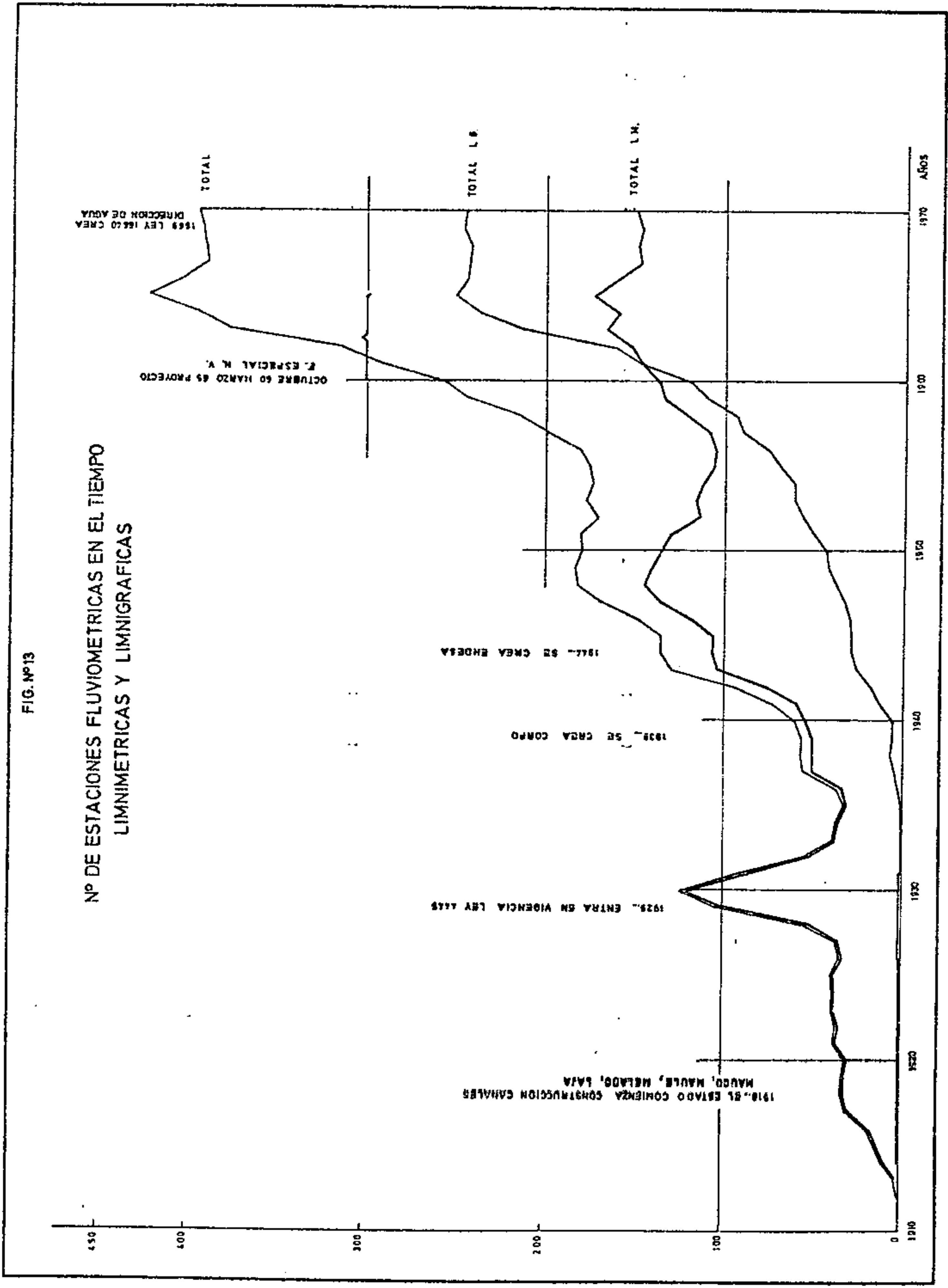


FIG. Nº 14

Nº DE ESTACIONES FLUVIOMETRICAS EN EL TIEMPO
POR INSTITUCION E INSTRUMENTO UTILIZADO

