

357

CONSEJO FEDERAL  
DE INVERSIONES

UNITED NATIONS  
DEVELOPMENT PROGRAMME

PLAN AGUA SUBTERRANEA.

ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL  
EN VALLE DE TULUM -  
PROVINCIA DE SAN JUAN

por

**juan a. victoria**

REPUBLICA ARGENTINA  
SAN JUAN  
1970

11539

140

CATALOGADO

357

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS  
PARA EL DESARROLLO

PLAN AGUA SUBTERRANEA

PROVINCIA DE SAN JUAN



ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL EN  
VALLE DE TULUM - PROVINCIA DE SAN JUAN

por

Ingeniero: JUAN A. VICTORIA

Este informe se eleva al Consejo Federal de Inversiones previo a su aprobación por las Naciones Unidas o por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y por lo tanto no representa necesariamente los puntos de vista de estas organizaciones.

AGOSTO 1970

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

(c) 1970 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Alsina 1401 Buenos Aires República Argentina

FE DE ERRATAS

Página 4 línea 10

donde dice: "... al bajar el nivel de agua de la pileta..."

debe decir: "... al bajar el nivel de agua, la pileta..."

Página 4 línea 23

donde dice: "...superior al de una con piso perturbado "

debe decir: "...superior al de una con piso no perturbado "

Página 6 línea 9

donde dice: "...en su Estación Agrometeorológica, es de 112 mm."

debe decir: "...en su Estación Agrometeorológica, es de 111,2 mm."

Página 7 línea 5

donde dice: "Se considera tambien que el costo del..."

debe decir: "Se considera tambien el costo del..."

## CONTENIDO

PRIMERA PARTE: Ensayos en piletas de Infiltración en  
Río San Juan.

SEGUNDA PARTE: Ensayos en Antepozo. Marquezado, Depar-  
tamento Rivadavia

BIBLIOGRAFIA: Información técnica sobre Recarga arti-  
ficial del CHANGE COUNTY WATER DISTRICT  
CALIFORNIA - USA

ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL

RIO SAN JUAN

MONDA DEL 1° AL 20 DE JUNIO DE 1970

Ejecución:

J. Victoria

A. Coria

Colaboraron:

A. Plaza

C. Clop

W. Guevara

SAN JUAN

FECHA DE EJECUCION: JUNIO 1970

### CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- 1) La capacidad de infiltración del lecho del Río San Juan en su estado natural y en la zona aguas arriba del Puente Albardón - Ruta 40, es de unos 2,2 cm/hora, 60 litros/segundo Hectárea mojada ó 220 m<sup>3</sup>/hora Hectárea mojada.
- 2) La capacidad de infiltración del lecho, después de removida la capa superior de éste, aumenta 3 veces el valor anterior.
- 3) La evaporación es despreciable, menos del 1% de 2,2 cm/ hora.
- 4) Considerando que las piletas tendrán una superficie de 1 Hectárea, que se dispone de 20 días de agua al año, y que la infiltración es de 220 m<sup>3</sup>/ hora hectárea mojada, el costo del metro cúbico infiltrado se aproximará a \$ 0,90 %. Este incluye maquinarias, personal y movilidad para preparación y mantenimiento de las piletas.
- 5) Dentro de los 16 días que duró el ensayo no se ha manifestado ninguna reducción en la velocidad de infiltración como consecuencia de la deposición de material fino. Por el contrario, la capacidad aumentó con el tiempo de uso de las piletas.
- 6) No se ha detectado variación de la velocidad de infiltración con la temperatura del agua de las piletas.
- 7) La zona de recarga artificial en el Río San Juan es en principio la de aguas arriba del Puente Albardón. Investigaciones recientes sobre pérdidas de caudal en el tramo Puente Albardón - Puente San Martín, indicarán la utilidad de éste como zona de recarga.

### RECONOCIMIENTO

A la Dirección Provincial de Vialidad que facilitó un tractor Allis Chalmer HD16 durante 2 días para la ejecución de las piletas.

### UBICACION DE LAS PILETAS

Se encuentran 2.100 metros aguas abajo del Partidor San Emilia no y 700 metros aguas arriba de la Fábrica de Carburo. La selección de este lugar surgió de la facilidad de aprovechamiento de las defensas existentes y la cercanía de la fábrica, donde se guardó el equipo durante la noche.

### SUPERFICIE DE LAS PILETAS

Con las 4 piletas construídas se consiguió una superficie mojada de 1,3 hectáreas.

El piso de las piletas N° 1 y N° 3 no fué perturbado, quedando por lo tanto en su estado natural. El de las N° 2 y N° 4 fué removido por la máquina, eliminándose la capa superior que contiene material arcilloso. El tratamiento fué más completo en la pileta N° 2 que en la N° 4 .

### MEDICIONES

Ante la dificultad de medir caudales de entrada y salida en las piletas, se colocaron en éstas escalas hidrométricas. Una vez cerradas la alimentación y descarga se midieron los descensos de nivel de agua cada hora durante períodos de unas 7 horas.

Los resultados obtenidos fueron graficados contrastando altura del agua contra tiempo. Las pendientes de las curvas resultantes dan la velocidad de descenso del nivel de agua y que llamaremos en adelante velocidad de infiltración.

El análisis indica que las alturas varían linealmente con el tiempo, o lo que es lo mismo, que la velocidad de infiltración se mantiene constante durante el vaciado de la pileta.

En las curvas de las piletas N° 2 y N° 3 se nota una inflexión después de cierto tiempo de percolación y que se debe a que las dos están comunicadas y tienen velocidades de infiltración diferentes. Más adelante explicamos con más detalle esta situación.

