14 R

R 14

PORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS
SECCION AGUAS SUBTERRANEAS

FLUCTUACIONES DE LA SUPERFICIE FREATICA EN EL VALLE AZAPA

Ingº PATRICIO MONTERO M.

C797f
2610
c.2

SANTIAGO CHILE
NOVIEMBRE 1969

M770f
2610
C.2

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS
Sección Aguas Subterráneas

codificado

FLUCTUACIONES DE LA SUPERFICIE FREATICA EN EL VALLE DE AZAPA

BIBLIOTECA
IREN

PATRICIO MONTERO MORIAMEZ

2610

AÑO 1 Nº 1

SANTIAGO-1969

INDICE DE MATERIA

I Resumen

II INTRODUCCION

2.1. Objetivo
2.2. Antecedentes

III EL AGUA SUBTERRANEA EN EL VALLE DE AZAPA

3.1. Antecedentes generales
3.2. Recarga del Agua Subterránea
3.3. Descarga del Agua Subterránea
3.4. Balance Hidráulico
3.5. Calidad Química del Agua Subterránea

IV ESTUDIO DE LA FLUCTUACION DE NIVELES

4.1. Generalidades
4.2. Análisis de la fluctuación de niveles
4.3. Influencia general de los factores de recarga.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Aprovechamiento del Agua Superficial
5.2. Explotación del Agua Subterránea
5.3. Intrusión Salina

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y PLANOS

Tabla 1 : Características de los pozos de observación de Nivel Estático en el Valle de Azapa.

Tabla 2 : Registro de Estaciones Hidrometeorológicas en las cuencas del Valle de Azapa y del río Lauca.

Tabla 3 : Análisis químico del Agua Subterránea del Valle de Azapa.

Tabla 4 : Variación del Nivel Estático en perfil E-W del Valle de Azapa.

Figura 1: Mapa de isoyetas de las cuencas de los ríos San José y Lauca.

Figura 2: Perfil E-W en el Valle de Azapa, entre Cabuza y el mar.

Figura 3: Fluctuaciones de la Superficie freática en el Valle de Azapa.

Figuras 4,5 y 6: Estadísticas Pluviométricas y Fluviométricas del Valle de Azapa.

Figuras 7 al 23: Hidrogramas de los pozos de observación de N.E. en el Valle de Azapa.

Plano 1 : Hoyas Hidrográficas de los ríos San José y Lauca

Plano 2 : Plano del Valle de Azapa entre Cabuza y el mar.

I RESUMEN

El comportamiento hidráulico del agua subterránea del Valle de Azapa (que se encuentra en condiciones freáticas saturando parte del relleno aluvial moderno), estudiado a través de los hidrogramas correspondientes a 18 pozos del Valle, sugieren su división en tres zonas hidrológicamente diferentes.

Las dos primeras están comprendidas entre Cabuza y las Vertientes de Alto Ramírez; están separadas entre sí por las vertientes de Albarracines, por lo que cada una de ellas por separado pueden considerarse como embalses subterráneos que regulan el comportamiento hidráulico de los acuíferos situados hacia aguas abajo. La tercera zona se ubica entre las vertientes de Alto Ramírez y el mar; y a su vez se puede subdividir, para efectos del comportamiento de la napa subterránea, en cuatro secciones: la primera está comprendida entre Alto Ramírez y la curva topográfica de 90 mts. sobre el nivel del mar; la segunda entre ésta y la Punta de Chuño (curva de 50 mts. sobre el nivel del mar); la tercera entre ésta y la curva de 6 mts. sobre el nivel del mar (llamada Planicie Costanera); y la última constituye la llamada "Franja Costera".

Por otra parte, las dos fuentes de recarga conocidas del Valle son: las avenidas del río San José (que sólo esporádicamente llegan al mar); y la infiltración proveniente del escurrimiento superficial del Canal Lauca. Este último fue puesto en servicio en Abril de 1962, pero ha sido sometido a frecuentes interrupciones habiéndose regularizado su uso sólo a partir de Abril de 1967.

El aporte de estas fuentes de recarga a los embalses subterráneos del Valle de Azapa, varía según la zona hidrológica considerada, notándose una clara gradación hacia aguas abajo.

Es así como en la 1era zona se nota una clara influencia de ambas fuentes de recarga,mientras que en la 2da. zona ella se ve algo amortiguada, sobre todo en el caso del Canal Lauca.

En la primera sección de la tercera zona, en cambio, la influencia del San José se muestra amortiguada, mientras que la del Canal Lauca es nula.

En la segunda sección, en cambio, no se nota influencia de estos factores de recarga, porque el bombeo intensivo ha producido un decrecimiento constante del nivel estático; el que sólo empieza a ascender a principios de 1968.

Al pasar a la tercera sección, tampoco se nota ninguna influencia ni del río San José ni del Canal Lauca, hasta principios de 1969; fecha en que el nivel estático se estabiliza después de haber bajado permenentemente.

En cuanto a la cuarta sección (franja costera), no se ve afectada por ninguno de ambos escurrimientos superficiales. Sin embargo, existe en esta zona un decrecimiento leve pero constante de niveles estáticos, que sólo muestran estabilización a partir de principios de 1969.

El análisis de los Hidrogramas lleva a la conclusión que la descarga artificial de agua subterránea del Valle de Azapa, es mayor que la recarga natural de los acuíferos del valle.

El balance hidráulico arroja un déficit de 200 a 400 lts/seg y, consecuencia de esta situación es la constante declinación que ha experimentado la superficie freática a partir de 1955.

Esta declinación ha llegado a ser crítica en la región costanera, donde la depresión del nivel freático ha llegado a valores que posibilitan la contaminación salina del agua subterránea.

Para aliviar en parte esta crítica situación, deberá explotarse a la brevedad el agua subterránea en la región de La Concordia. Además, es necesario revisar las actuales mercedes de agua y fijar una política de explotación del recurso, de acuerdo a las posibilidades reales.

Paralelamente, es indispensable aprovechar al máximo los recursos de agua existentes por lo cual sería conveniente de que la ciudad de Arica contara con una planta de Aguas Servidas.

Por otra parte, parece ser que la solución más práctica de este problema es aumentar la dotación de agua del Canal Lauca.

II INTRODUCCION

2.1. Objetivo :

Las fluctuaciones de nivel estático del agua subterránea en una zona determinada, representan la relación recarga/descarga de la misma.

En este caso tiene especial importancia controlar esta relación en el Valle de Azapa, ya que el agua subterránea de este Valle representa un porcentaje significativo del recurso total de agua que utiliza la zona; es por esto que la Sección Aguas Subterráneas del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO lleva desde 1960 una estadística de las fluctuaciones de la superficie freática en este Valle.

El objetivo del presente informe es el análisis de este registro en función de los aportes de agua superficial que llegan al valle, y corresponde a una actualización de la publicación titulada "Hidrogeología del Departamento de Arica" editado en Noviembre de 1966 por la Corporación de Fomento de la Producción y el Instituto de Investigaciones Geológicas.

2.2. Antecedentes :

Los antecedentes generales correspondientes al área en estudio (geográficos, hidrográficos, geológicos e hidrológicos, etc). se encuentran en el informe ya mencionado, por lo que no se incluirán aquí.

Los antecedentes hidrogeológicos corresponden a 18 pozos que constituyen una muestra del Valle, y de los cuales se lleva un registro mensual de las fluctuaciones de nivel. De ellos, 6 fueron construídos por CORFO para este efecto, y los doce restantes se seleccionaron de un total de 120 pozos existentes y actualmente en explotación. Las caractecterísticas de estos pozos se han incluído en la Tabla Nº 1.

En el plano Nº 2, que corresponde al Sector del Valle comprendido entre el mar y la

zona de Cabuza, (donde se encuentra la mayor del área agrícola), se muestra la ubicación de todos los pozos de explotación y observación construídos hasta fines de 1966.

El escurrimiento superficial a través del Valle de Azapa proviene de dos fuentes principales: el río San José, con eventuales crecidas anuales en los dos o tres primeros meses del año; y las aguas provenientes del Canal Lauca, cuyas compuertas fueron abiertas el 14 de Abril de 1962.

Para correlacionar este escurrimiento superficial con las variaciones de la superficie freática del Valle, se dispone de los registros de gastos medios mensuales del río San José; los cuales son tomado por ENDESA en la estación Fluviométrica "Acueducto Azapa en Bocatoma" que esa Empresa controla desde el año 1964 (antes perteneció a la D. de R. del MOP). Los antecedentes del Canal Lauca, también proporcionados por ENDESA, provienen de la estación Fluviométrica "Canal Lauca en Km3".

Por último, y complementando estas estadísticas, se dispone del registro pluviométrico de la Estación Meteorológica de Murmurtane, también pertenecientes a ENDESA. La ubicación y características de estas estaciones se encuentran en la Figura Nº 1 y tabla Nº 2 respectivamente.

III EL AGUA SUBTERRANEA EN EL VALLE DE AZAPA.

3.1. Antecedentes Generales :

En el Valle de Azapa se pueden diferenciar dos sistemas de quebradas: las ubicadas hacia el Este de la Sierra de Guaylillas son encajonadas , de fuertes pendientes y muy poco relleno aluvial; mientras que las ubicadas hacia el Oeste (aguas abajo de Humagata) son anchas, poco profundas; presentando, de esta manera, mejores condiciones para el escurrimiento subterráneo.

Por otra parte, las precipitaciones capaces de tener efectos de recarga por infiltración en el Valle de Azapa ocurren normalmente sobre los 2.500 mts. s.n.m., tal como puede verse en el mapa de isoyetas que se muestra en la Fig. Nº 1. Por lo tanto, las precipitaciones se producen principalmente en la llamada Sierra de Guaylillas, situada en la cabecera del río San José y constituída por las Quebradas: Seca, Chusmiza, Chapiquiña, Belén y Tignamar. Estas lluvias tienen carácter torrencial, distribuyéndose sólo en los meses de Diciembre a Abril, en el llamado invierno Boliviano; como puede observarse en la Estadística de Murmurtane (Fig. 4).

Del total de agua caída en la hoya hidrográfica del río San José, una parte se evapora, una pequeña parte se infiltra inmediatamente y la mayor parte escurre superficialmente hasta llegar a las zonas de infiltración (hacia aguas abajo de Humagata), donde parte de ellas se infiltra y el resto sigue escurriendo superficialmente produciendo las avenidas del río San José.

La evaporación potencial en la zona altiplánica es bastante alta en relación con la precipitación; los antecedentes de la estación Meteorológica de Cotacotani indican una evapora

ción potencial de 1.300 mms/año, y una precipitación total de 600 mms/año.

La infiltración directa de precipitaciones en las zonas altas debe ser muy pequeña, dado al escaso espesor de relleno aluvial que presentan las quebradas ubicadas en esa área.

En cambio, en la zona de infiltración (Humagata), tanto el espesor como características granulométricas de los sedimentos superficiales permiten suponer una alta tasa de infiltración; que en la primera aproximación, se puede estimar como un 8 al 10 % del total de agua que escurre.

Si se considera que la hoya hidrográfica del río San José cubre 3.200 Km2, y que la distribución de las precipitaciones en ella es la indicada en el mapa de Isoyetas de la Fig. 1, se tiene que la precipitación media total es de 188.000.000 m3/año, o sea, de 6.000 lts/seg.

Con una tasa de infiltración de 8 a 10 % se obtiene como aporte de las precipitaciones al agua subterránea del Valle en la zona de Humagata, de 480 a 600 lts/seg.

El agua subterránea se encuentra en el Valle en condiciones freáticas, saturando parte del relleno aluvial reciente. Tiene su orígen en infiltraciones provenientes de diversas fuentes de agua superficial, las que se analizarán más adelante.

La granulometría de los sedimentos cuaternarios recientes, en los que se encuentran los principales acuíferos del valle es uno de los factores determinantes que definen en gran medida las características hidrogeológicas del Valle de Azapa. En éste, dentro de los primeros 30 ó 40 mts. existen sedimentos gruesos que se caracterizan por una excelente permeabilidad y capacidad de infiltración.

Esto es particularmente notorio en las zonas altas del Valle, (cercanías de Humagata), ya que el carácter aluvial de estos sedimentos implica una variación gradual y decreciente del tamaño de los granos a medida que se acercan a la costa; de esta manera la permeabilidad de los acuíferos disminuye de Este a Oeste.

3.2. Recarga de Agua Subterránea .

El agua subterránea existente en la zona en estudio (comprendida entre Cabuza y el mar) proviene del caudal entrante y del aporte de las infiltraciones de los cursos superficiales (Canal Lauca y río San José). Además, tiene incidencia el retorno producto del riego.

3.2.1. Caudal subterráneo entrante.

Según los cálculos efectuados por Kleiman y Torres (1960) en base a las transmisilibidades obtenidas en diversos perfiles del valle, el caudal entrante al sistema sería de 270 a 490 lts/seg.; cifra que no se aleja mucho de la estimación anteriormente efectuada como aporte de las lluvias (480 a 600 lts/seg.)

3.2.2. Influencia del Canal Lauca.

El canal Lauca, construído por D.Riego comenzó a funcionar en Abril de 1962. Sus aguas son captadas del río Lauca, aguas abajo de las vegas de Parinacota, y luego son vertidas a la Quebrada Chusmiza (ver plano 1), escuriendo superficialmente hacia Humagata; en este trayecto parte de ellas se infiltran y escurren subterráneamente. Posteriormente, hacia abajo de la localidad de Ausipar, el agua no infiltrada es captada por un canal de Dirección de Riego; que las lleva hacia la parte inferior del valle, donde son usadas en el regadío agrícola.