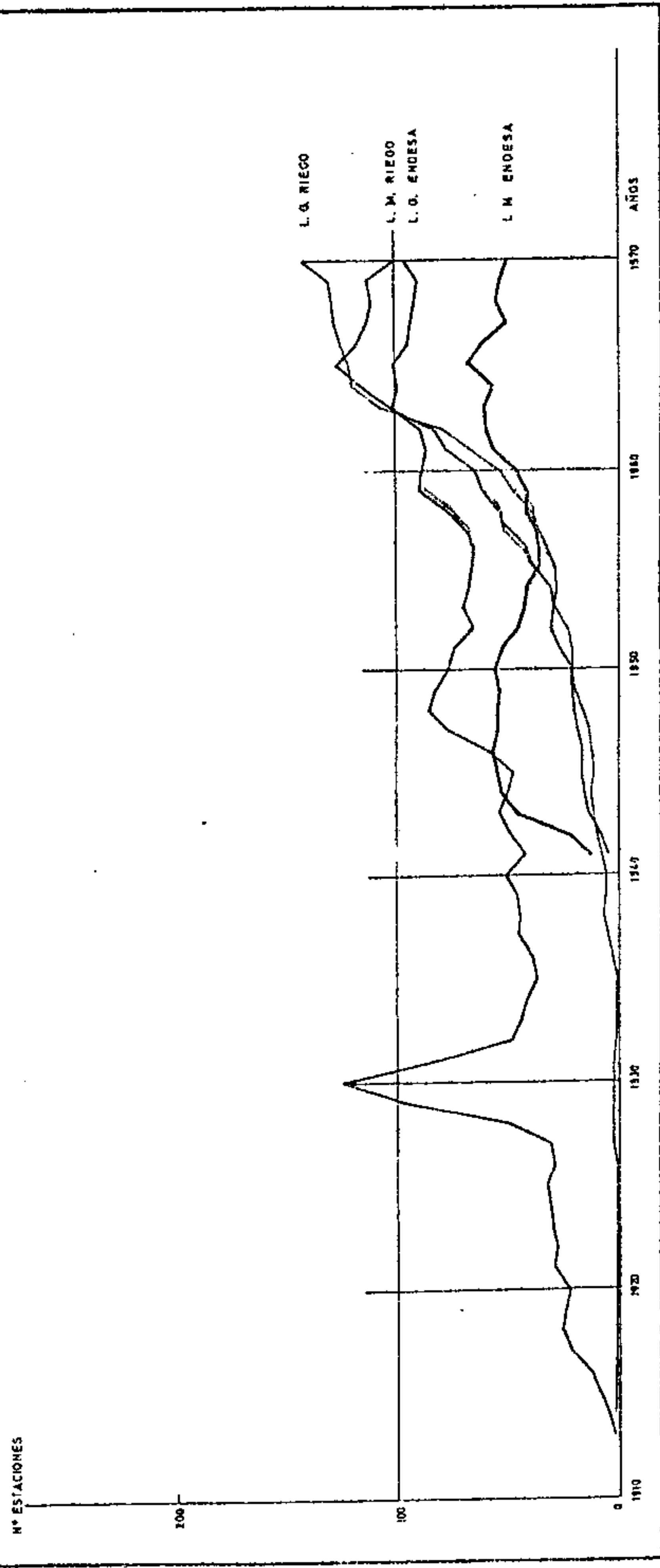


FIG. Nº15

Nº DE ESTACIONES FLUVIOMETRICAS EN EL TIEMPO
POR ZONA