Terminadas las lecturas se abrían las entradas dejando circular el agua hasta la próxima medición, donde se repetía la operación mencionada.

Los valores de velocidad obtenidos en las tres mediciones fueron también llevados a un gráfico comparándolos con el tiempo de uso de las piletas. Se nota en general un aumento de aquélla con el tiempo. El incremento más notable ocurre en la pileta N° 4, que pasa de 2,6 cm/hora a 4 cm/hora después de 16 días con agua.

Una conclusión importante de este fenómeno es que dentro del período señalado arriba no hay influencia del material arcilloso que se sedimenta en las piletas, y que haría pensar en una rápida disminución de la capacidad de infiltración. El aumento en la velocidad puede atribuirse al desplazamiento de aire de la formación.

RESUMEN DE RESULTADOS

VELOCIDAD DE INFILTRACION EN CM/HORA

Pileta Nº	1º medición 3 días c/agua	2º medición 6 días c/agua	3º medición 16 días c/agua	Incremento entre 1º y 3º medición
1	2,4	2,2	2,5	+ 4,2 %
2	5,5 <sup>x</sup>	5,2 <sup>x</sup>	9,0	?
3	1,4	2,3	2,3	+65 %
4	2,6	3,3	4,0	+54 %

x : Hemos dicho que las piletas Nº 2 y 3 están comunicadas. Sucede que por la topografía del terreno, al bajar el nivel de agua de la pileta Nº 3 se separa en dos partes. Una sigue alimentando a la Nº 2 y la otra, donde estaba la escala, arroja los valores de infiltración señalados y que adoptamos para toda la pileta. Por lo dicho, los valores marcados con asterisco en la tabla no indican la velocidad de infiltración real de la pileta Nº 2. Esta es siempre mayor que la anotada. Solamente en la 3º medición se cortó completamente la comunicación entre ambas y en el gráfico C pueden verse claramente el incremento en la velocidad de la Nº 2 y la correspondiente disminución en la de la Nº 3.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, es notable el aumento en la capacidad de infiltración como resultado de la remoción del piso de las piletas. Se puede decir por ésto que la velocidad de infiltración en una pileta tratada es 3 veces superior al de una con piso perturbado.

En cálculos posteriores hemos adoptado como valor representativo del lecho del Río en su estado natural, los obtenidos en la Pileta Nº 1 . Para darnos un margen de seguridad, tomamos el mínimo de 2,2 cm/hora.

MATERIAL DE SUSPENSION Y SEDIMENTACION

Muestras de agua fueron tomadas en las entradas y salidas de las piletas N° 1 y N° 2. Estas se analizaron química y físicamente en el Laboratorio Geoquímico del Plan Agua Subterránea.

Resumimos a continuación los valores que nos interesan desde el punto de vista de la sedimentación.

SOLIDOS EN SUSPENSION TOTALES A 105° C

en mg/litro

Fecha	Pileta	Entrada	Salida	Sedimentado %
18-6-70	1	130	88	32
9-6-70	2	130(río)	88	32

El porcentaje real de sedimentación es mayor puesto que el caudal de salida de las piletas es siempre menor que el de entrada.

Resulta entonces que haciendo circular la misma agua por varias piletas, es decir, que la salida de una alimenta a la siguiente, la mayor parte del material en suspensión se depositará en las primeras. Esto facilitará sin duda las futuras limpiezas de las mismas.

Como dato ilustrativo diremos que el agua durante las crecientes de verano contiene 3 ó 4 veces más sólidos en suspensión que la de invierno.

TEMPERATURA DEL AGUA DE LAS PILETAS

Los gráficos de temperatura que se acompañan muestran variaciones bastante importantes.

Las temperaturas fueron tomadas superficialmente y no representan por ésto la situación en todo el volumen. A pesar de que deben exis

tir cambios en la velocidad de infiltración con la temperatura como consecuencia de variaciones en la viscosidad del agua; éstos no se han detectado en las piletas N° 1 y N° 3 que mantienen agua por más de 24 horas.

#### EVAPORACION

Las pérdidas de agua por evaporación es despreciable frente a la infiltrada.

La evaporación del mes de Junio de 1969, obtenida por I.N.T.A. en su Estación Agrometeorológica, es de 112 mm. Este valor representa el 0,7 % de la infiltración horaria de 2,2 cm.

#### NIVELES DE POZOS

Se seleccionó una pequeña red de medición con el fin de observar el comportamiento de los niveles durante la monda. La ubicación de los mismos y sus hidrogramas se adjuntan al final. Estos muestran claramente la recarga natural que se produce y que ha sido de unos  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$  en el tramo Dique - Puente Albardón durante el período de monda.

#### ESTIMACION DE COSTOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL

La pendiente del Río San Juan es de aproximadamente 0,6 %, por lo que limitamos el espaciamiento de los bordes a 100 metros. Suponemos también que el espaciamiento en el sentido perpendicular a la pendiente es de 100 metros. Resulta entonces que para conseguir una pileta de una hectárea se necesitan unos 300 metros de bordo.

El análisis del trabajo realizado por el tractor Allis Chalmers HD 16, indica un rendimiento en el abordado de 25 metros por hora. La altura de los bordos es de 1 metro aproximadamente, resistiendo bien 0,6 metros de agua. El valor anotado de 25 metros/hora es conservativo,

pudiendo aumentar, ya que no hace falta mantener la misma altura en los bordos laterales de la pileta.

De lo dicho se deduce que la preparación de una hectárea mojada consumirá unas 12 horas de la máquina señalada, cuyo costo horario hemos estimado en \$ 6.500 %. Se considera también que el costo del personal técnico y obrero y de movilidad, que se carga totalmente a la etapa de preparación. El criterio se justifica, pues una vez en operación el sistema, el costo de vigilancia es mínimo.