El funcionamiento del Canal Lauca

puede verse en las Figs. 5 y 6. En la Estadística de la Fig. 5 se indican los gastos mensuales en el canal a 3.3 Kms. de su nacimiento; de ella se desprende que desde la puesta en servicio del canal (1962) hasta fines de 1966 el gasto medio fue de 600 lts/seg.; mientras que desde 1967 hasta la fecha, el gasto medio fue de 800 lts/seg.

Por otra parte, la estadística del acueducto de Azapa en su bocatoma, indica que los gastos medios que llegaron al valle fueron de 320 lts/seg. desde 1963 a 1966, y 680 desde 1967 hasta la fecha.

Para calcular el aporte del escurrimiento del canal Lauca a los recursos de agua subterránea del Valle, se debe considerar un caudal medio de 700 lts/seg.en el Acueducto Azapa, y una tasa de infiltración del 8 al 10 % Por lo tanto, la infiltración correspondiente al Canal Lauca que pasa a recargar el agua subterránea del Valle de Azapa, debe estimarse en alrededor de 56 a 70 lts/seg en condiciones normales.

3.2.3. Influencia de las crecidas del río San José.

Las precipitaciones torrenciales ocurridas en el altiplano, producen crecidas del río San José. Estas normalmente no llegan al mar, pero eventualmente (cada 3 ó 5 años) pueden hacerlo, como fueron los casos observados en los años 1961, 1963 y 1967.

Cuando se producen estas "avenidas" los agricultores del valle las aprovechan inundando sus predios; favoreciendo de esta manera la infiltración y provocando una recarga adicional en los acuíferos del valle.

Según Kleiman y Torres, una "avenida" normal lleva del orden de 5 millones de mts3. de agua; que son aprovechadas para el riego

por inundación.

Si suponemos para este caso una tasa de infiltración de 20 a 30 % se tiene que las avenidas normales aportan anualmente del orden de 1 a 1,5 millones de m3 de agua subterránea al valle, lo que es equivalente a decir que se cuenta con un caudal de 32 a 48 lts/seg. permanentes.

En el caso de las grandes avenidas (1961 ó 1963) pueden aprovecharse en el regadío del orden de 9 a 10 millones y se pierden de 10 a 20 millones de m3 en el mar; lo que significa una recarga continua equivalente por infiltración del orden de 80 lts/seg. y una pérdida de 100 a 200 lts/seg. De lo expuesto se desprende la importancia que tiene el aprovechamiento integral de las creces del San José en el Valle de Azapa.

3.2.4. Influencia del retorno de riego

Para los fines de este informe se llama retorno de Riego a aquella parte del agua ocupada en el regadío agrícola que, al infiltrarse, vuelve a incrementar los cauces subterráneos. Los principales factores que favorecen este retorno son: suelo permeable no saturado y ubicación relativamente profundo del nivel freático.

Estas condiciones se dan en el Valle de Azapa, por lo que la tasa de retorno se ha estimado en 20 a 30 %. Si se considera una dotación de 500 lts/seg. usada en regadío, la recarga por retorno de riego en el valle es de 100 a 150 lts/seg. aproximadamente.

3.2.5. Recarga total de agua subterránea en el Valle de Azapa.

En un año normal y de acuerdo a los párrafos anteriores se puede considerar los siguientes valores de recarga de agua subterránea en el Valle de Azapa.

Caudal entrante	270.490 lts/seg
Canal Lauca	56 -70.
Av. del río San José	32 - 48
Retorno de Riego	100-150
Total	458 -758

3.3. Descarga del agua subterránea .

La descarga del agua subterránea del Valle de Azapa se efectúa artificialmente mediante pozos (sondajes y norias); y en forma natural en las vertientes, descarga subterránea al mar , y evapotranspiración de las plantas..

3.3.1. Descarga artificial mediante pozos:

Hasta fines de 1966 existian registrados en el Valle un total de 61 sondajes y 57 pozos la mayoría de los cuales se encontraban en explotación para el uso doméstico, agrícola e industrial. La extracción total en la actualidad, J.Karzulović la ha estimado del orden de 800 lts/seg.; de los cuales 500 lts/seg corresponden a regadio agrícola, 270 lts/seg al consumo de agua potable (sondajes DOS), 30 lts/seg al consumo industrial (ENDESA, Olivarera de Azapa).

De estos valores, el que puede sufrir mayor variación es el de 500 lts/seg. correspondientes al regadío agrícola.

En 1961 Kleiman y Torres estimaron un caudal instantáneo posible de extraer de 681 lts/seg., y el caudal continuo medio como un 70 % de éste;o sea, de aproximadamente 400 lts/seg..

Sin embargo, dado que es muy probable que el área regada haya aumentado en el periodo 1961 - 1968, en mayor proporción que el aumento en la dotación de agua proveniente del canal Lauca, es casi seguro que el uso actual de agua en regadío agrícola no baja de 450 a 500 lts/seg. Esta cifra puede ser bastante conservadora si se toma en cuenta que la aplicación de la fórmula Blaney-Criddle a las 1.800 héctareas cultivadas del valle da un valor de uso-consumo de 620 lts/seg.

Por lo tanto,la explotacion total de agua subterránea en el Valle de Azapa debe estimarse en cifras no inferiores a 750 - 800. l/s.

En todo caso, sería de gran interés poder obtener cifras actualizadas tanto del área regada como del uso del agua en el Valle;

para lo cual es necesario confeccionar un catastro de consumo. Esto permitiría obtener con mayor precisión la cifra de explotación total de agua subterránea del Valle.

Los sondajes se encuentran concentrados en ciertos sectores, (Las Riberas, Las Maitas, Pago de Gómez), lo cual ha producido descensos desuniformes del nivel freático a lo largo del Valle.

Por otra parte, los rendimientos de los pozos varían bastante, incluso en la misma zona; así por ejemplo, los pozos ubicados en el sector Pago de Gomez, tienen rendimientos comprendidos entre 1.0 y 6.5 con un promedio de 2.5 lts/seg/mt. mientras que el rendimiento de los pozos del sector comprendido entre Saucache y la ciudad de Arica varían entre 2.12 y 11.3 con un promedio de 6 lts/seg/mt.

El conjunto de los dos factores anteriores (concentración de sondajes y diferentes rendimientos hidráulicos de ellos) ha tenido por consecuencia una extracción concentrada en la zona de Saucache; de esta zona se extrae actualmente gran parte del total del agua subterránea bombeada en el valle y del agua que abastece a la ciudad de Arica, lo que se ha traducido en un peligroso descenso del nivel freático en este sector.

3.3.2. Descarga natural

Denominaremos como descarga natural a la que se produce en vertientes y afloramientos naturales de agua, como también en galerías de captación en zonas de nivel freático alto (estas últimas también se llaman lumbreras o sovacones). En el Valle, las descarga natural se manifiesta en tres sectores: Las Riberas (frente a la quebrada del Diablo), Albarracines y Alto Ramírez.

Las vertientes de Las Riberas se originan por una disminución de la permeabilidad causada por la invasión de materiales heterogeneos provenientes de la Quebrada del Diablo en el relleno fluvial del valle.

En cambio, las vertientes de Albarracines y de Alto Ramírez son causadas por una disminución de la sección del relleno, lo que obliga al agua acercarse a la superficie y finalmente a florar; volviéndo a infiltrarse una vez pasada la sección restringente.

Las vertientes constituyen verdaderas secciones de regulación para el embalse subterráneo, cumpliendo para este un papel similar al vertedero en un embalse artificial. De esta manera, las vertientes aislan hidráulicamente la zona de aguas arriba de aguas abajo, dividiendola en dos sectores.

Consecuencia de lo anterior es un desfase en el tiempo en el comportamiento hidráulico de las dos zonas separadas por vertientes; ya que los efectos de recarga, por ejemplo, sólo serán notorios hacia aguas abajo una vez que se haya saturado suficientemente el acuífero hacia aguas arriba de las vertientes, y cuyo excedente sea descargado por esta.

En el Valle de Azapa existen trece vertientes principales: Concepción, San Miguel, Matavaca, Peñablanca, Conchalique y Socavón en el área de Las Riberas; Albarracines y V. del Estanque en la zona Albarracines: El Gallito, Medialuna, Mitachica y Socavón de Maure en Alto Ramírez.

De todas ellas, las vertientes de El Socavón, la Concepción y Conchalique en Las Riberas, y el Socavón de Maure en Alto Ramírez se encuentran secos en la actualidad.

De las otras, sólo Albarracines y El Gallito (que son las principales) han tenido un funcionamiento relativamente constante, aunque disparejo. Los demás han pasado largos períodos de tiempo totalmente secos, con etapas de recuperación debido a las avenidas del río San José. La Captación del río Lauca ha influído notoriamente en la recuperación de las vertientes, lo que ha sido particularmente notable en San Miguel, El Gallito, Del Estanque, Matavaca y la Noria.

Las vertientes se explotan intensamente en el Valle de Azapa, con gran efectividad de uso, ya que parte del agua extraída y aprovechada en el regadío, al infiltrarse y escurrir sub-

terráneamente, es aprovechable nuevamente aguas abajo de las zonas de vertientes.

Juan Karzulović estimó los siguientes caudales aproximados de vertientes en Marzo de 1966:

San Miguel	20 lts/seg
Albarracines	30
Mitachica	5
El Gallito	20
El Estanque	5
Total	80 lts/seg

Las otras vertientes estaban totalmente secas.

Ya que el funcionamiento de las vertientes fluctúa de acuerdo a las avenidas de río San José y del funcionamiento del Canal Lauca, se puede suponer un caudal medio de 50 a 60 lts/seg descargados por ellas.

3.3.3. Descarga por Evapotranspiración Natural.

En el Valle de Azapa existe una superficie del orden de 2000 Hás, cultivadas con frutales, chacarería y forrajes. En esta zona la evapotranspiración debe ser relativamente alta pero su origen es principalmente el agua de riego, y no el agua subterránea; por lo que no puede ser considerada como descarga para efectos de Balance Hidráulico.

Pero también existen alrededor de 200 Hás. de vegetación freatófita, la que si se alimenta de agua subterránea, y por lo tanto es necesaria considerarla como factor de descarga. Aplicando la fórmula de Blaney-Criddle a estas zonas se obtiene para ellas un consumo anual de 1.500.000 a 2.500.000 de metros cúbicos, lo que corresponde a un caudal continuo equivalente a 47 - 80 lts/seg.

3.3.4. Descarga en el Océano

Parte del agua subterránea que escurre por el Valle de Azapa, descarga directamente en el mar. Esto puede apreciarse tanto por

afloramientos de agua dulce que se observa en la región costanera, como por la calidad química del agua en pozos freáticos cercanos a la costa.

La magnitud de la descarga es difícil de evaluar. Karzulović, (1968) estimó un límite superior no mayor de unos 40 lts/seg como primera aproximación.

3.3.5. Descarga total de agua subterránea del Valle de Azapa.

Según los párrafos anteriores, la descarga de agua sería la siguiente:

Descarga artificial mediante pozos	750-800 l/s.
Descarga por vertientes	50-60
Descarga por Evapotranspiración Nat.	50-80
Descarga en el Océano	20-40
Descarga total	870-980 l/s.

3.4. Balance Hidráulico.

De acuerdo a los párrafos anteriores, la recarga total de agua subterránea del Valle de Azapa fluctúa entre 460 a 760 lts/seg: mientras que la descarga total lo hace entre 870 y 980 lts/seg. Esto implica un déficit aproximado de 220 a 410 lts/seg en las reservas subterráneas del Valle.

3.5. Calidad Química del Agua Subterránea

De la tabla Nº 3 se desprende que la calidad química del agua subterránea a lo largo del Valle de Azapa va aumentando gradualmente hacia aguas abajo hasta alcanzar 900 ppm aproximadamente; y que en la franja costera se alza hasta 3.800 p.p.m.

Este aumento paulatino es lógico esperarlo, ya que el agua subterránea disuelve mayor cantidad de sales en su recorrido hacia el mar.

Lo mismo sucede con la dureza total (hasta 380 ppm de $CaCO_3$); mientras que el pH fluctúa irregularmente.

Esto indica que la calidad química del agua subterránea a lo largo del Valle de Azapa es muy similar; lo que comprueba el mismo origen geológico de los componentes de ella. Esta agua es ligeramente alcalina, relativamente blanda, y de poca salinidad.

Un análisis efectuado por el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO en Junio de 1968 arrojó los siguientes resultados para el canal Lauca.

a) Chapiquiña	400	mmhos/cm
b) Bocatoma acueducto	720	"
c) Promedio Agua Subterránea.(tramo Cabuza Saucache)	540	"

Esto estaría indicando que el agua subterránea sería de mejor calidad química que la proveniente del canal Lauca.

IV ESTUDIO DE LA FLUCTUACION DE NIVELES

4.1. Generalidades

La fluctuación de niveles estáticos generalmente presenta un buen grado de correlación con la variación de la escorrentía superficial, considerado como factor de recarga del agua subterránea.

En el caso del Valle de Azapa, este aporte se materializa en dos formas:

- Avenidas anuales del río San José, que se producen en los primeros dos o tres meses del año, con una duración de pocos días.

- Infiltración proveniente del escurrimiento superficial del Canal Lauca; cuyas aguas empezaron a llegar al Valle de Azapa en Abril de 1962, y cuyo caudal ha sufrido varias interrupciones. Sin embargo su curso ha sido regularizado a partir de Abril de 1967.

Las avenidas del río San José pueden correlacionarse a su vez con las precipitaciones producidas en el Altiplano en los meses de verano. Para esto puede utilizarse la estadística Pluviométrica registrada en la Estación Murmurtane (ver plano Nº 2), la que puede verse en la Fig. Nº 4.