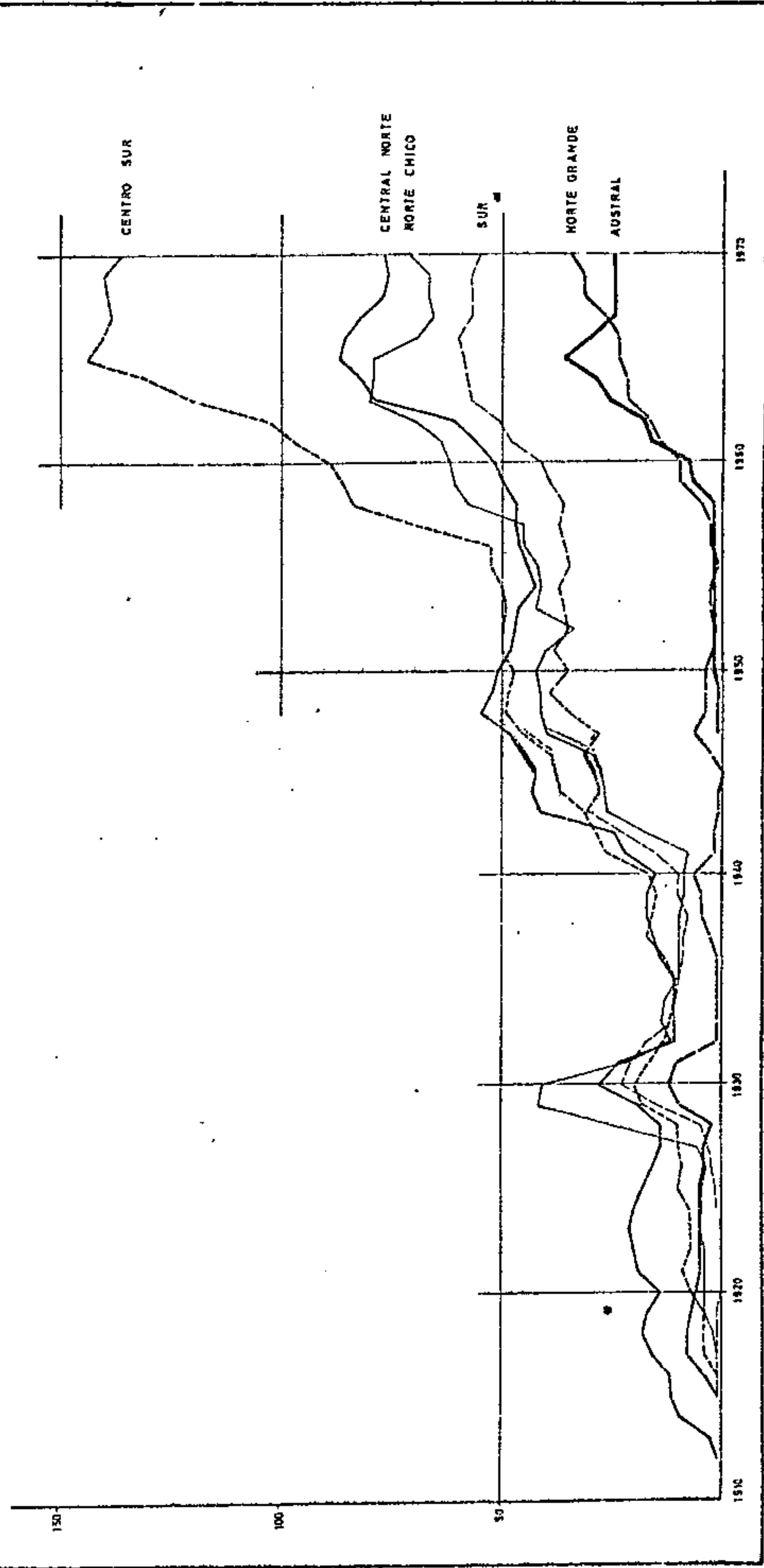
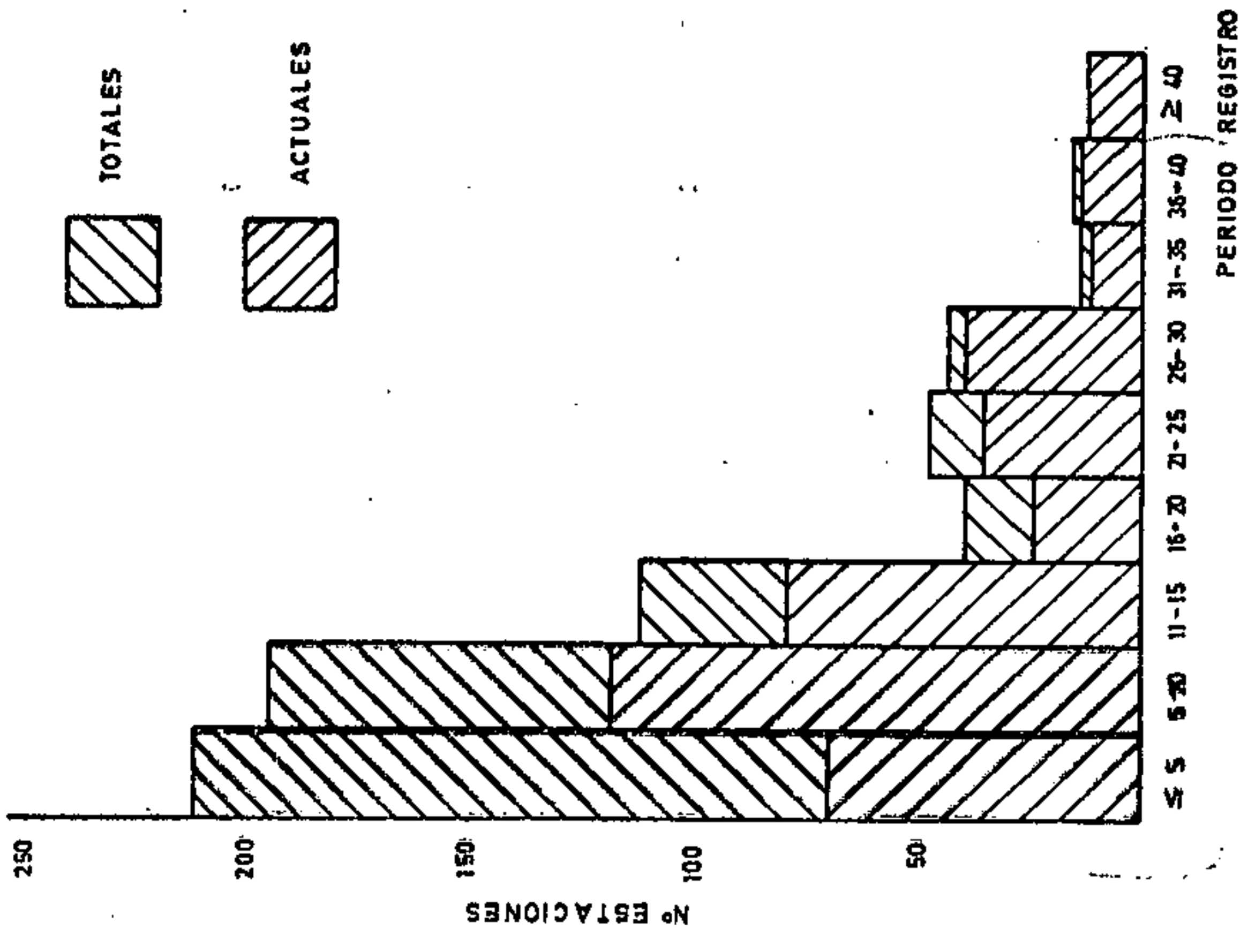
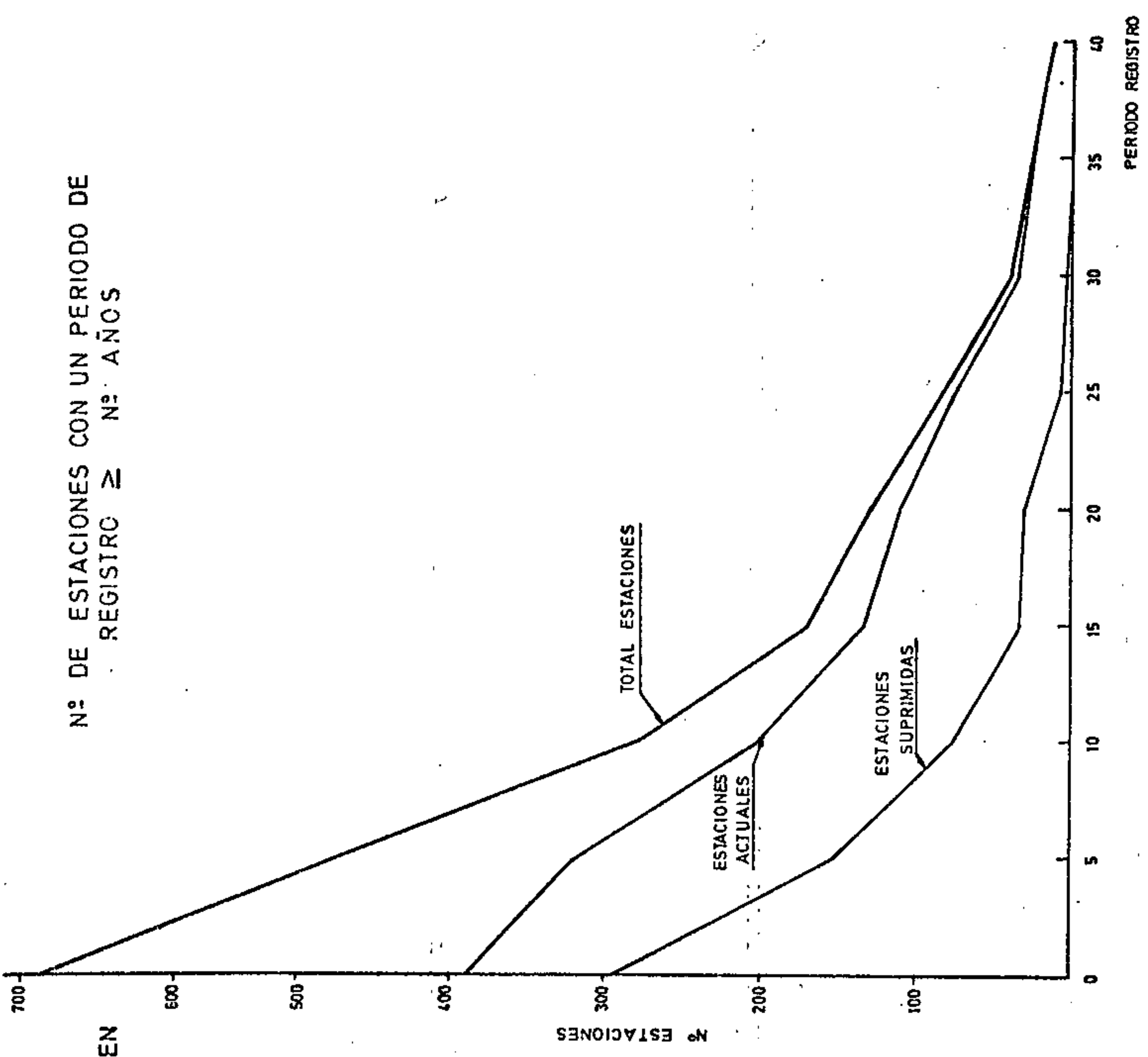