Por otra parte, como el personal adelanta trabajo durante la operación de la máquina, es lógico cargar el costo de éste a un doble hectoreaje de piletas.

A continuación hacemos el análisis y resumen de los diferentes costos:

COSTOS POR HECTAREA MOJADA

		TOTAL HECTAREA
<hr/>		
a) <u>Maquinaria</u>		
Costo horario \$ 6.500		
horas hectárea 12		\$ 78.000
b) <u>Personal</u>		
Supervisor		
Topógrafo		
3 obreros		
Movilidad y chofer		
Total \$ 2.400/hora		
Factor de uso		
6 horas/hectárea preparada		\$ 14.400
<hr/>		
TOTAL MAQUINARIA, PERSONAL Y MOVILIDAD. . . . .		\$ 92.400
Adoptamos: \$ 95.000/hectárea		

COSTO DEL METRO CUBICO INFILTRADO

Adoptamos para este cálculo la mínima velocidad de infiltración obtenida en la pileta N° 1 que creemos representa mejor las condiciones naturales del lecho del Río San Juan. Este valor de 2,2 cm/hora significa un caudal de 220 m<sup>3</sup>/hora ó 60 litros/seg por hectárea. Suponiendo además 20 días de agua por año para hacer recarga, resulta el siguiente costo por metro cúbico infiltrado:

$$\text{Costo } \$/\text{m}^3 = \frac{95.000 \text{ \$/Ha}}{220 \text{ m}^3/\text{h} \quad 480 \text{ horas}} = 0,90$$

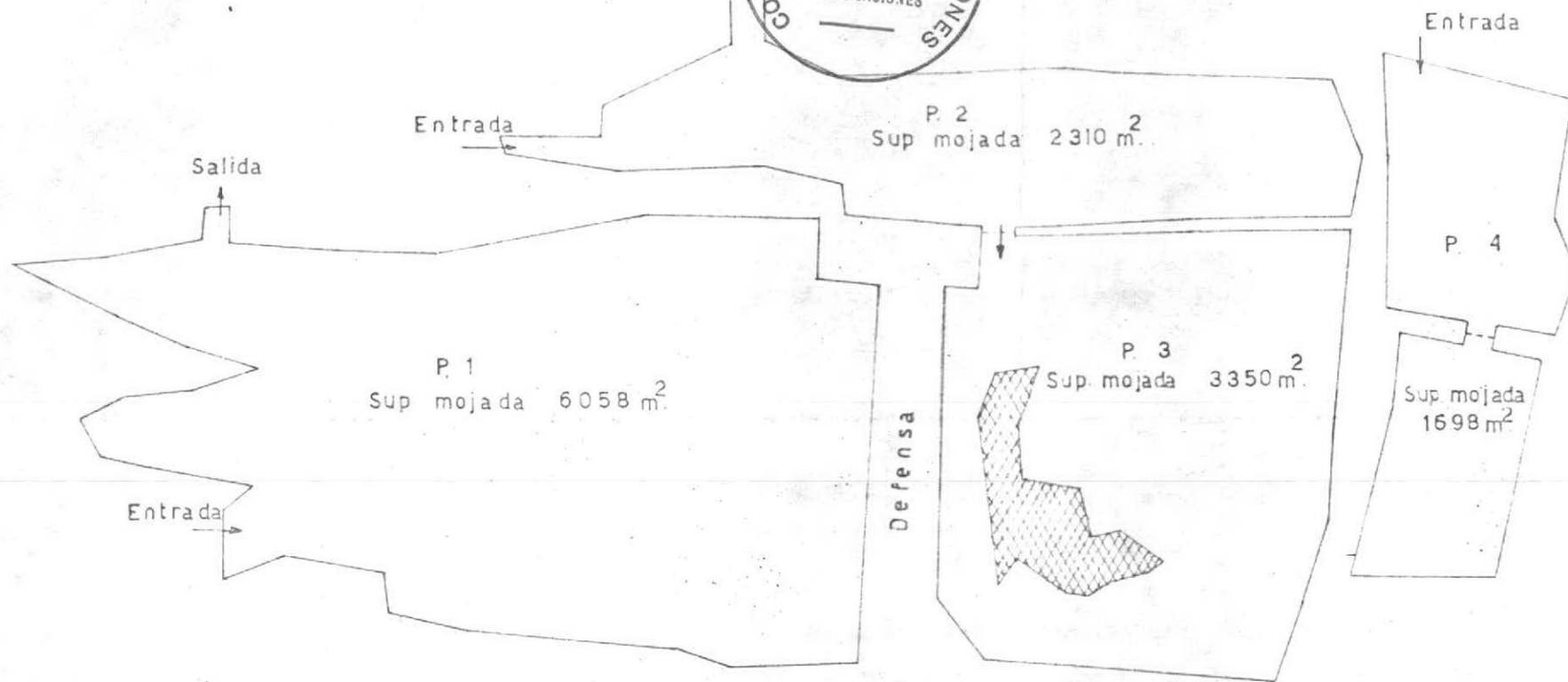
En los cálculos procedentes se ha supuesto que la preparación de piletas debe hacerse todos los años. Esto muy posiblemente no ocurrirá, puesto que el sistema, salvo grandes crecientes que lo destruyan, puede mantenerse con muy poco trabajo. Por otra parte, si bien hay deposición de material fino, la capacidad de infiltración puede recobrar su valor original dejando secar la superficie .

Por lo dicho, el costo anterior puede reducirse.

No se hace el análisis con laboreos especiales sobre los pisos de las piletas y que aumentarían la capacidad de infiltración por no haberse experimentado los métodos.