Las avenidas más importantes del río San José de los últimos 30 años se han producido en los años 1961 y 1963 y sus características fueron analizadas por Kleiman y Torres y el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, respectivamente.

Para la primera se calcula que escurrió un volumen de 22 millones de m3 de agua, de las cuales 13 se ocuparon en el regadío y 9 millones se perdieron en el mar. Para la segunda se calculó un volumen de 11 millones perdidos en el océano.

De las demás crecidas no se tienen datos cuantitativos;sabiéndose tan solo que la avenida de 1967 alcanzó a llegar al mar durante 6 días, y las de 1968 y 1969 lo hicieron durante un día.

Las demás crecidas no llegaron al mar y a veces ni siquiera a la parte baja del valle, como es el caso de la avenidas ocurridas en 1960 y 1966.

Dada la importancia que tienen las crecidas del río San José en la recarga de los acuíferos, hemos estimado necesario realizar una cuantificación, en una primera aproximación, de los volúmenes escurridos anualmente en función del agua caída. Se tomó un coeficiente de escorrentía de 0.07 correspondiente al año 1961, el cual se obtuvo del volumen de agua que Kleiman y Torres estimaron para ese año. Los valores obtenidos son los siguientes:

Item Año	Pluviometría local MMS, año	Volúmenes Totales en millon. V. Caído	V. Escurrido (escorrentía=0.07)
1961	260	325	23
1962	50	64	5
1963	355	454	32
1964	45	57	4
1965	125	156	11
1966	60	70	5
1967	170	210	15
1968	175	217	15
1969	130	162	11
Promedio	137	172	12

4.2. Análisis de las Fluctuaciones de Nivel.

Para efectos de un estudio del agua subterránea, el Sector del Valle, comprendido entre Cabuza y la Costa puede dividirse en tres zonas, bien definidas y que corresponden a tres unidades hidrogeológicamente diferentes (ver plano Nº 2.

Estas son las siguientes:

- 1a. zona (Cabuza), comprendida entre el estrangulamiento de Cabuza y las Vertientes de Albarracines.

- 2da. zona(Azapa Grande); comprendida entre las Vertientes de Albarracines y las de Alto Ramírez.

- 3era. zona: comprendida entre las vertientes de A.Ramírez y el mar.A su vez ésto puede dividirse en cuatro sectores.

- 1er. sector (Pago de Gómez): comprendido entre las vertientes de Alto Ramírez y la curva topográfica de 90 mts. s.n.m.

- 2do. sector (Saucache): comprendido entre las curvas topográficas 90 y 50 mts.s.n.m.

- 3er. sector (Planicie Costera): comprendida entre la Punta de Chuño y la franja costera: (hasta la curva topográfica de 6 m.s.n.m.

- 4to. sector (Franja Costera): comprendida entre la costa y la curva de nivel topográfico de 6 m.s.n.m.

La variación de niveles de los pozos del Valle de Azapa se correlaciona con los principales acontecimientos hidráulicos producidos en el período que cubre el estudio.

Estos están representados por las crecidas del río San José y el escurrimiento del canal Lauca.

4.2.1. Primera Zona (Cabuza)

Los pozos de esta zona (1 al 25) muestran una clara y rápida respuesta a las avenidas del río San José como a las fluctuaciones del gasto del Canal Lauca (Fig. 7 al 13 inclusive).

Es particularmente interesante la recuperación de los niveles estáticos en esta zona, por efectos de la puesta en servicio del Canal Lauca a principios del año 1963. Por otra

parte, es notoria en esta zona la influencia de la gran crecida de principios de este año del río San José; que hizo llegar los niveles a valores máximos a partir de los cuales no se acusan mayores ascensos, a pesar que las recargas posteriores deberían mostrar su influencia en el registro de niveles.

Esto indica que esta recuperación culmina con los que parece ser la saturación de la capacidad de almacenamiento del material permeable en los alrededores de los pozos afectados por este proceso, lo que se produce en esta 1a. zona entre fines de 1963 y mediados de 1964.

Este proceso de saturación es particularmente notorio en los pozos de Cabuza situados en un área de recarga natural; [illegible] todo el pozo 1-H. Este último es un caso algo especial ya que, además de alcanzar la saturación a fines de 1962 (como consecuencia directa de la llegada de las aguas del canal Lauca), no ha variado sustancialmente su nivel estático; el que se ha mantenido después de 1965, año en que todos los otros pozos de esta área muestran una acusada declinación de la superficie freática.

Este comportamiento especial sugiere la posibilidad de que el pozo 1-H posea una fuente de recarga adicional, probablemente desde la formación liparítica. ("Hidrogeología del Departamento de Arica", 1966).

La superficie freática también acusa una rápida recuperación a partir de Abril de 1967, la cual duró hasta fines de 1968, fecha en que tiende a estabilizarse. Esto se debe a las crecidas del río San José correspondientes a los años 1967 y 1969, y también a la normalización del escurrimiento del canal Lauca desde 1967.

4.2.2. Segunda Zona (Azapa Grande)

Esta zona está separada de la primera por el cono de la Quebrada del Diablo; lo que produce una discontinuidad hidráulica en el

flujo de agua subterránea, reflejada por la existencia de las vertientes de Albarracines, que actúan como separación entre ambas zonas.

De esta manera, el comportamiento del segundo sector está supeditado a la acción reguladora del primero.

Los pozos representativos de la segunda zona (NO 3[illegible] a. 60) muestran una clara respuesta a las avenidas del río San José y al escurrimiento del Canal Lauca, aunque más amortiguados que las observadas en la 1a. zona. Esto se debe a que la acción reguladora de esta última restringe la recarga de agua que llega a la 2da. zona; la que además le impone un desfase de varios meses respecto a la ocurrencia de los acontecimientos hidráulicos.

Así, el proceso de saturación de los acuíferos se produjo en este sector, entre fines de 1964 y mediados de 1965, desplazado casi un año respecto al 1er. sector.

4.2.3. Tercera Zona.

En esta zona existen marcadas diferencias en el comportamiento hidráulico del agua subterránea. Puesto que no existen diferencias geológicas que expliquen esta situación, ésta debe atribuirse a las características de explotación del agua subterránea en los diferentes sectores de esta zona.

a) Primera Sección (Pago de Gómez)

Está representada por el pozo 68 (Fig. 17) y se nota en ella la influencia de las crecidas del río San José, pero más amortiguadas que en la 2da. zona; ya que sus efectos son regulados por el embalse de aguas arriba. A este efecto de amortiguamiento probablemente también contribuye el empeoramiento de la permeabilidad, que como se ha dicho disminuye hacia aguas abajo del Valle.

Por otra parte, la respuesta a las variaciones de caudal en el canal Lauca no se mani

fiesta sino hasta mediados de 1967, fecha desde la cual se nota un marcado ascenso del nivel estático que dura hasta la fecha. Esto viene a demostrar que las infiltraciones provenientes del canal Lauca pasaron a este sector sólo cuando los acuíferos de la 2da. zona estuvieron suficientememte saturados.

Además, es necesario considerar que el Lauca llega a este sector con un caudal exiguo, porque es casi totalmente aprovechada en la 1era y 2da. zonas por lo que el efecto de su infiltración debe ser pequeña desde Pago de Gómez hacia aguas abajo del valle.

b) Segunda Sección (Saucache)

Está representada por los pozos 106 y 85 [illegible] la influencia de las crecidas del río San José se muestra muy amortiguada y desfasada en alrededor de medio año respecto a su ocurrencia. En cuanto a la influencia del Lauca, es despreciable, ya que el nivel estático de los pozos muestra un descenso continuo que sólo termina en Abril de 1968, para empezar un lento ascenso que dura hasta la fecha.

c) Tercera Sección (Planicie Costera)

Esta zona esta representada por los pozos 113 y 117, (Fig. 20 y 21), los que no muestran respuestas a las variaciones del Canal Lauca o a las crecidas del río San José; ya que estos factores de recarga no han logrado detener la constante declinación del nivel estático que desde 1963 hasta 1969 sufrieron los pozos de esta área. La velocidad de declinación, bastante uniforme, es del orden de 2,8 m/año para el pozo 113, y de 1,6 mts/año para el pozo 117. Solo a partir de Abril de 1969 se ha notado una disminución en este ritmo de decrecimiento.

d) Cuarta Sección (Franja Costera)

Corresponde a la franja costera ubicada hasta 6 mts. sobre el nivel del mar, y está representada por los sondajes 118, 120 y 121

(Fig.22, 23 y 24). En ella no se aprecia hasta fines de 1969, ninguna influencia del río San José o del Canal Lauca; mostrando el nivel estático por el contrario, tendencia a bajar debido al bombeo intensivo que se efectúa en Pago de Gómez, Saucache y Planicie Costera. Sin embargo, en estos pozos no debe esperarse grandes declinaciones de niveles, ya que de producirse una inversión del gradiente hidráulico, esta sería compensada en la zona costanera por la intrusión de agua de agua de mar ("Hidrogeología del Departamento de Arica", 1966). De todas maneras, los pozos 118 y 121 muestran una tasa de declinación del N.E. de 0.36 y 0.16 m/año, respectivamente, que se mantiene en forma pareja desde 1964 hasta fines de 1968, fecha en que se muestra una estabilización en los niveles. El pozo 120 muestra en cambio tres zonas definidas en el hidrograma, con diferentes tasas de declinación: la primera desde la apertura del registro (1964) hasta mededidados de 1966, con una tasa de 0,50 m/año; la segunda desde Julio de 1966 hasta Noviembre de 1968, con una tasa de 1.0 m/año; y la tercera desde Noviembre de 1968 hasta la fecha (Septiembre) de 1969 que muestra una estabilización del nivel estático.

Es de hacer notar que en la actualidad los niveles estáticos de estos pozos costaneros están a escasos centímetros del nivel del mar. (0.50 m. en el caso del pozo 118; 0.65 en el pozo 120 y 1.0 m. en el caso del pozo 121).

4.3. Influencia General de los Factores de Recarga.

En general, mirado el valle en su conjunto, se nota una clara graduación de los efectos que a través de él producen los factores de recarga representados por el río San José y Canal Lauca. Esto se explica tanto por la disminución de magnitud de la onda de recarga a través del camino que recorre, como por los efectos reguladores y desfazadores en el tiempo de los diferentes embalses subterráneos existentes en el

valle. A continuación se presenta un cuadro sinóptico de la gradación de los efectos a los que se ha hecho referencia.

ZONA CONSIDERADA			INFLUEN. FACT. RECARGA	
Nº	Nombre	Carácter.	Rio S. José	Canal Lauca
1	Cabuza	1er. emb subterrà.	Apreciable	Apreciable
2	Azapa Grande	2do. emb. subterrà.	Apreciable	Amortiguada
3a	Pago Gómez	Sector hasta 90m.s.n.m.	Amortiguado	Fuertemente Amortiguado
3b	Saucache	Sect. entre 90 y 50 m.s.n.m.	Fuertemente Amortiguada y desfazada en el tiempo.	
3c	Planicie Costanera	Sect. entre 50 y 6 m.s.n.m.	NULA	
3d	Franja Costera	Bajo 10 m.s.n.m.	NULA	

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los antecedentes generales expuestos en este Informe, y del Análisis de Hidrogramas efectuados en el capítulo anterior, se desprenden algunas interesantes conclusiones que se discuten en los parrafos siguientes:

5.1. Aprovechamiento del Agua Superficial

En las condiciones actuales se puede decir que el agua superficial proveniente del Canal Lauca es utilizada convenientemente, usándose dos o tres veces.

Esto se debe a que es captada inicialmente en zonas ubicadas aguas arriba de las vertientes, de manera que el retorno de riego correspondiente es obligado a aflorar en ellas, y es utilizada nuevamente hacias aguas abajo de la zona de vertientes.

En cuanto al aprovechamiento de las creces del río San José, se puede diferenciar dos casos:

a) En creces normales, sus aguas son aprovechadas integralmente por los agricultores del Valle mediante diversos métodos que permiten el riego por inundación.

b) Las grandes avenidas, se producen con una frecuencia de 3 a 5 años y no pueden ser totalmente aprovechadas para la agricultura por ser insuficientes los métodos de recarga artificial actualmente en uso. Esto representa un volumen total perdido en el mar del orden de 10 a 20 millones de m3; los cuales, si pudieran ser integralmente utilizados, equivaldrían a una recarga permanente del orden de 70 a 200 lts/seg. Estas cifras dan una idea de la importancia de estudiar y llevar a cabo un Proyecto de Recarga Artificial del Valle de Azapa en base al aprovechamiento de las grandes crecidas.

En principio se puede decir que existen cuatro zonas en las cuales es factible cons -

truir obras para aprovechar las avenidas: aguas arriba de Cabuza, aguas arriba de las vertientes de Las Riberas, aguas arriba de las vertientes de Alto Ramírez, y en Saucache.

Sin embargo, dada la frecuencia de las grandes crecidas, no se justificaría la construcción de grandes embalses para aprovecharlas; por lo que este aprovechamiento debe buscarse a través de otros medios.

Como medida práctica, sería interesante la colocación de registradores adecuados en la entrada y salida del Valle, con el objeto de aforar las creces del río San José y estimar así con mayor precisión la recarga neta que causan estás avenidas en los embalses subterráneos del valle.

5.2. Explotación del Agua Subterránea.

El agua subterránea del Valle se explota por medio de las vertientes naturales, y por sondajes y pozos construídos para este efecto.