FIG. Nº 16

LONGITUD DEL REGISTRO DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS QUE EXISTEN O HAN EXISTIDO



Nº DE ESTACIONES CON UN PERIODO DE REGISTRO ≥ Nº AÑOS



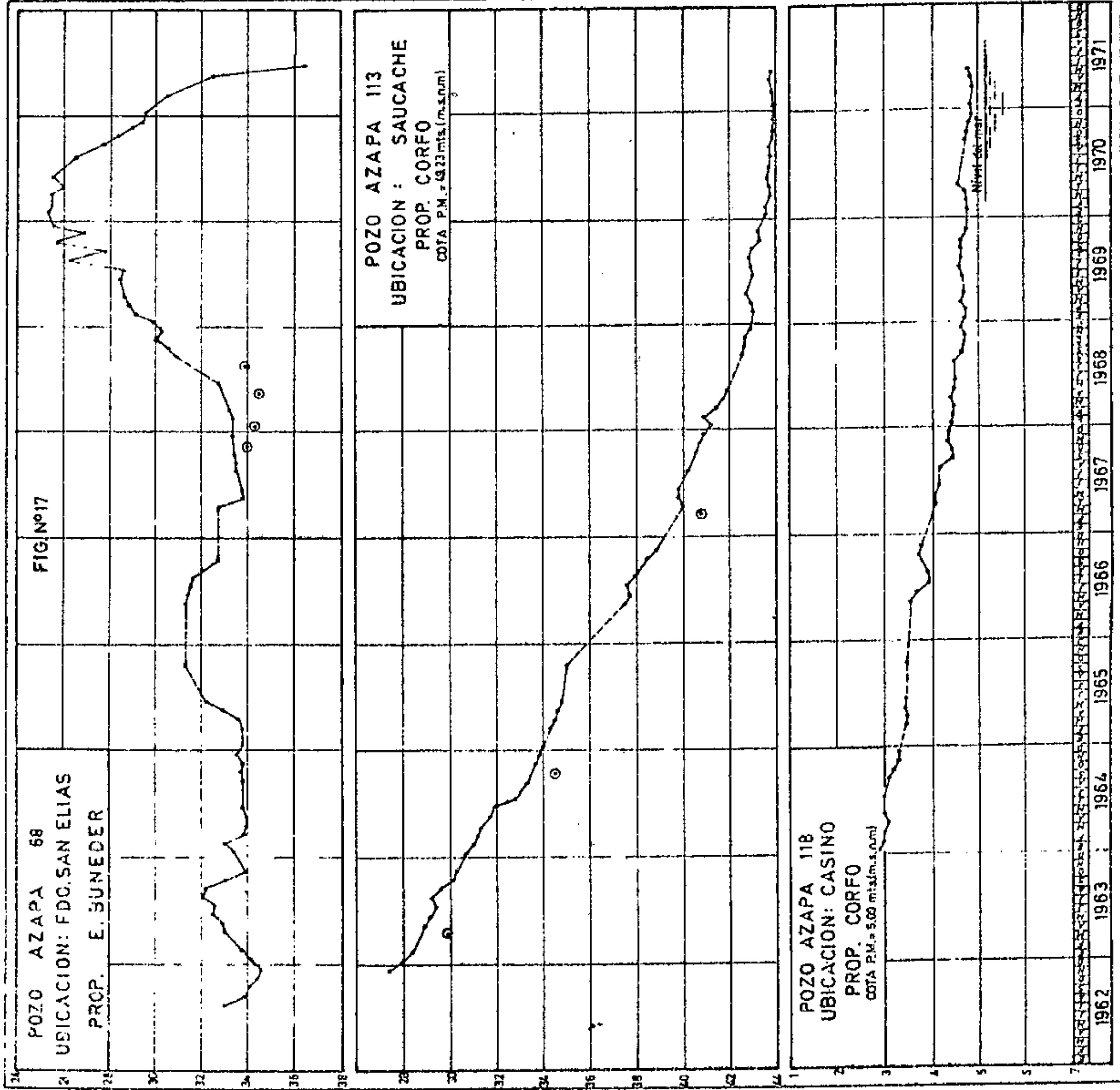
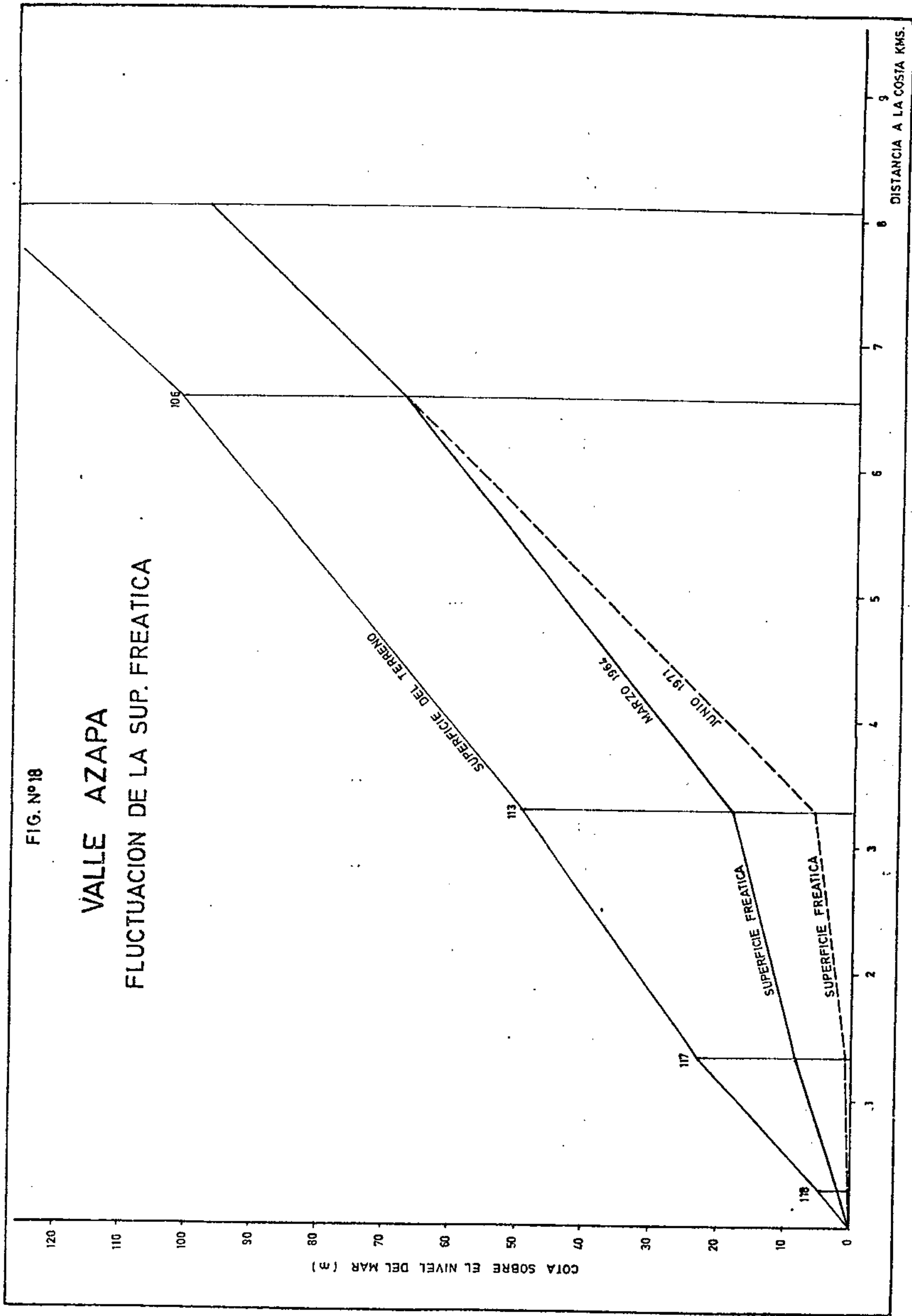