JV/rmm

RIO SAN JUAN



Superficie total mojada 1,34 Has

Avda. COSTANERA

— ENSAYO DE RECARGA ARTIFICIAL —  
— RIO SAN JUAN —  
PILETAS DE INFILTRACION

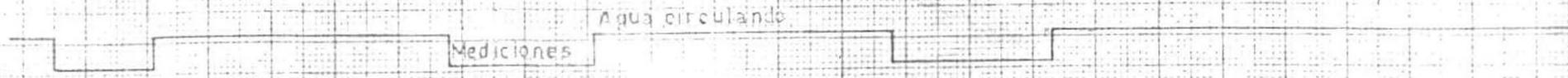
Escala 1:1000



# Esquemas de Mediciones

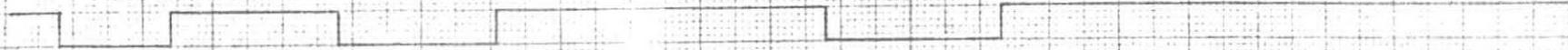
Sabado 6 | Domingo 7 | Lunes 8 | Martes 9 | Miercoles 10 | Jueves 11 | Viernes 12 | Sabado 13 | Domingo 14 | Lunes 15 | Martes 16

Pileta N° 1



Agua circulando

Pileta N° 2 y 3