El Balance Hidráulico del agua subterránea del valle muestra una descarga total del orden de 870 a 980 lts/seg., y una recarga de 460 a 760 lts/seg.; lo que significa un déficit aproximado de 200 a 400 lts/seg que está siendo extraído del agua de almacenamiento del embalse subterráneo.

Tanto los valores de descarga del agua subterránea mediante pozos, como la de superficie cultivada son aproximados y por tanto sería necesario hacer un catastro de estos valores.

Por otra parte, los pozos se explotan sin considerar las características hidrogeológicas de los diversos sectores, como sucede por ejemplo en el sector bajo del Valle (Saucache y Planicie Costanera); en el cual se extrae actualmente gran parte del total de agua explotada en el valle y del agua que abastece a la ciudad de Arica.

La existencia de pozos de explotación en zonas de características hidrogeológicas a menudo poco favorables, y su concentración en áreas de bombeo intensivo, ha producido descensos desuniformes del nivel freático en la parte baja del valle, por exceder la explotación de la recarga natural.

Con el objeto de aliviar la descarga a que se está sometiendo el Valle de Azapa en este último sector, el abastecimiento del agua potable de Arica deberá efectuarse por medio de la explotación del agua subterránea en la región de la Concordia. Este Proyecto fue estudiado por CORFO, llegándose a la conclusión de que en esta área es posible extraer del orden de 150 lts/seg.; proyecto que debe ejecutar la Dirección de Obras Sanitarias.

Otra medida que contribuiría positivamente a solucionar en parte el problema de agua de Arica, sería la construcción de una planta de aguas servidas; que permitiría usar en regádío un significativo caudal de agua que en la actualidad se pierde en el mar.

Sin embargo, parece ser que la medida más efectiva y económica para salucionar el problema de agua para Arica, es el aumento en la dotación de agua del Canal Lauca; lo que sería posible una vez que ENDESA terminara algunos trabajos previos para aumentar las reservas de agua de la laguna Cotacotani (que alimenta el río Lauca). Karzulović y González (1961) estiman que con obras relativamente sencillas, se podrían aumentar la dotación del Canal Lauca hasta en unos 500 lts/seg adicionales.

5.3. Intrusión Salina.

La crítica depresión del nivel freático observada en la zona baja del Valle de Azapa ha llegado a valores tales que posibilitan el avance del agua de mar hacia valle adentro.

Para visualizar mejor este hecho y ver su transcendencia, se ha confeccionado la Fig.3,

que muestra la declinación de la superficie freática en el sector crítico del Valle de Azapa.

En la table siguiente se indica el tiempo necesario para que el nivel estático de los pozos de la Planicie Costanera y de la Franja Costera coincidan con el nivel del mar. (tiempo crítico).

POZO Nº	Cota pto. de medida m.s.n.m.	Cota N.E. (Ref.pto. medida)	en Jul.69 (Ref.niv. mar)	Vel.decl. N.E.mt/año hasta 68	Tiempo crí
113	49.23	42.8	6.4	2.1	2.[illegible]
117	23.21	22.6	0.6	1.6	0.[illegible]
118	5.09	4.6	0.5	0.36	0.[illegible]
120	5.94	5.3	0.6	1.00	0.6
121	3.62	2.6	1.0	0.16	6.3

En estas condiciones se ve que a los pozos situados en el radio urbano de la ciudad de Arica ([illegible] costera [illegible] pozo [illegible] interior [illegible] corresponde un tiempo crítico comprendido entre 3 meses (pozo 117) que es el más afectado relativamente por el bombeo del valle (tiene la velocidad de declinación del N.E. más alta del valle: 2.8 m/año, le corresponde un tiempo crítico de 2.3 año. En los otros pozos este tiempo crítico es mayor, ya sea por la alta cota del nivel estático (caso de los pozos de Saucache y Pago de Gómez) o bien, por la baja velocidad de declinación (pozo costero 121 [illegible] de la ciudad de Arica).

Los pozos que se ven más afectado son el costero 120 (medio año) y el Nº 117 situado a escasos 1.4 Kms de la costa y con un precario tiempo crítico de 4 meses.

Si se llegara a romper la situación de equilibrio del nivel estático (que se nota sólo desde hace 4 meses), y se recuperara el ritmo de declinación, esto implicaría el avance del agua salada hacia aguas arriba del valle en cuestión de meses.

Esta contaminación de agua salada imposibilitaría el uso de los sondajes y norias que se encuentran dentro de la zona; lo que redundaría en un enorme perjuicio para toda la población.

Es por esto que se hace necesario crear en la opinión pública de Arica el conocimiento de este peligro potencial, de manera que las autoridades correspondiente tomen las medidas del caso para fomentar un adecuado uso del agua potable.

- - - - - - o o o o o o - - - - - -

Con las conclusiones anteriores y las recomendaciones de ella se desprenden, se pretende haber dado una respuesta adecuada a los obgetivos planteados inicialmente y que dieron orígen a la presente investigación.

A N E X O

TABLA Nº 1

CARACTERISTICAS DE LOS POZOS DE OBSERVACION DE NIVEL ESTATICO EN VALLE DE AZAPA

DENOMINACION		POZO			HABILITACION		COTA PTO. MEDIDA			
Nº	Construct.	Nº Const.	Ubicación (o nombre)	DUEÑO	Ø	Prof.	Ref. N. terreno	Ref. N. del mar	CARACTERISTICAS	Distancias Acumuladas
1-M	D. Riego	6	Cabuza	D. Riego	8"		0,38	436.82		25.75
1-B	D. Riego	2	Cabuza	D. Riego	12"	137	0,10	436.99		25.70
3	-	-	El Chugal	Lupo Saluarta			0	373.00	NORIA	22.44
8	-	-	Las Riberas	Isidoro Andia	12"		0	325,31		19.92
15	-	-	Las Riberas	D. Riego			0	292.45		17.98
17	-	-	Las Riberas	Augusto Salinas			0	295.00	NORIA	17.76
25	CORFO	372	Albarracines	Juan Matus	20" - 10"	80	0.15	262.41		16.58
30	D. Riego	-	Albarracines	CORA	10"	48	1	250		15.68
104	CORFO	378	Fdo. Las Violetas	CORFO	10" - 8"	165	0.18	183.49		11.58
60	-	-	Alto Ramírez	Chadid Hassad			0.07	154.65		9.94
68	CORFO	389	Fdo. San Elías	Elías Bunader	10"	54	0	133.77		8.40
106	CORFO	452	Azapa (observ.)	CORFO	6"	40	0.52	101.41	P. de Observación	6.56
85	D. Riego	-	Hacienda Buena Vista	Rafael Defilipies	12"	38.6	0.16	98.97		6.30
113	CORFO	434	Saucecha (#3)	CORFO	8"	69,3	0.16	49.23	P. de Observación	3.28
117	CORFO	476	Cementerio	CORFO	8"	29,5	0.20	23.21	"	1.34
118	CORFO	471	Casino	CORFO	8"	28	0.13	5.09	"	0.30
120	CORFO	475	U. de Chile	CORFO	8" y 6"	30	0.94	5.94	"	-
121	CORFO	472	Chincharro (#2)	CORFO	8" y 6"	30	1.05	3.62	"	-

TABLA Nº 2

REGISTRO DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS EN LAS CUENCAS DEL VALLE DE AZAPA Y DEL RIO LAUCA

Cuenca	Nº	Nombre	Tipo	Propietario	Longitud	Latitud	Altura (s.n.m.)
Río San José	1	Arica	M	Of. M.	70º 20'	18º 28'	5
	2	Azapa	M	E.	70º 11'	18º 30'	-
	3	B.T. Acueducto	M	D.R. y E.	69º 56'	18º 35'	-
	4	Ausipar	H	D.R	69º 53'	18º 35'	-
	5	Livilcar	H	D.R.	69º 43'	18º 30'	1900
	6	Murmurtane	M	E	69º 34'	18º 22'	3280
	7	Selén	M	Of. M.	69º 32'	18º 28'	3240
Río Lauca	8	Chapiquiña	M	E	69º31'	18º 20'	4384
	9	Chapiquiña	M	D.R.	69º 26'	18º 17'	4560
	10	Estancia El Lago	HM	E y R	69º 22'	18º 15'	4400
	11	Perinacota	M	D.R.	69º 17'	18º 11'	4393
	12	Canal Lauca	H	E	69º 18'	18º 13'	4384
	13	Chucuya	M	E	69º 17'	18º 30'	4200
	14	Japu (frontera)	H	D.R.	69º 01'	18º 36'	-

OBSERVACIONES .-

a) Las estaciones se encuentran ubicadas en la Fig. Nº 1

b) Las abreviaciones "M" y "H" utilizadas en la columna "Tipo de Estación", significan "Meteorológica" e "Hidrológica", respectivamente.

c) Las siglas utilizadas en la columna "Propietario" corresponden a las siguientes entidades.

Of. M. : Oficina Meteorológica de Chile

E. : Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA)

D.R. : Dirección de Riego del M.O.P.

T A B L A Nº 3

ANALISIS QUIMICO DEL AGUA SUBTERRANEA DEL VALLE DE AZAPA

POZO	CATIONES				ANIONES							DUREZA		SOLIDOS ppm		Conductividad	pH a 20ºC
	Ca	Mg	Na	K	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3	B	SiO_2	Total	No Carb.	Disuel.	Totales		
1-B	88	9,4	40	2,5	3,4	134	80	166	-	1,3	300	259	144	535	776	860	8,1
30	64	2,6	87	13	-	194	124	16	-	0,5	45	170	11	467	527	860	7,4
104	19	1,4	50	6	-	56	80	25	-	0,4	18	54	8,2	257	282	473	7,5
60	164	13	70	5	-	234	97	290	-	1,3	372	461	269	937	976	1150	8,0
106	107	11,7	187	12	-	261	168	229	-	1,0	181	315	102	888	999	1200	8,1
113	50	5,0	83	6	-	95	151	43	-	0,8	96	147	69	439	532	700	6,7
117	127	15	207	9	-	36	346	51	19	0,0	319	378	349	888	1268	1200	6,8
118	319	15	200	13	-	196	310	629	33	2,3	492	859	696	1835	2611	2280	8,0
120	318	35	87	18	-	25	576	320	-	0,9	275	937	916	2045	2237	2350	6,7
121	347	37	1000	36	-	152	1516	359	449	0,9	193	1017	892	3854	4921	4500	7,0

NOTA : Los valores están expresados en mgr/lts o p.p.m.

Fecha de muestreo : Septiembre de 1969.-

T A B L A N º 4

VARIACION DEL NIVEL ESTATICO EN PERFIL E - W DEL VALLE DE AZAPA

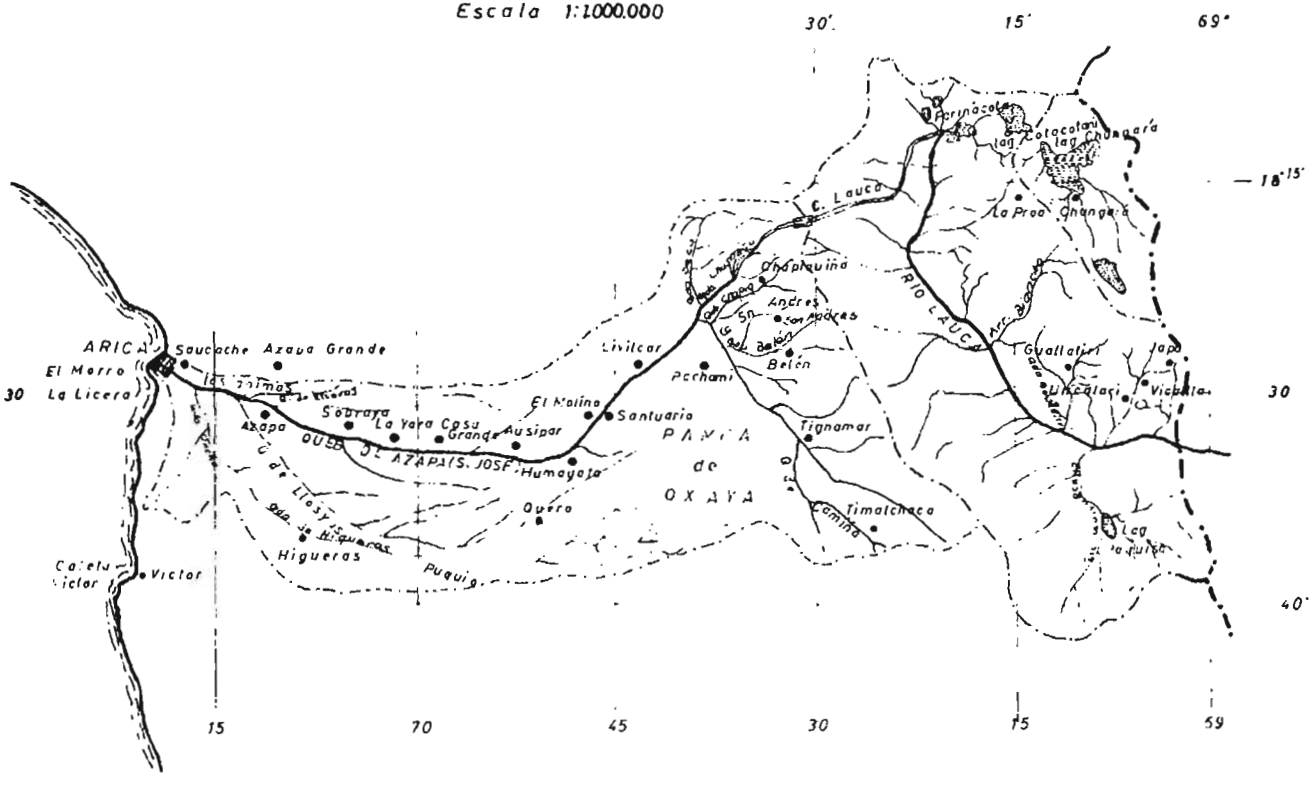
Pozo	Cota P.M. (mts.s.n.m.)	1963	1964		1965	1966	1967	1968		1969	
		Octubre	Marzo	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Marzo	Octubre	Marzo	Octubre
1-H	436.82	35.6	36.6	34.7	34.7	34.8	35.3	-	-	-	-
1-B	436.99	30,9	30.9	30.9	31.4	22.3	32.1	31.8	31.1	29.8	30,1
3	(373)	22.3	23.4	24.1	(26.4)	29.6	27.7	26.5	23.4	-	-
8	325,31	15.0	15.7	16.7	18.7	21.0	(20.6)	(20.6)	-	-	-
15	292.45	2.4	2.4	3.0	(5.3)	(7.6)	7.6	5.5	2.2	2.8	3.5
17	(295)	(9.2)	(8.9)	10.0	9.8	(12.2)	(12.1)	11.6	8.2	8.4	8.2
25	264.41	19.3	19.1	19.3	19.3	19.8	19.6	21.5	19.0	18.6	19.0
30	(250)	20.2	19.2	16.1	19.4	21.1	21.2	18.7	18.0	17.0	16.4
104	183.49	17.4	16.7	14.3	13.8	15.2	16.1	15.4	11.2	11.3	9.3
60	154.65	26.8	27.1	24.6	22.5	24.7	28.9	25.9	19.6	-	18.3
68	133.77	33.0	33.8	33.7	31.3	32.7	33.4	33.2	30.6	28.9	25.7
106	101.41	33.1	34.2	35.3	35.1	36.1	36.4	(37.1)	36.8	36.1	35.7
85	98.97	(18.6)	(19,6)	20.5	20.8	-	-	-	-	-	-
113	49.23	30.1	31.2	34.5	35.0	38.4	40.5	41.4	42.6	43.0	43.4
117	23.21	-	(14.7)	15.2	16.1	(17.6)	19.3	20.8	21.0	22.4	22.7
118	5.09	-	3.0	3.2	3.5	3.7	4.5	4.5	(4.7)	4.6	4.6
120	5.94	-	1.9	1.9	2.6	(3.2)	4.3	(4.5)	5.2	5.3	5.4
121	3.62	-	1.7	1.9	1.8	(1.9)	2.1	2.1	2.3	2.5	2.7