FIG. Nº 18

VALLE AZAPA FLUCTUACION DE LA SUP. FREATICA



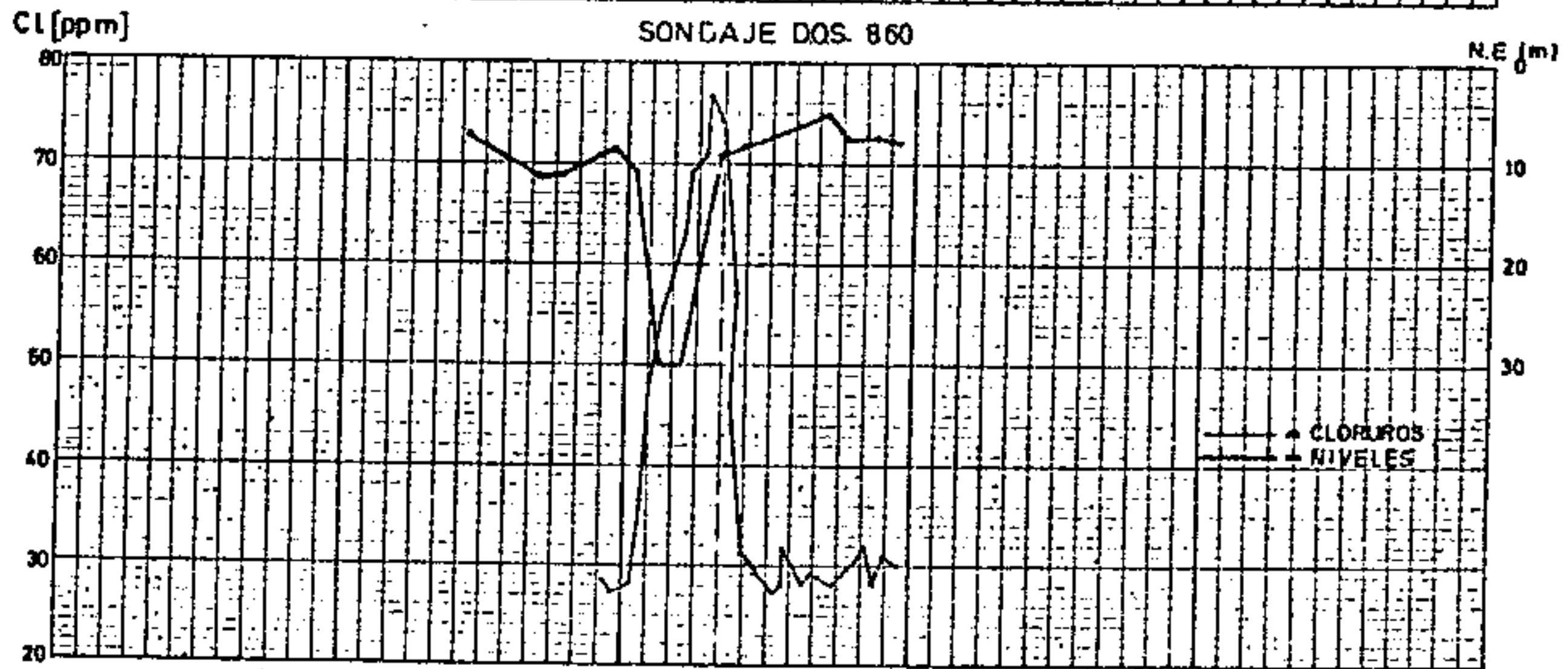
CODEX BOOK COMPANY, INC. NEWTON, MASSACHUSETTS.
WIND 4.1.4.4

NO. 31.320. FIVE 1.1.73 BY MONTING X THREE SECTIONS OF 60 DIVISIONS.



1969												1970												1971																																															
DAY	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN															
[Blank grid cells for 1969-1971 data]																																																																							

FIG. N° 19



1969												1970												1971																																															
DAY	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	WED	THUR	FRI	SAT	SUN															
[Blank grid cells for 1969-1971 data]																																																																							

FIG. Nº 20
 RIO ACONCAGUA
 VARIACION DE LA CONTAMINACION

ABRIL - MAYO 1971
 (VALORES PROMEDIO)

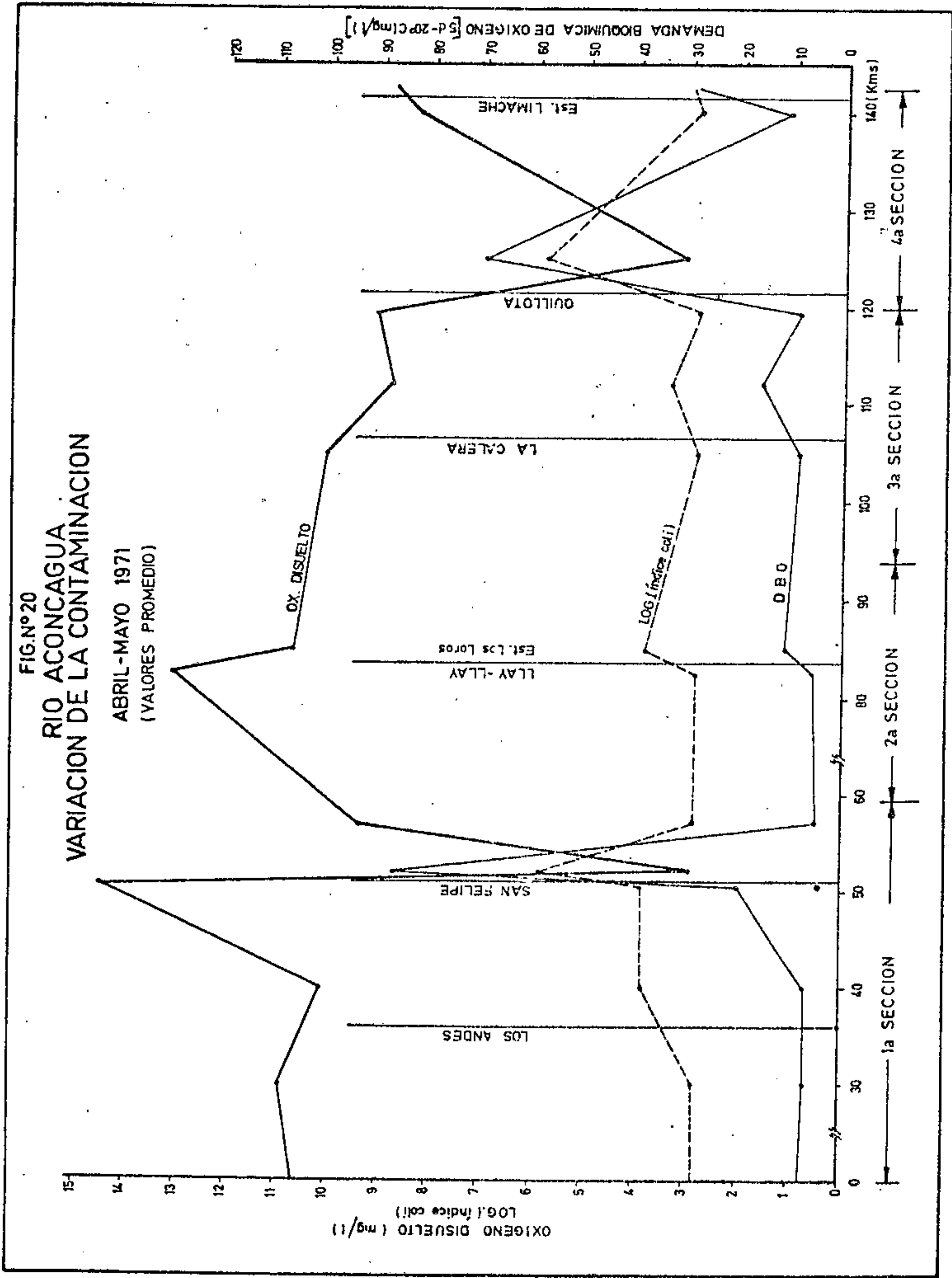
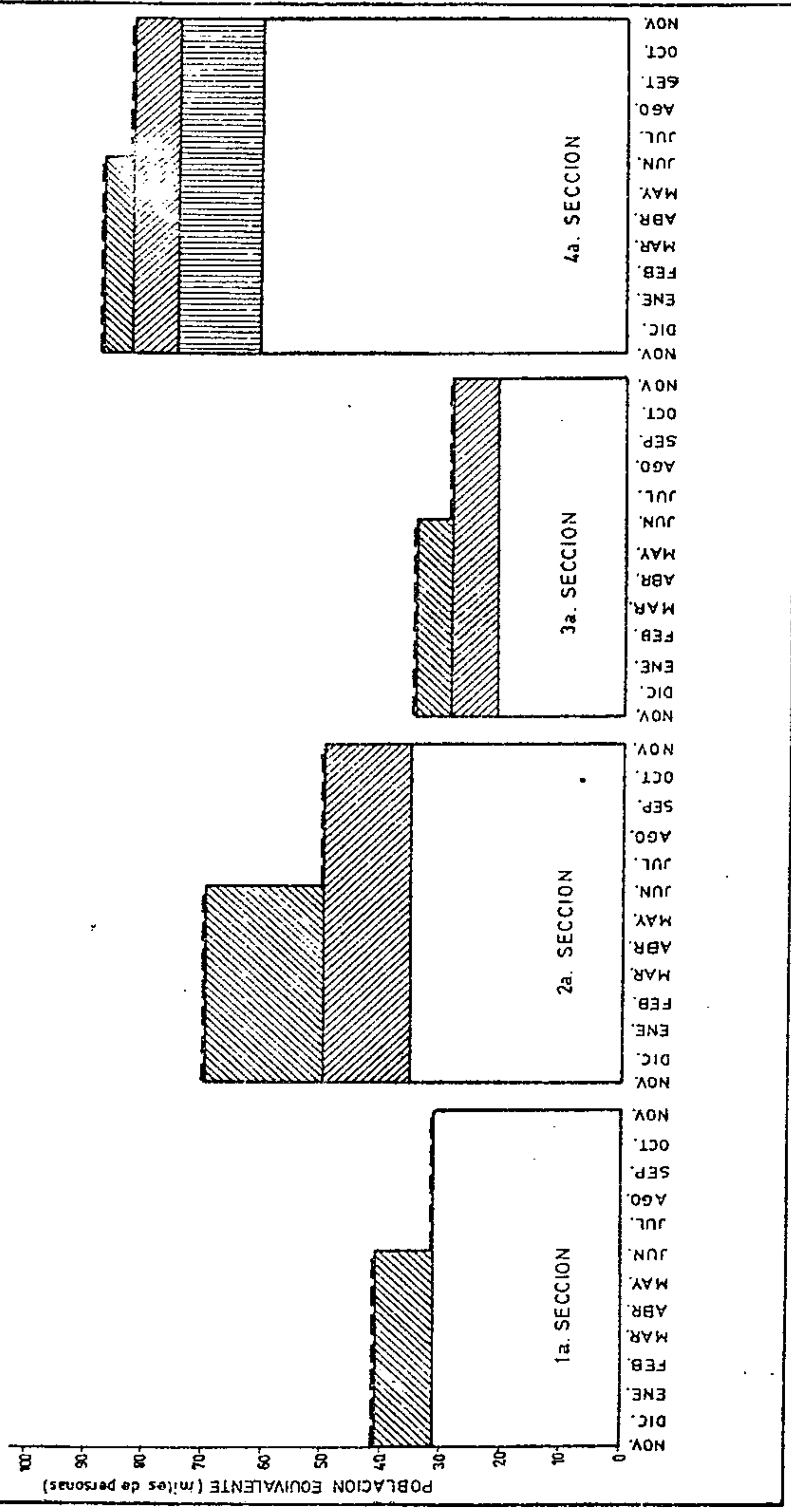