Pileta N° 4



Miercoles 17 | Jueves 18 | Viernes 19 | Sabado 20 | Domingo 21 | Lunes 22 |

Pileta N° 1



Agua circulando

Pileta N° 2 y 3



Recarga Artificial Rio S. Juan

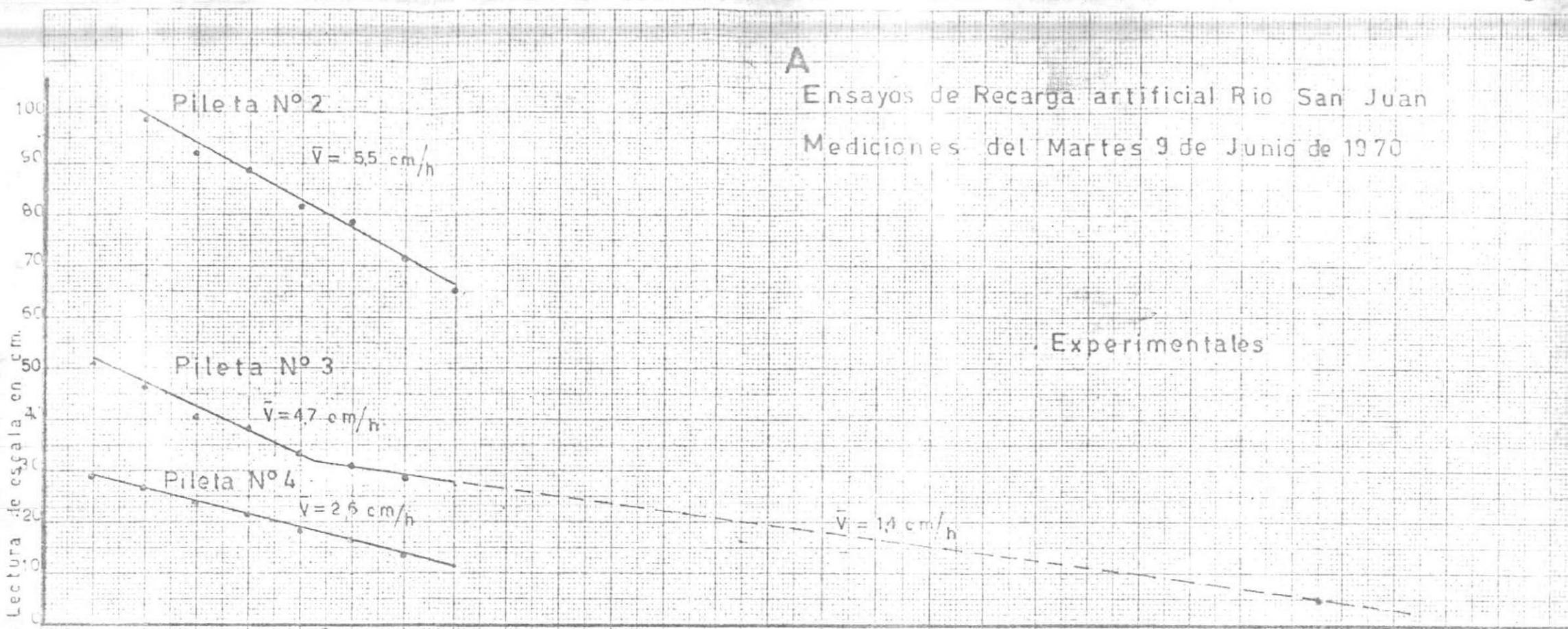
Pileta N° 4



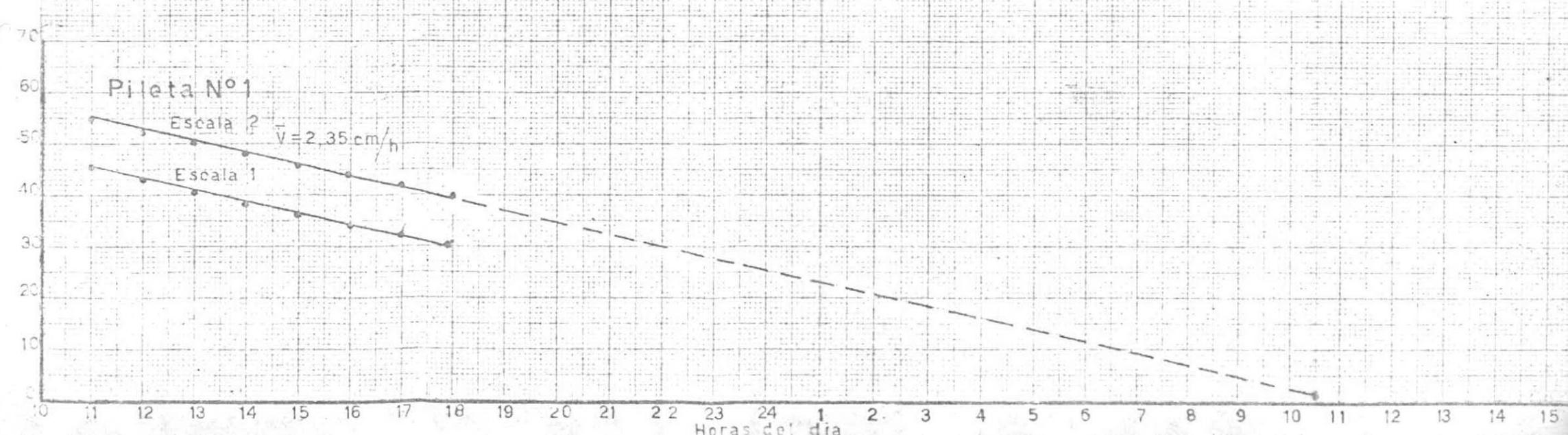
Junio 1970

A

Ensayos de Recarga artificial Rio San Juan  
Mediciones del Martes 9 de Junio de 1970



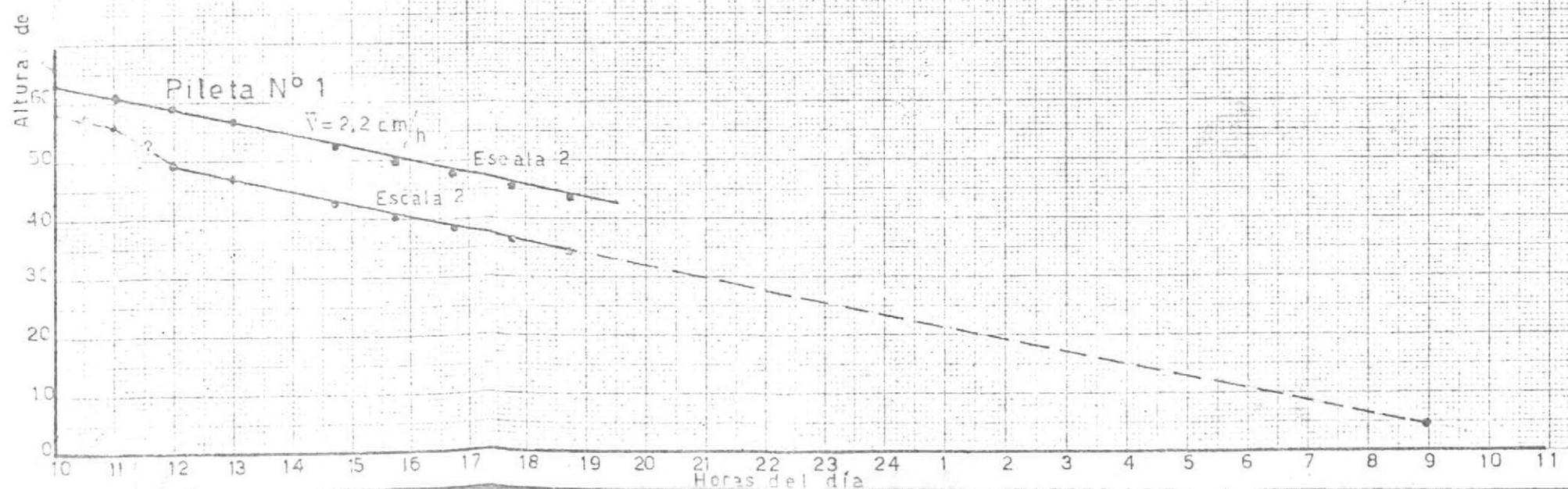
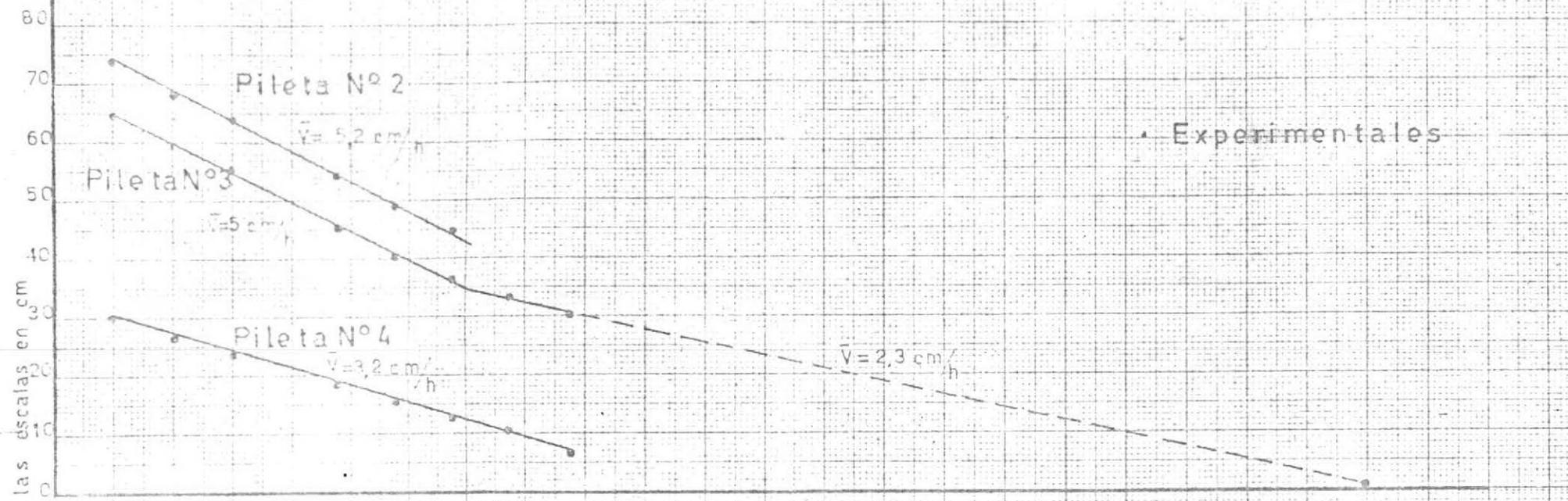
Experimentales