NOTA : Los valores de la cota del punto de medida encerrados entre paréntesis son aproximados.

Los valores de Niveles Estáticos encerrados entre paréntesis son aproximados, interpolados de los Hidrogramas correspon - dientes.

Plano Nº 1.- HOYAS HIDROGRAFICAS DE LOS RIOS SAN JOSE Y LAUCA

Escala 1:1000.000



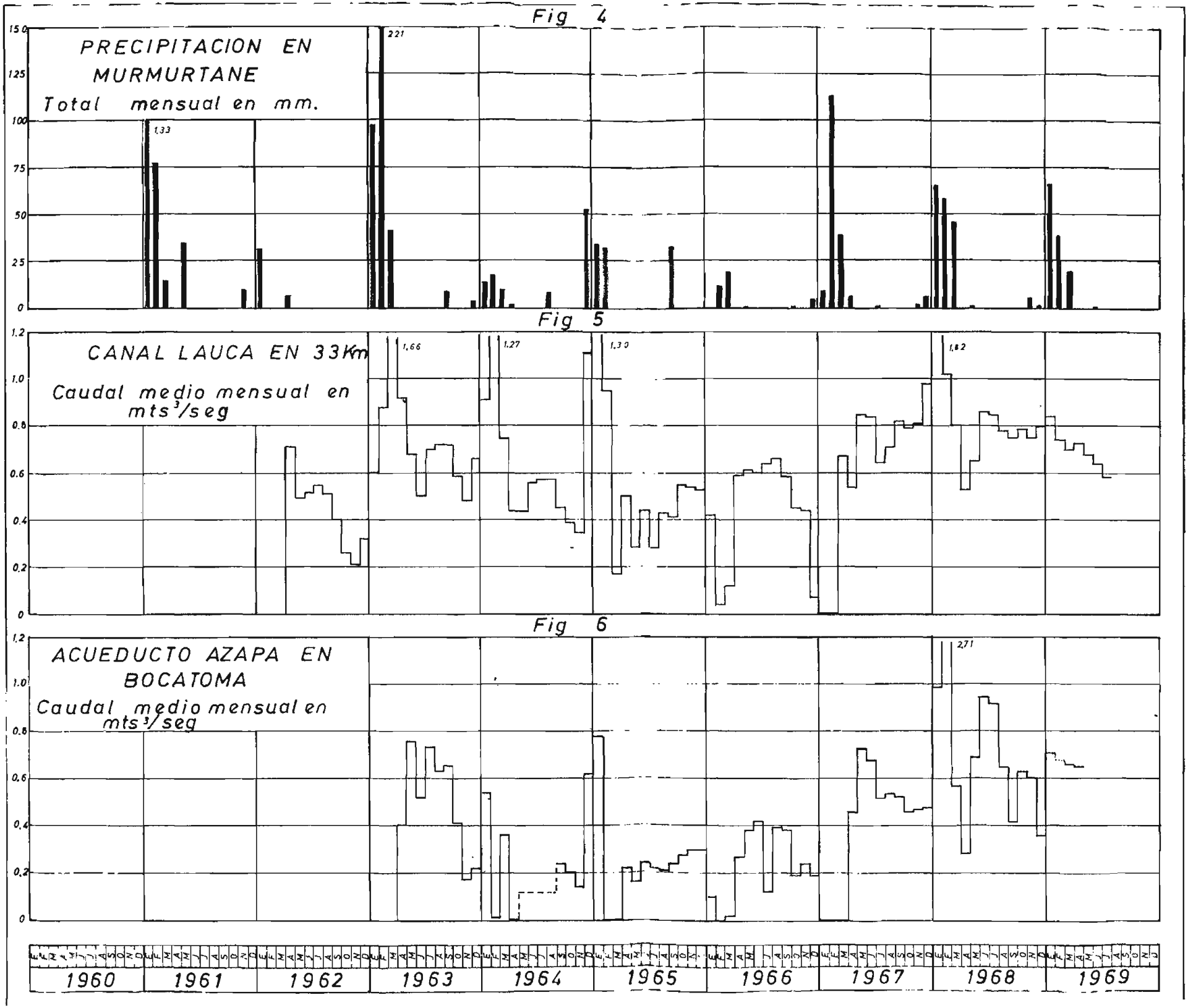


Fig 4
PRECIPITACION EN MURMURTANE
Total mensual en mm.
1,33
2,21
Fig 5
CANAL LAUCA EN 33Km
Caudal medio mensual en mts³/seg
1,66
1,27
1,39
1,82
Fig 6
ACUEDUCTO AZAPA EN BOCATOMA
Caudal medio mensual en mts³/seg
2,71
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969

Fig 22

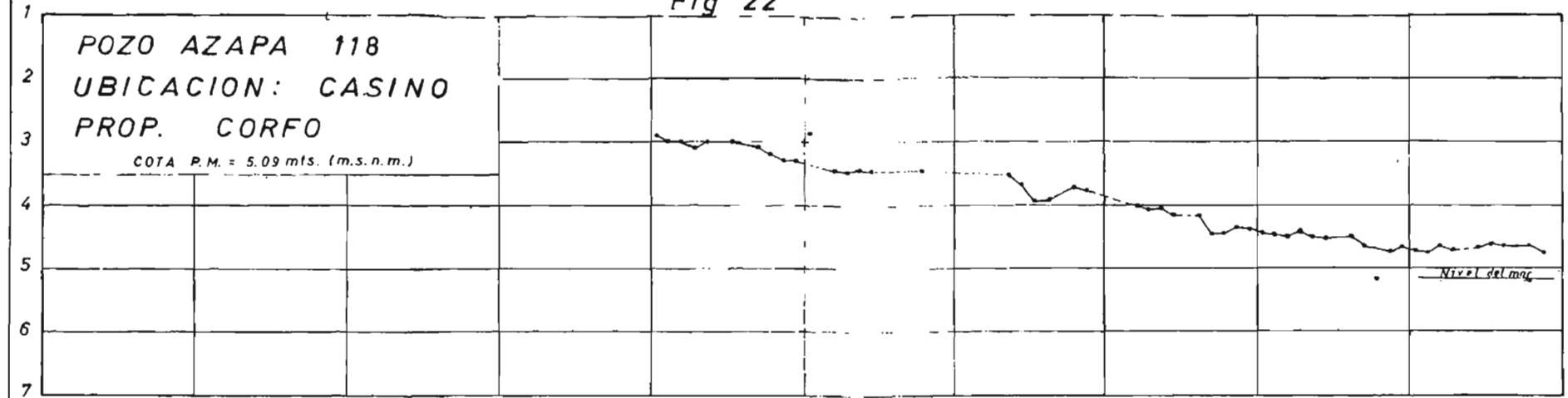


Fig. 23

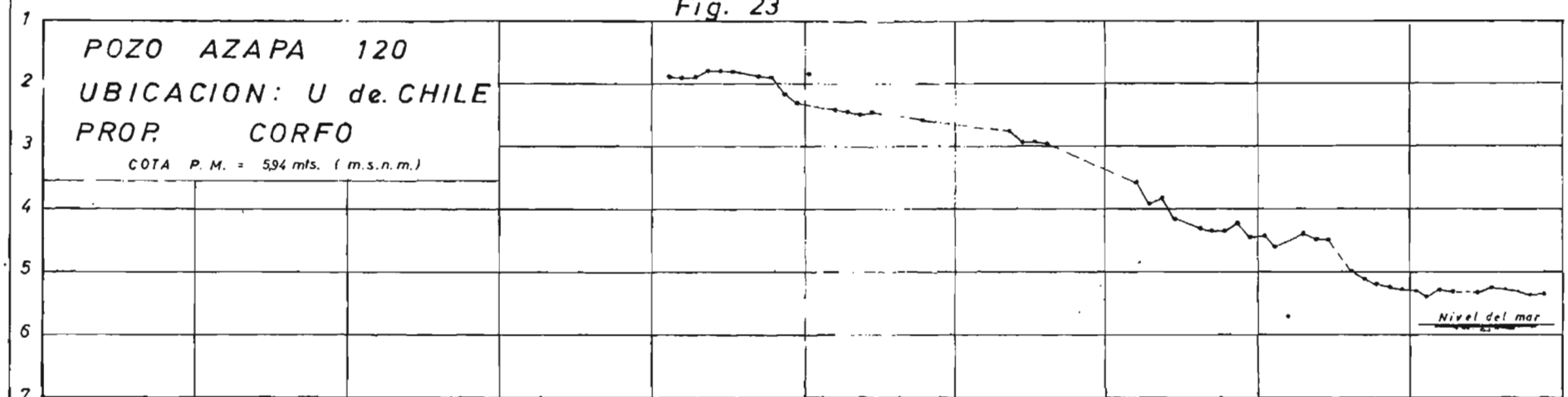
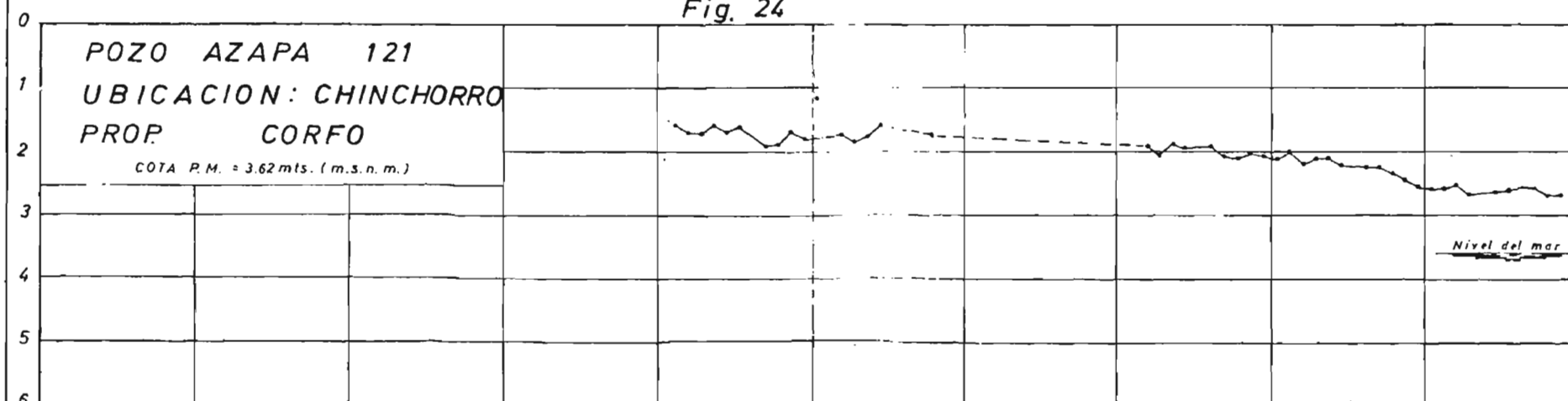