FIG. Nº 21

VARIACION DE LA POBLACION EQUIVALENTE DEL RIO ACONCAGUA AÑO 1970

- ☐ = POBLACION URBANA
- ▨ = POB. EQUIV. DE INDUSTRIAS CONSERVERAS
- ▧ = POB. EQUIV. DE OTRAS INDUSTRIAS
- ▩ = POB. EQUIV. DE MATADEROS
- = POB. EQUIV. C.C.U. LIMACHE



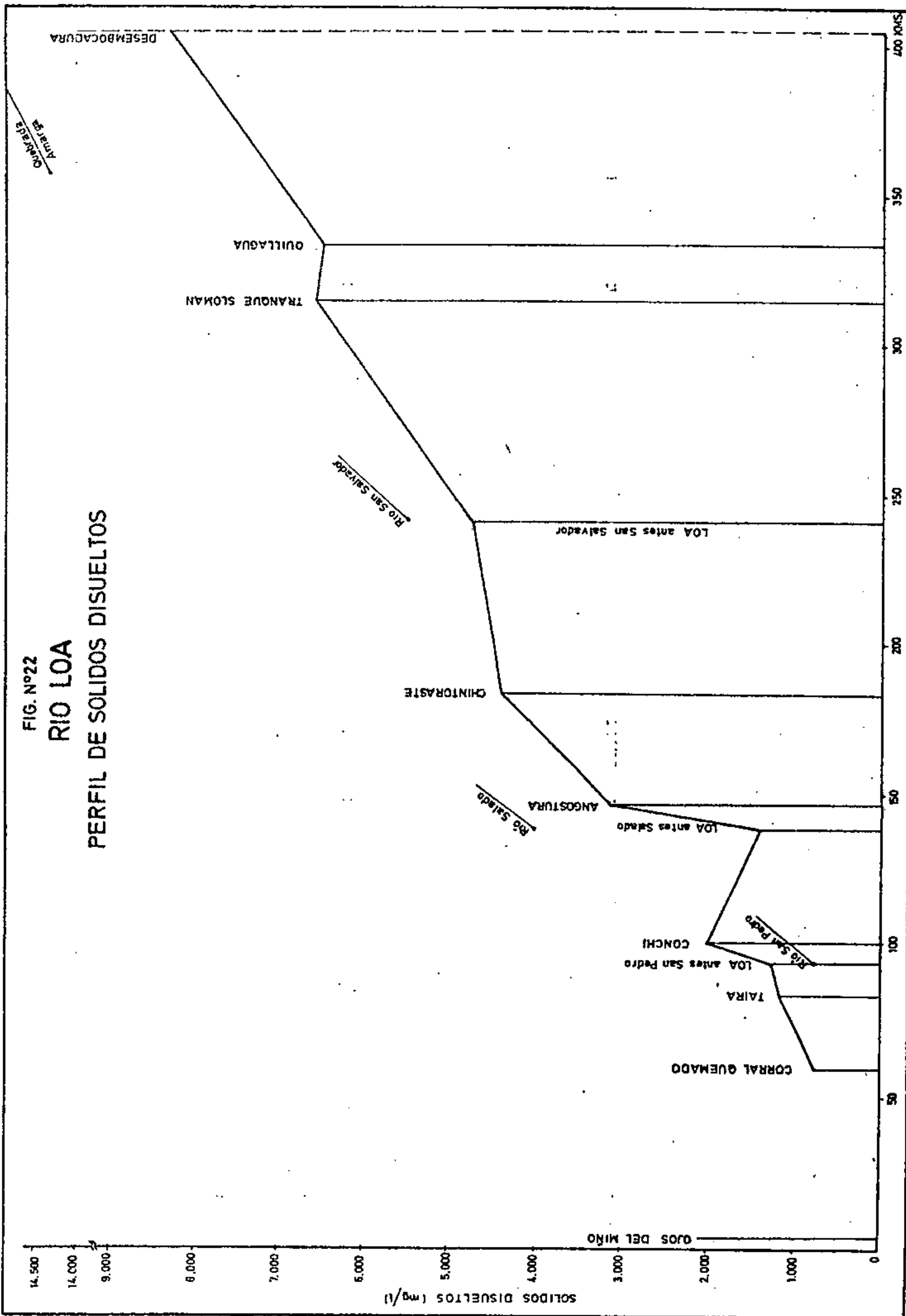
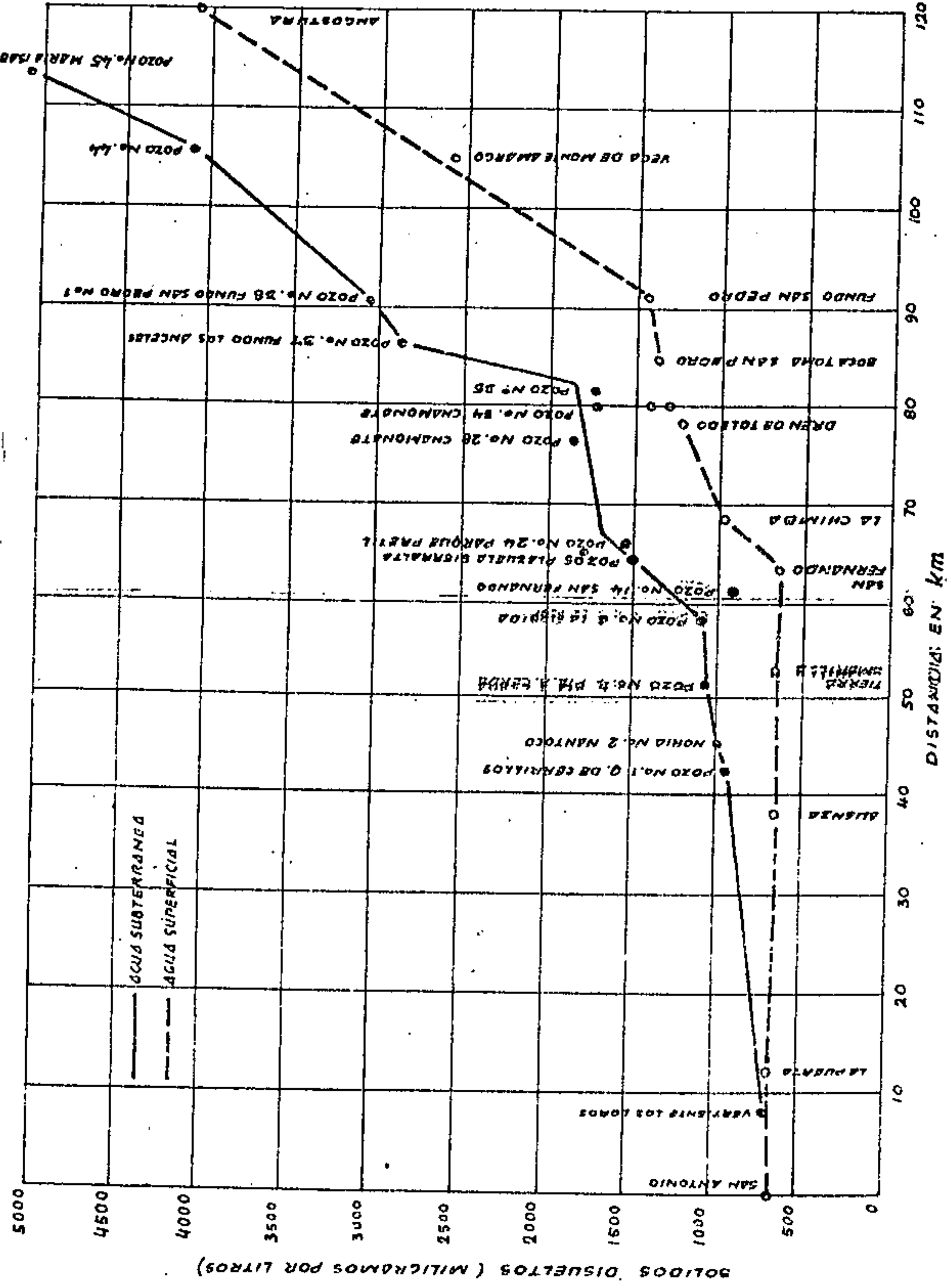
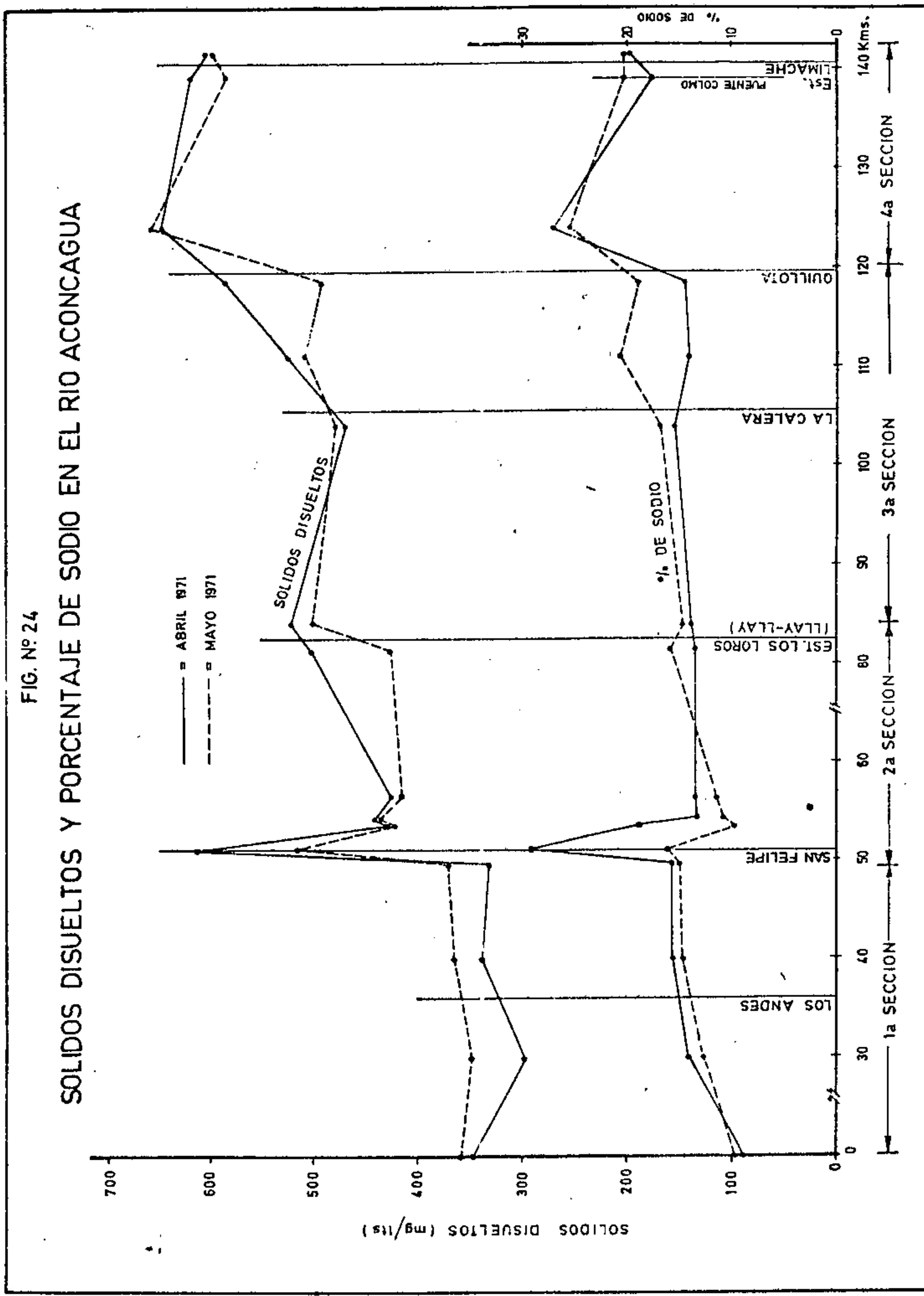