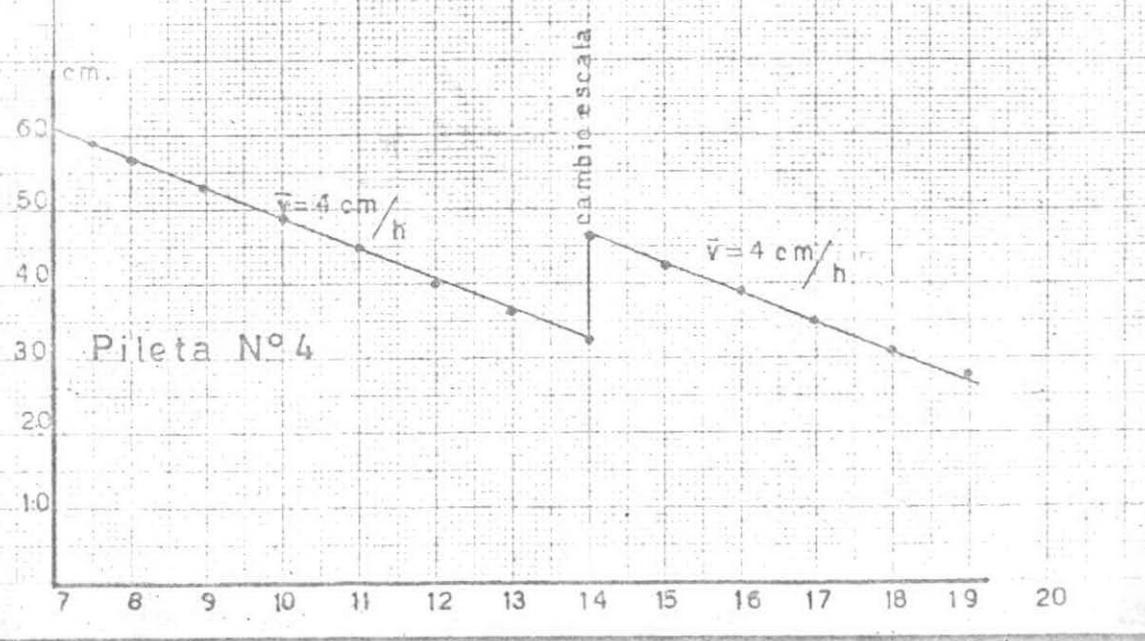
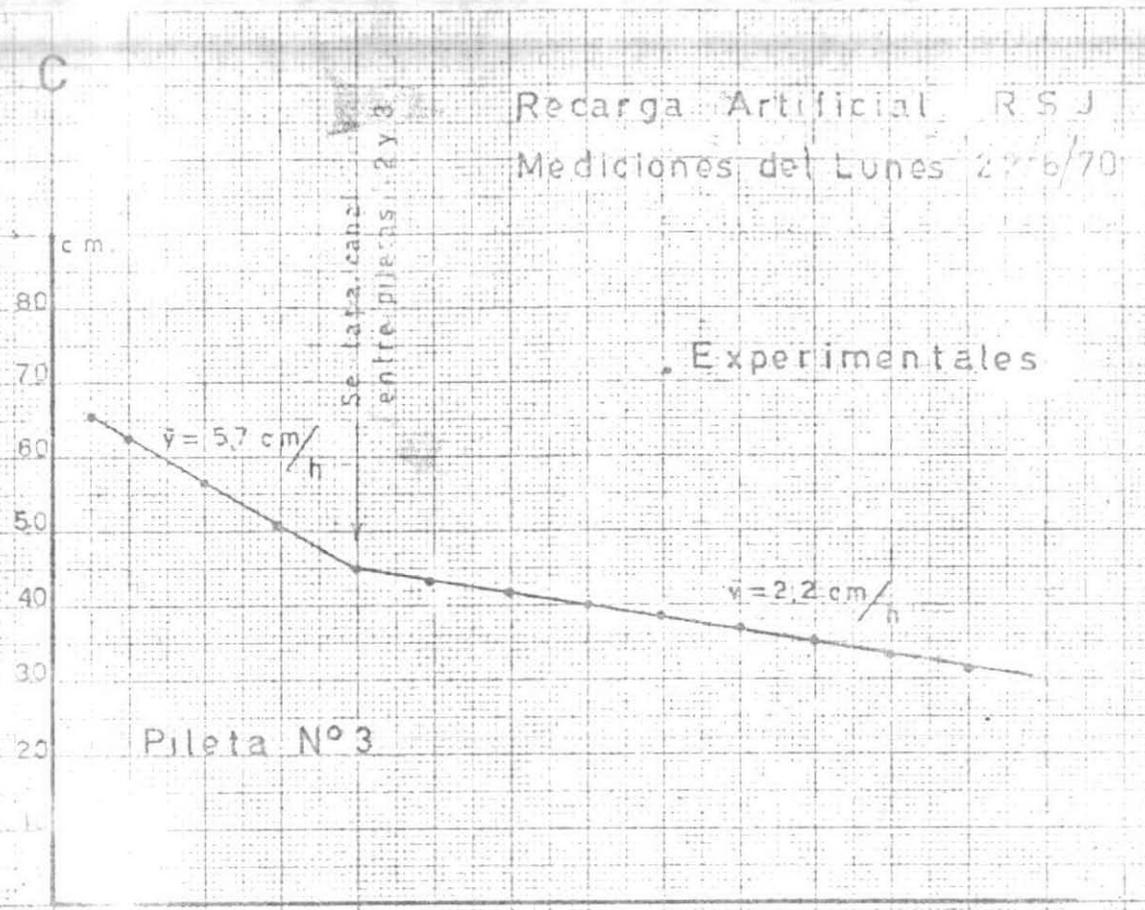