Fig. 24



1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969

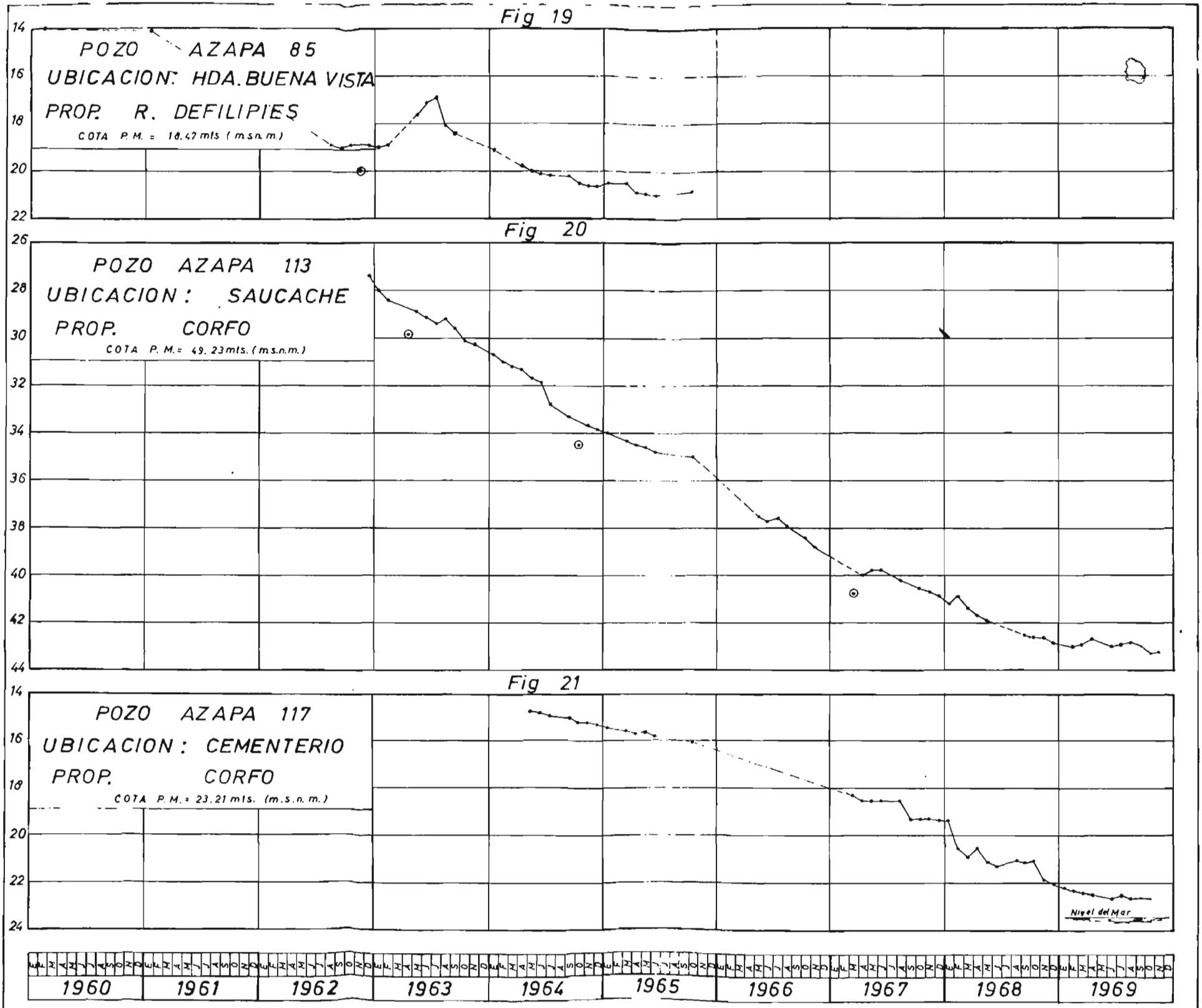


Fig 19
POZO AZAPA 85
UBICACION: HDA. BUENA VISTA
PROP. R. DEFILIPIES
COTA P.M. = 18.47 mts (m.s.n.m.)
14
16
18
20
22
Fig 20
POZO AZAPA 113
UBICACION: SAUCACHE
PROP. CORFO
COTA P.M. = 49.23 mts. (m.s.n.m.)
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
Fig 21
POZO AZAPA 117
UBICACION: CEMENTERIO
PROP. CORFO
COTA P.M. = 23.21 mts. (m.s.n.m.)
14
16
18
20
22
24
Nivel del Mar
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969

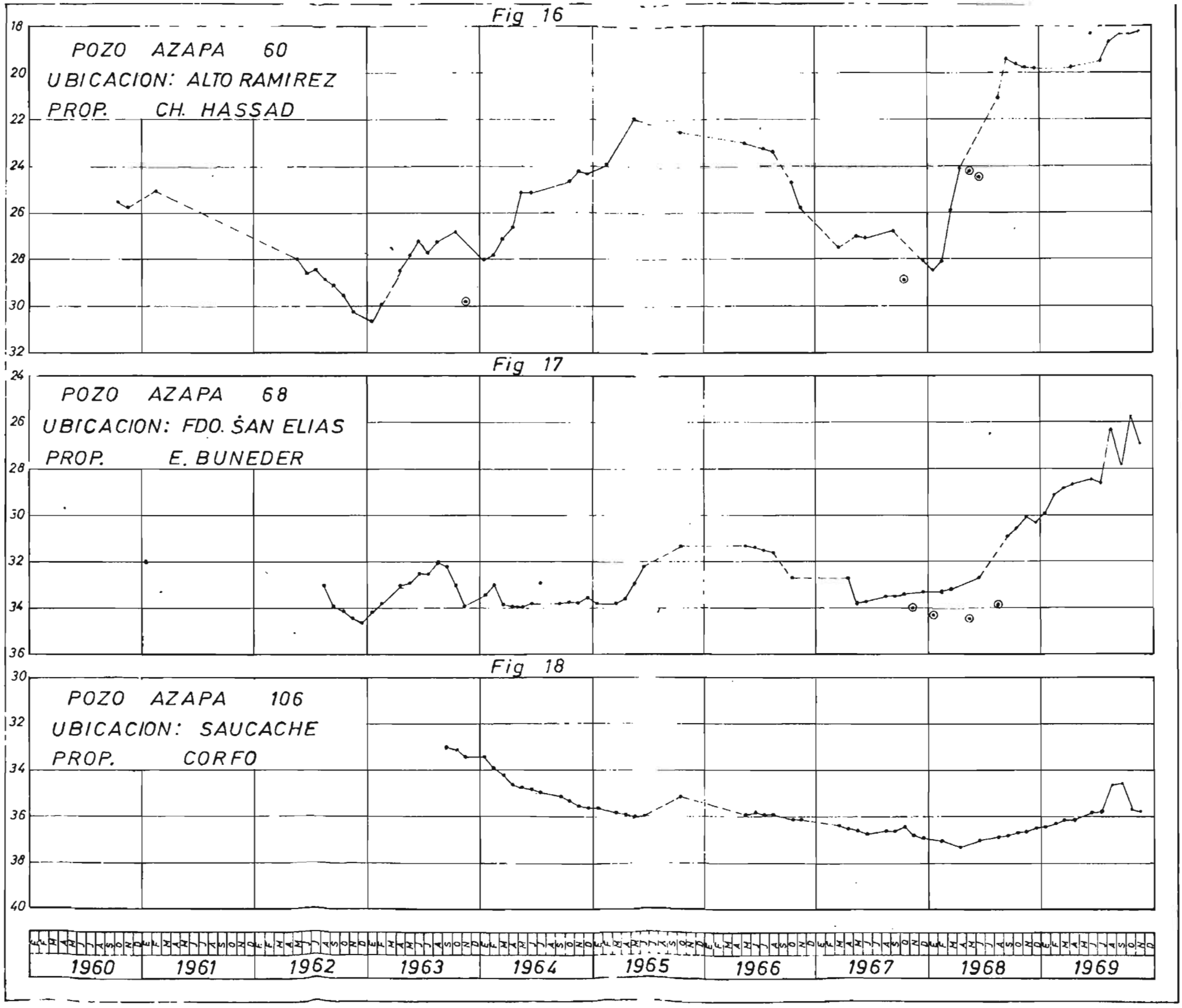


Fig 16
POZO AZAPA 60
UBICACION: ALTO RAMIREZ
PROP. CH. HASSAD
18
20
22
24
26
28
30
32
Fig 17
POZO AZAPA 68
UBICACION: FDO. SAN ELIAS
PROP. E. BUNEDER
24
26
28
30
32
34
36
Fig 18
POZO AZAPA 106
UBICACION: SAUCACHE
PROP. CORFO
30
32
34
36
38
40
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969

Fig. 13

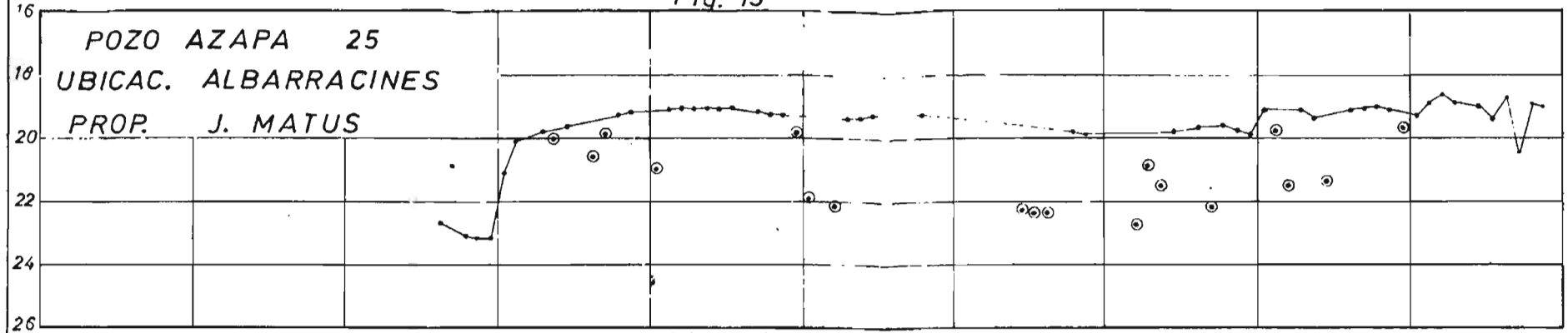


Fig. 14

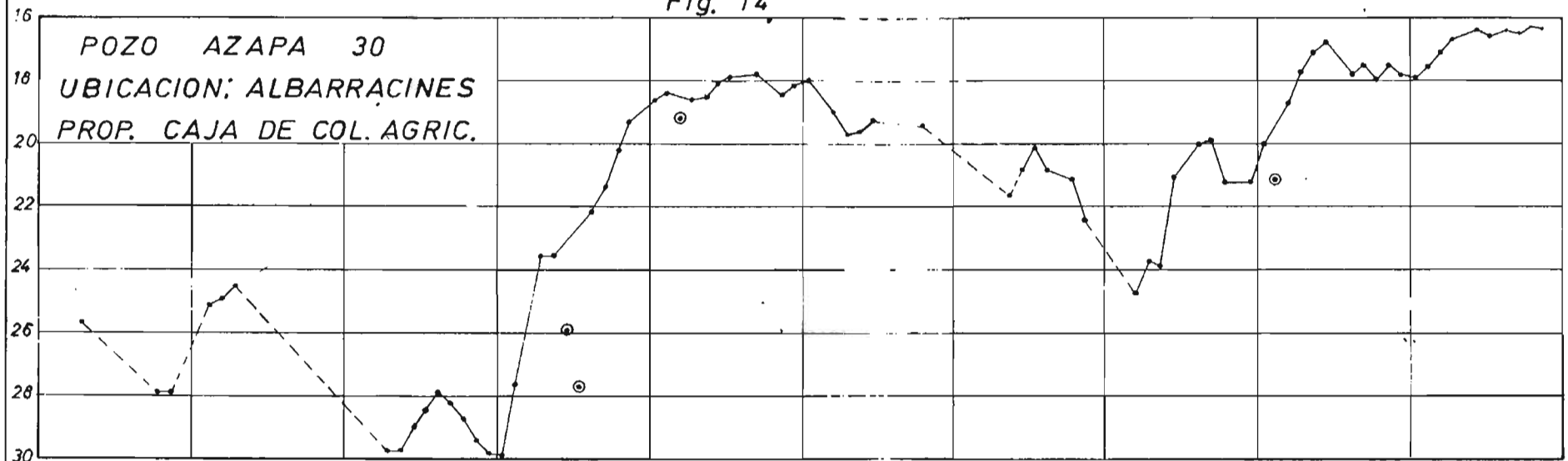
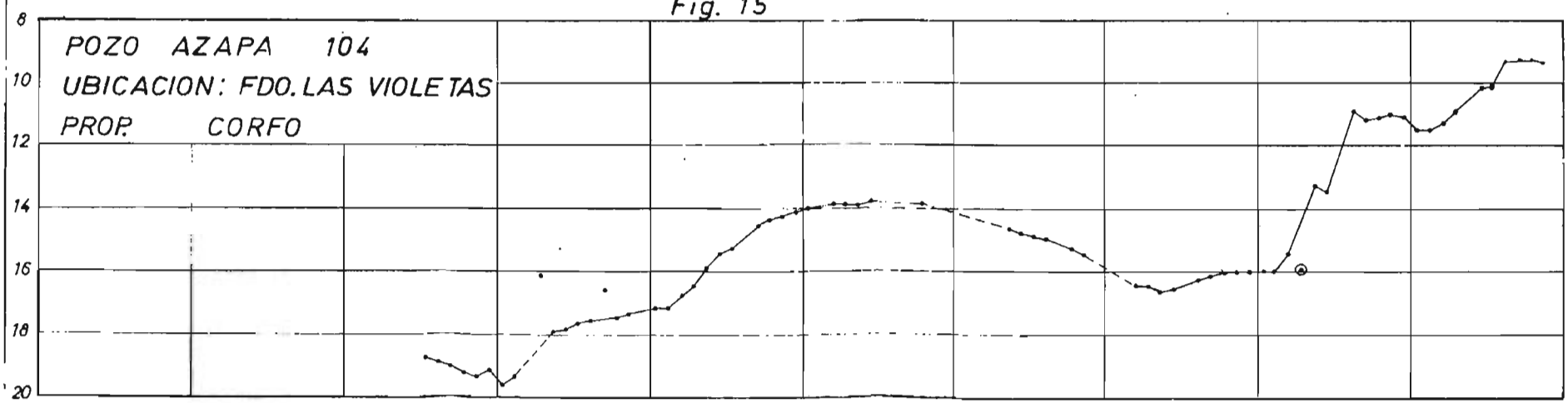
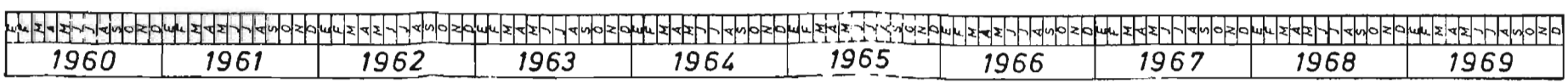