FIG. Nº 23

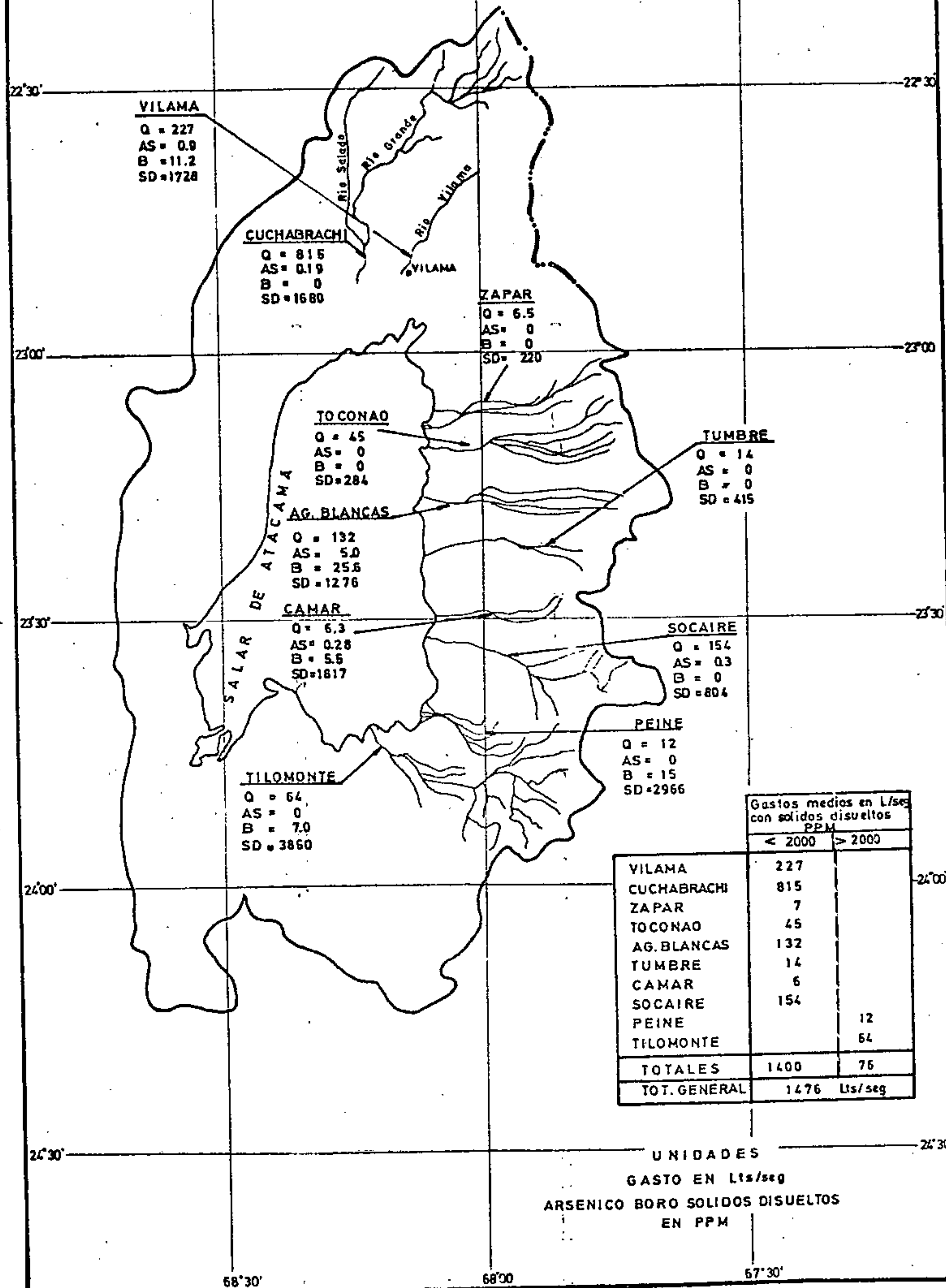
CALIDAD QUIMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA EN EL VALLE DE COPIAPO. (Entre San Antonio y Angostura).





68°30' FIG. Nº 25 67°30'

DIAGRAMA DE OFERTAS DE AGUAS SUPERFICIALES HOYA SALAR DE ATACAMA GASTOS MEDIOS CALIDAD QUIMICA Esc. 1:1.000.000



VILAMA
Q = 227
AS = 0.9
B = 11.2
SD = 1728

CUCHABRACHI
Q = 815
AS = 0.19
B = 0
SD = 1680

ZAPAR
Q = 6.5
AS = 0
B = 0
SD = 220

TOCONAO
Q = 45
AS = 0
B = 0
SD = 284

TUMBRE
Q = 14
AS = 0
B = 0
SD = 415

AG. BLANCAS
Q = 132
AS = 5.0
B = 25.6
SD = 1276

CAMAR
Q = 6.3
AS = 0.28
B = 5.5
SD = 1817

SOCQUIRE
Q = 154
AS = 0.3
B = 0
SD = 804

PEINE
Q = 12
AS = 0
B = 15
SD = 2966

TILOMONTE
Q = 64
AS = 0
B = 7.0
SD = 3860

Gastos medios en L/seg
con solidos disueltos
PPM

	Gastos medios en L/seg con solidos disueltos PPM	
	< 2000	> 2000
VILAMA	227	
CUCHABRACHI	815	
ZAPAR	7	
TOCONAO	45	
AG. BLANCAS	132	
TUMBRE	14	
CAMAR	6	
SOCQUIRE	154	
PEINE		12
TILOMONTE		64
TOTALES	1400	76
TOT. GENERAL	1476	Lts/seg

UNIDADES
GASTO EN Lts/seg
ARSENICO BORO SOLIDOS DISUELTOS
EN PPM