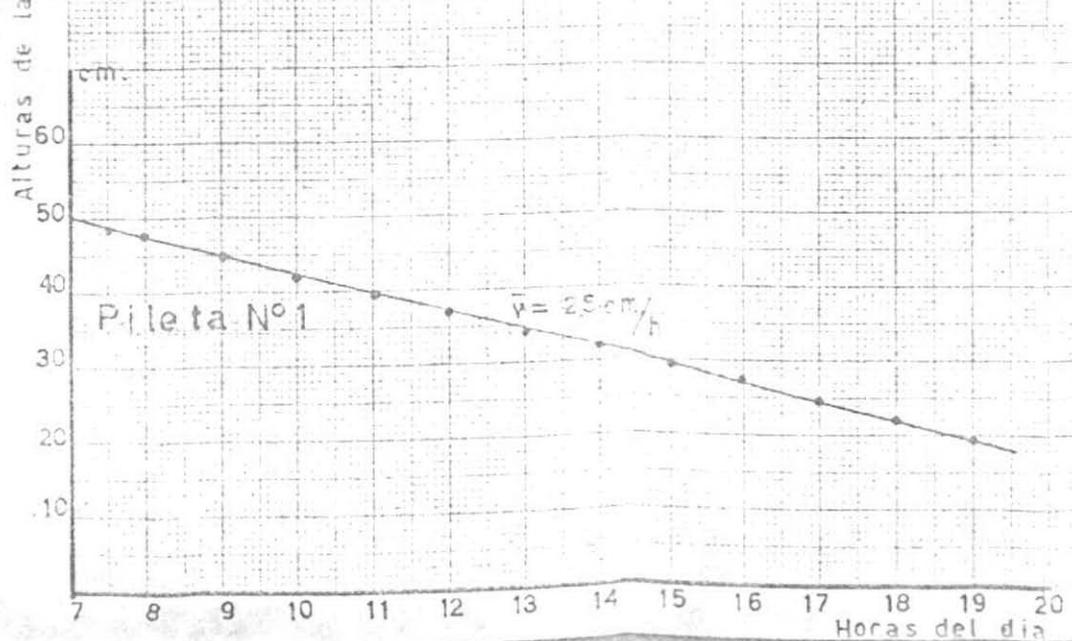
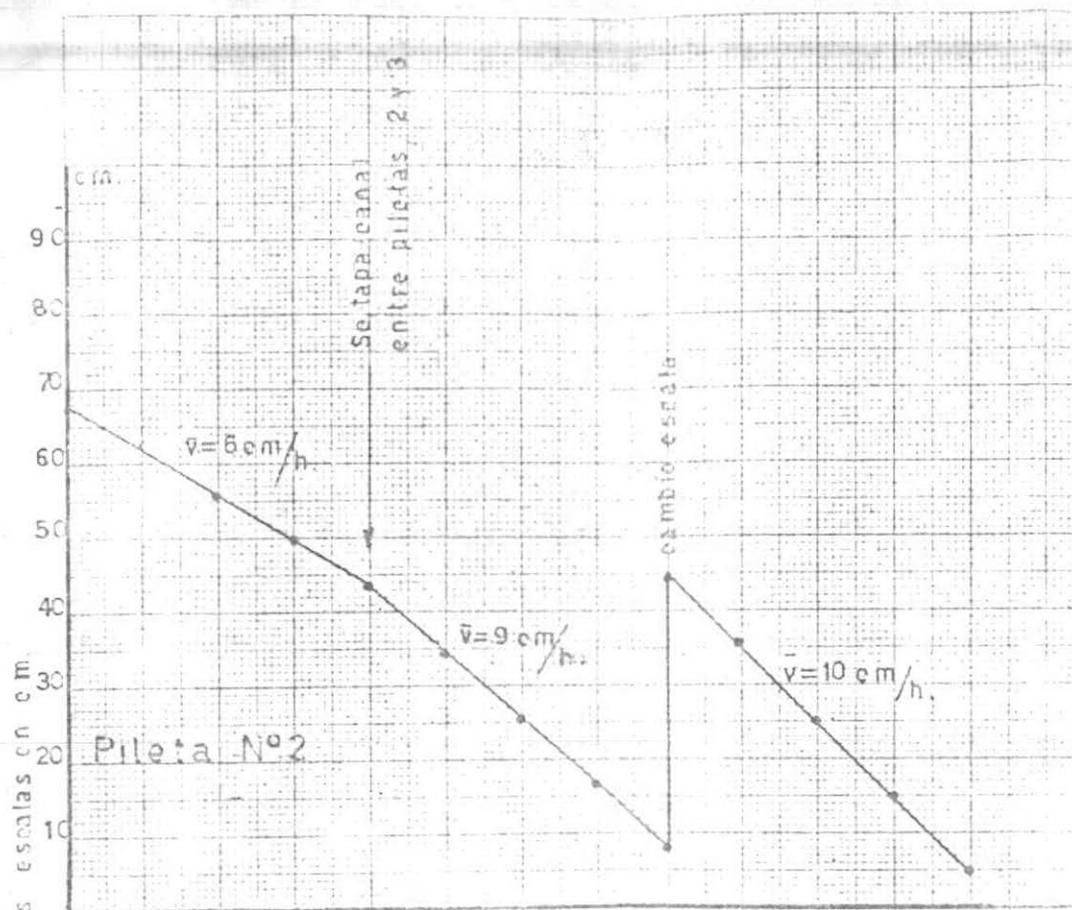