Fig. 15





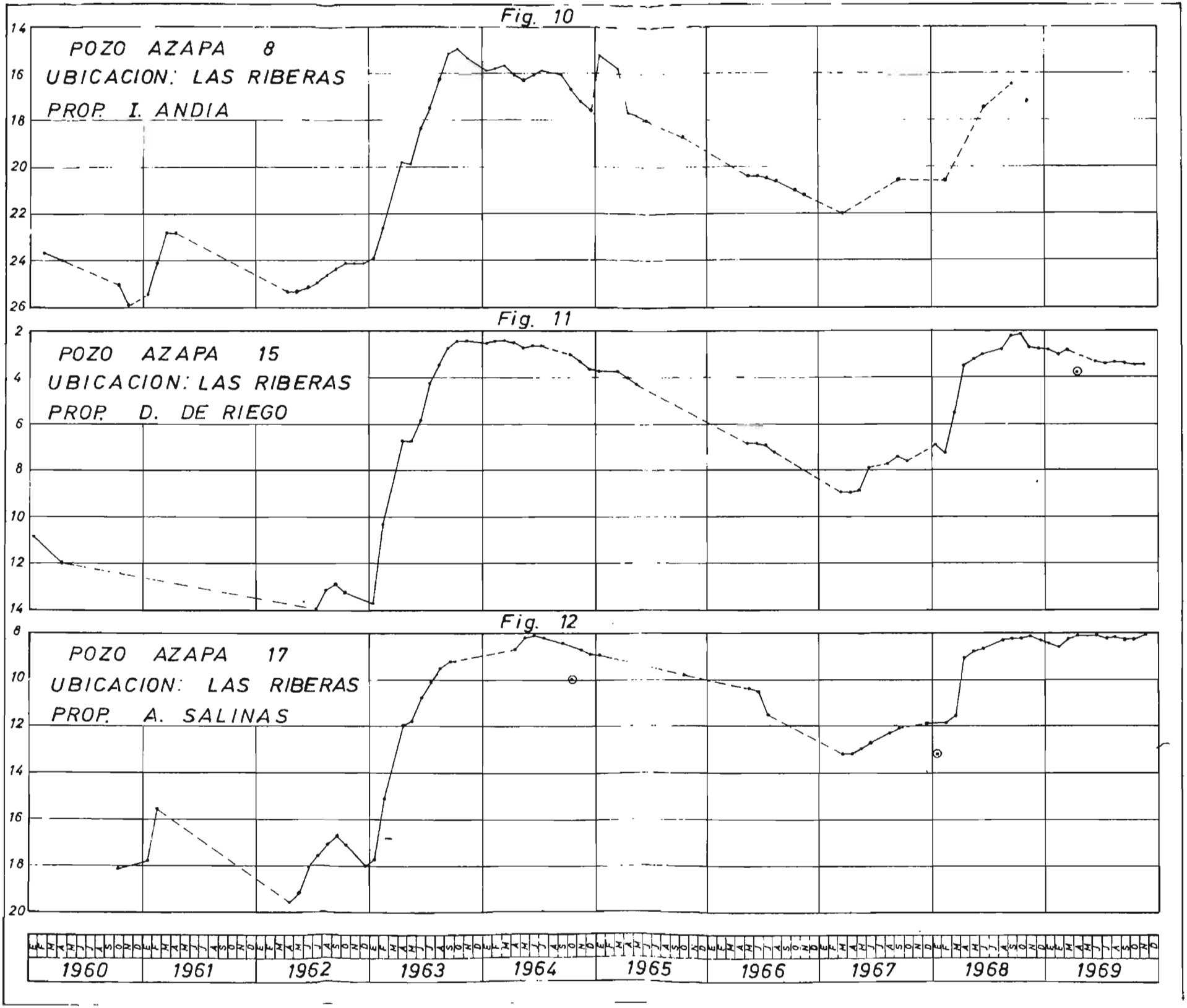


Fig. 10
POZO AZAPA 8
UBICACION: LAS RIBERAS
PROP. I. ANDIA
14
16
18
20
22
24
26
Fig. 11
POZO AZAPA 15
UBICACION: LAS RIBERAS
PROP. D. DE RIEGO
2
4
6
8
10
12
14
Fig. 12
POZO AZAPA 17
UBICACION: LAS RIBERAS
PROP. A. SALINAS
8
10
12
14
16
18
20
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969

Fig 7

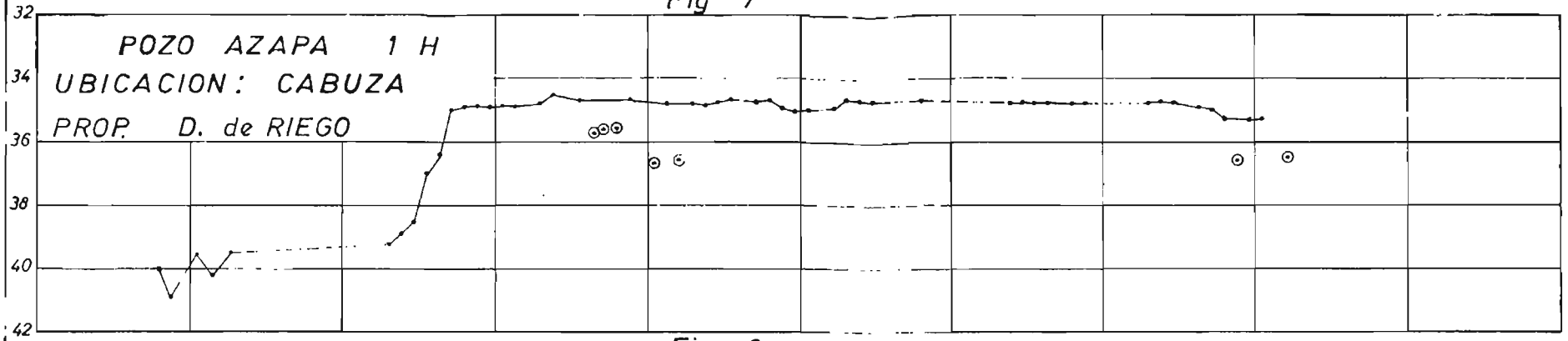


Fig 8

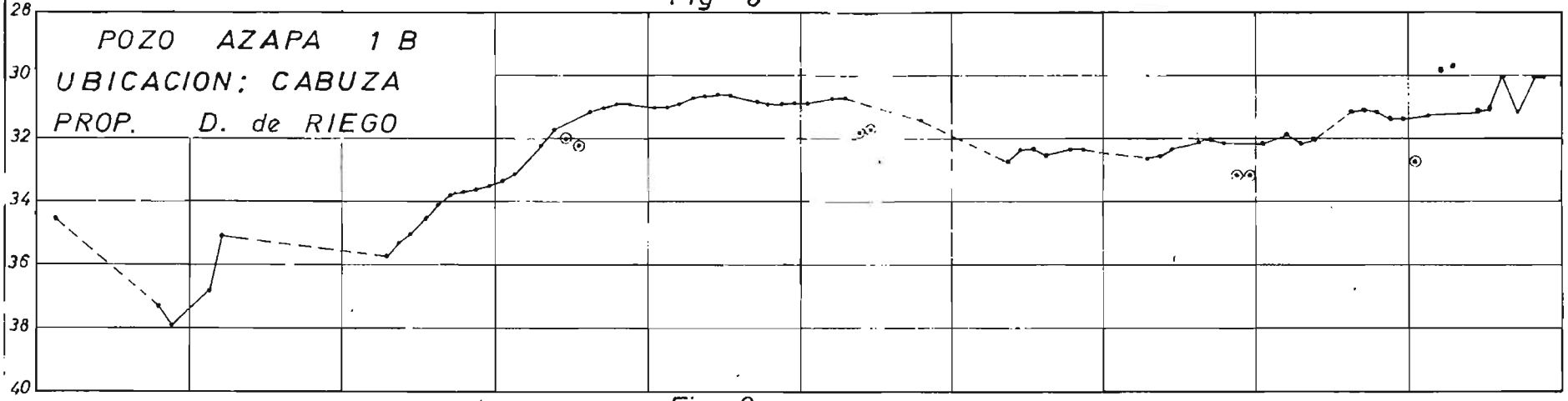


Fig 9

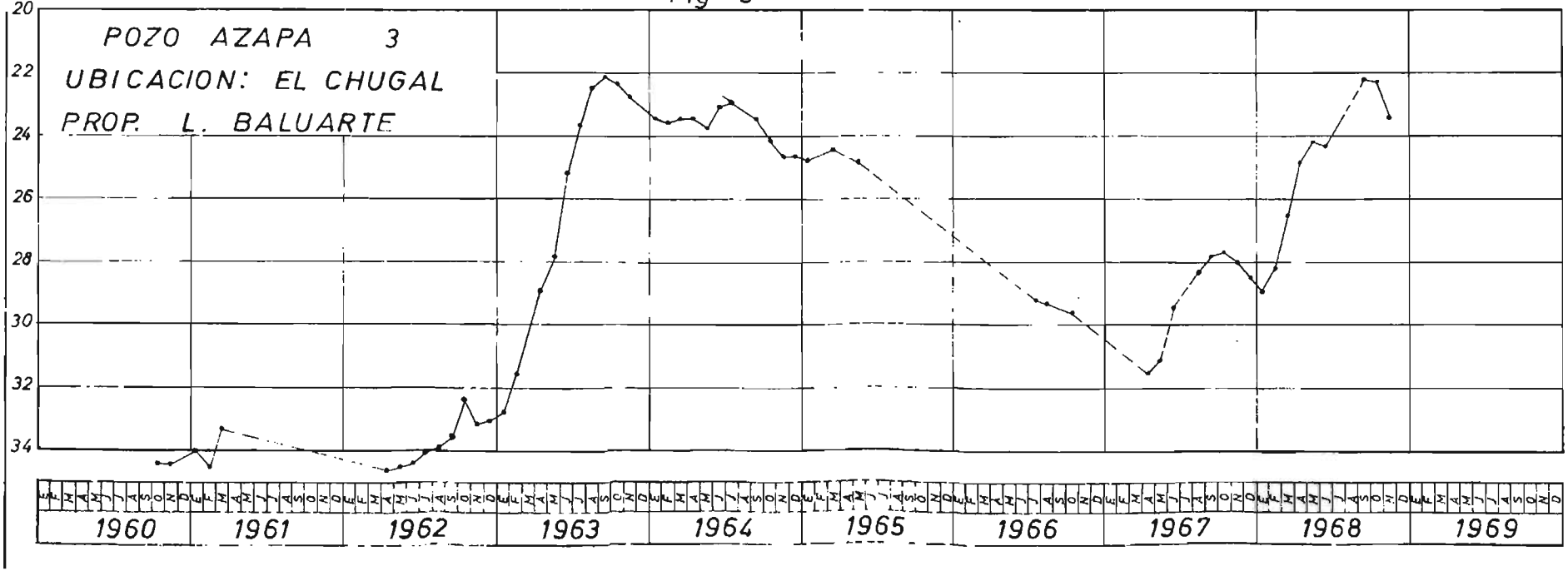
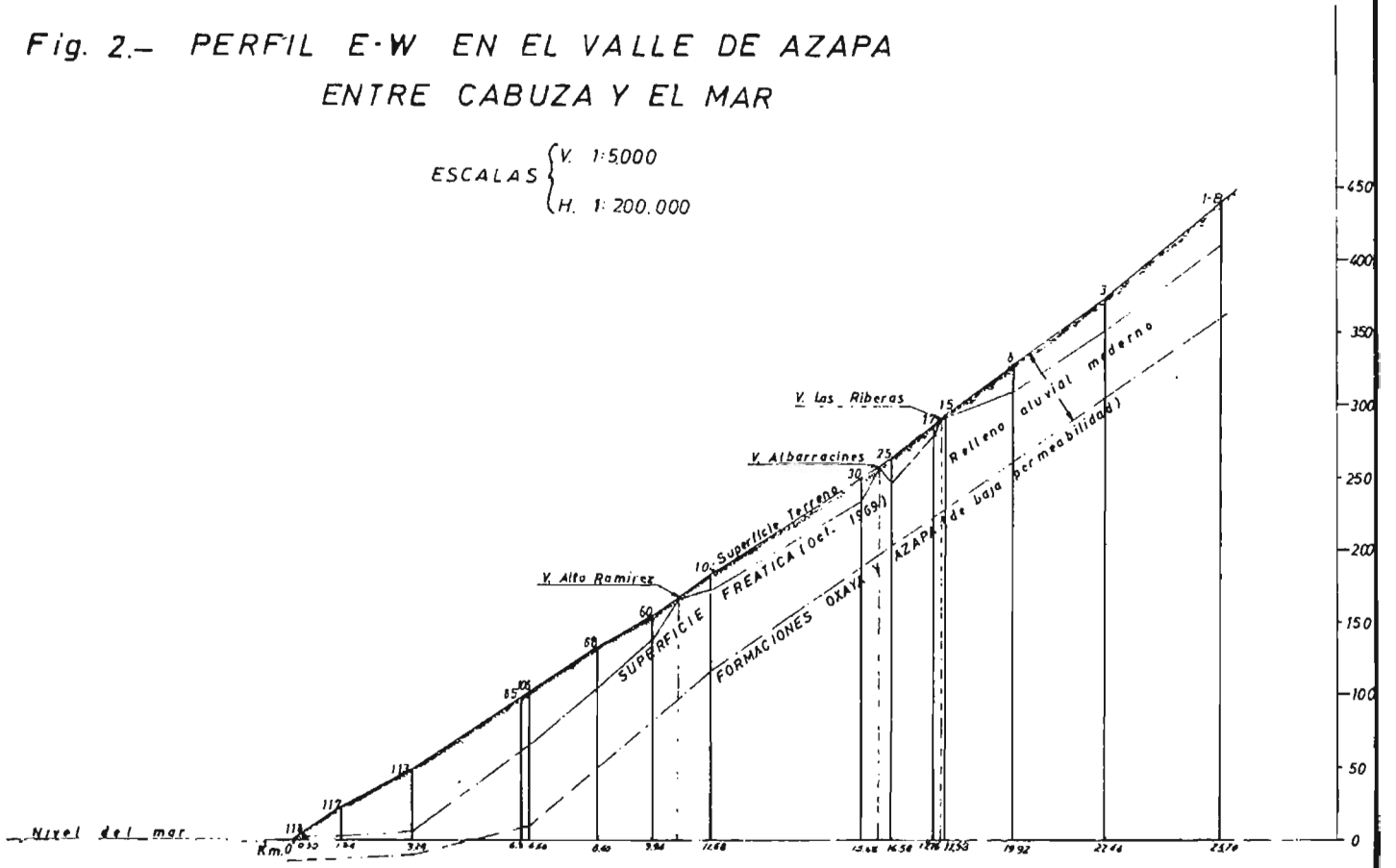


Fig. 2.– PERFIL E-W EN EL VALLE DE AZAPA
ENTRE CABUZA Y EL MAR



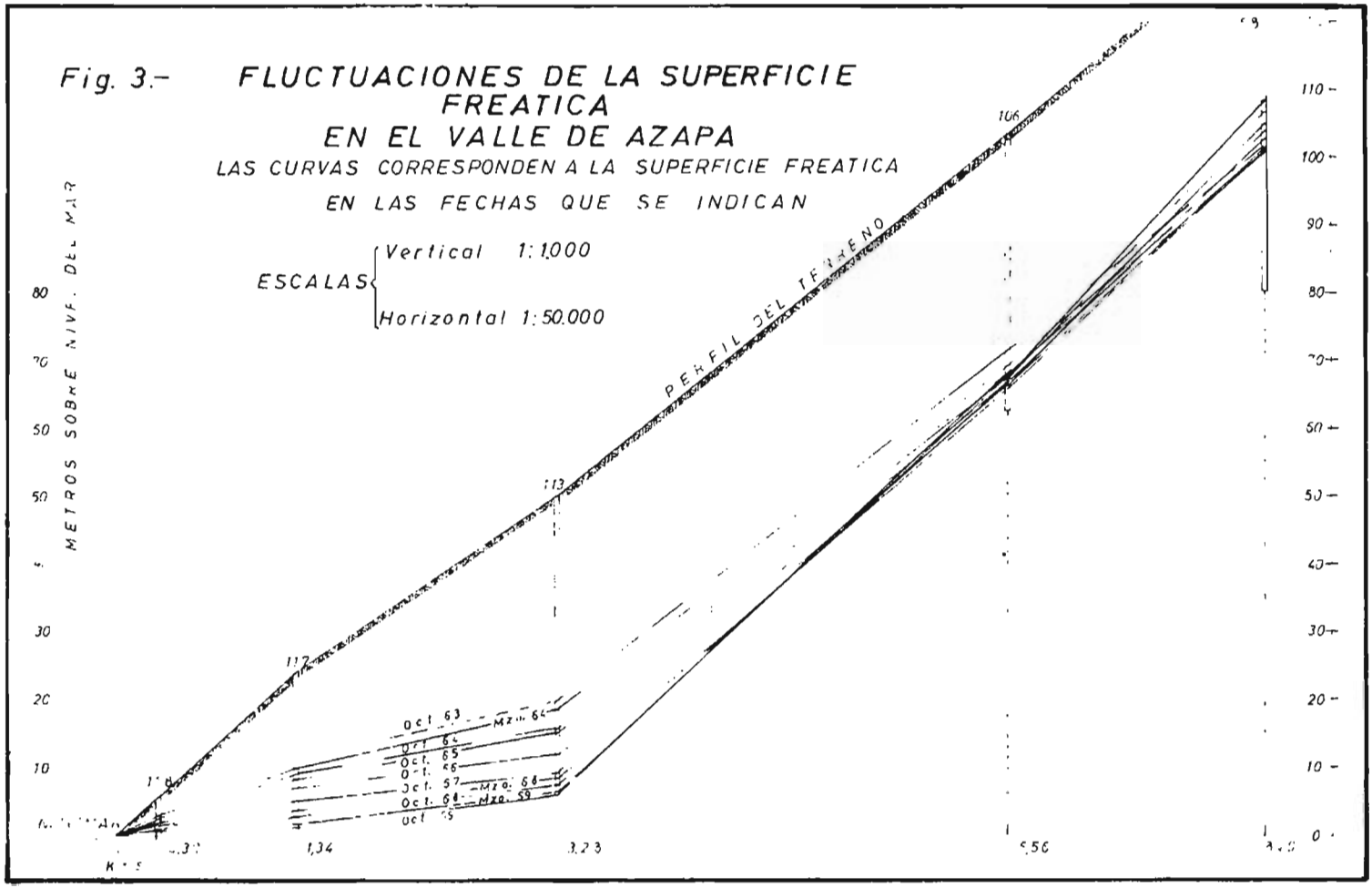


Fig. 3.- FLUCTUACIONES DE LA SUPERFICIE FREATICA
EN EL VALLE DE AZAPA
LAS CURVAS CORRESPONDEN A LA SUPERFICIE FREATICA
EN LAS FECHAS QUE SE INDICAN
ESCALAS
Vertical 1:1.000
Horizontal 1:50.000
METROS SOBRE NIVEL DEL MAR
PERFIL DEL TERRENO
Oct. 63
Mzo. 64
Oct. 64
Oct. 65
Oct. 66
Oct. 67
Mzo. 68
Oct. 68
Mzo. 69
Oct. 69
1,34
3,23
5,56
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

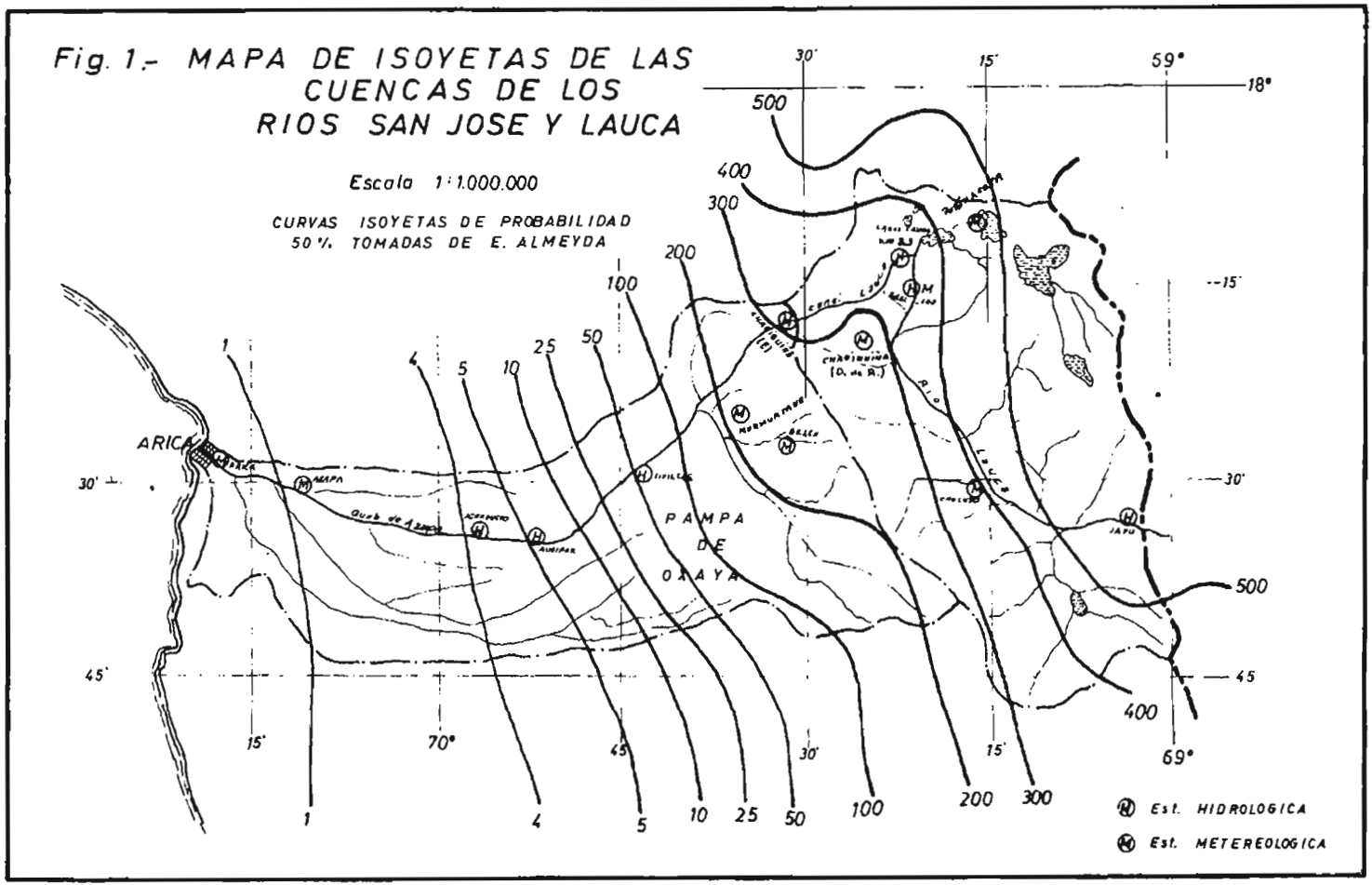
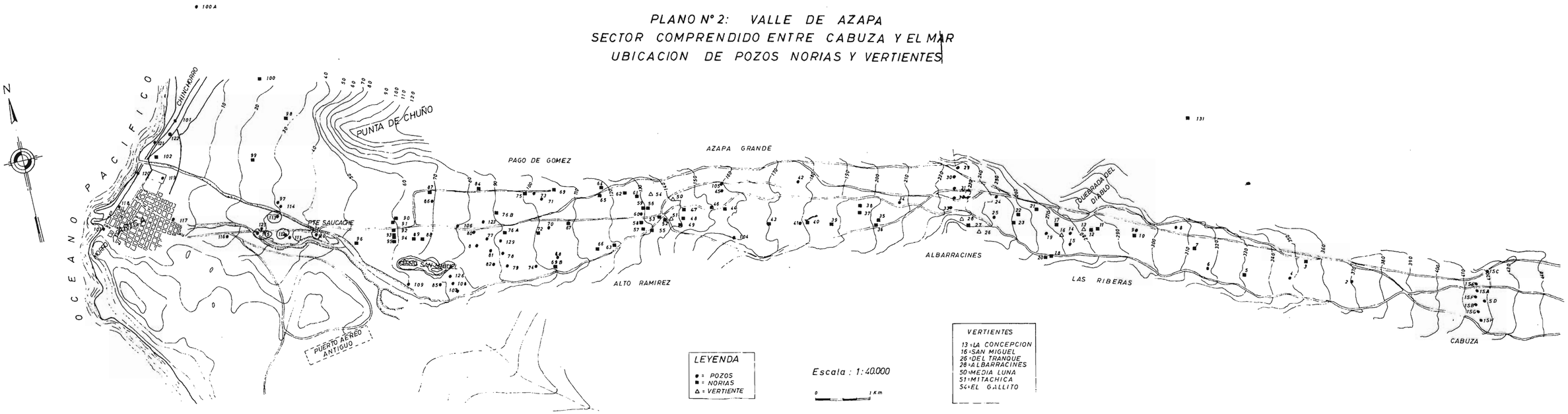


Fig. 1.- MAPA DE ISOYETAS DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS SAN JOSE Y LAUCA
Escala 1:1.000.000
CURVAS ISOYETAS DE PROBABILIDAD 50 %. TOMADAS DE E. ALMEYDA
ARICA
PAMPA DE OXAYA
Est. HIDROLOGICA
Est. METEREOLOGICA

PLANO Nº 2: VALLE DE AZAPA
SECTOR COMPRENDIDO ENTRE CABUZA Y EL MAR
UBICACION DE POZOS NORIAS Y VERTIENTES