# B

Ensayos de Recarga Artificial Rio San Juan  
Mediciones del Viernes 12 de Junio de 1970

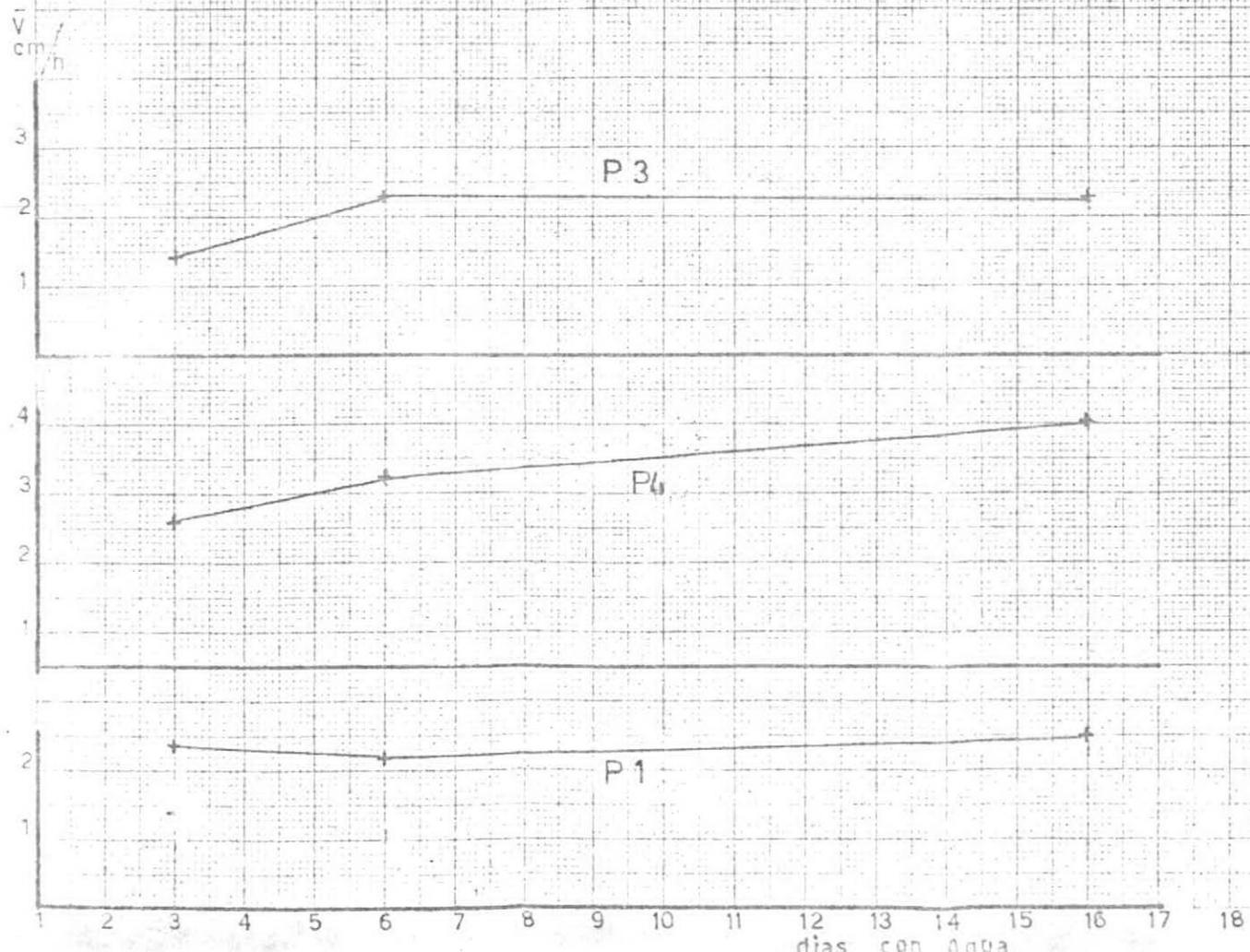






# Variación de la Velocidad de infiltración

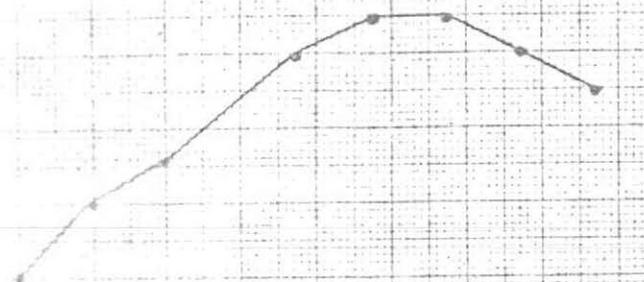
+ Mediciones realizadas



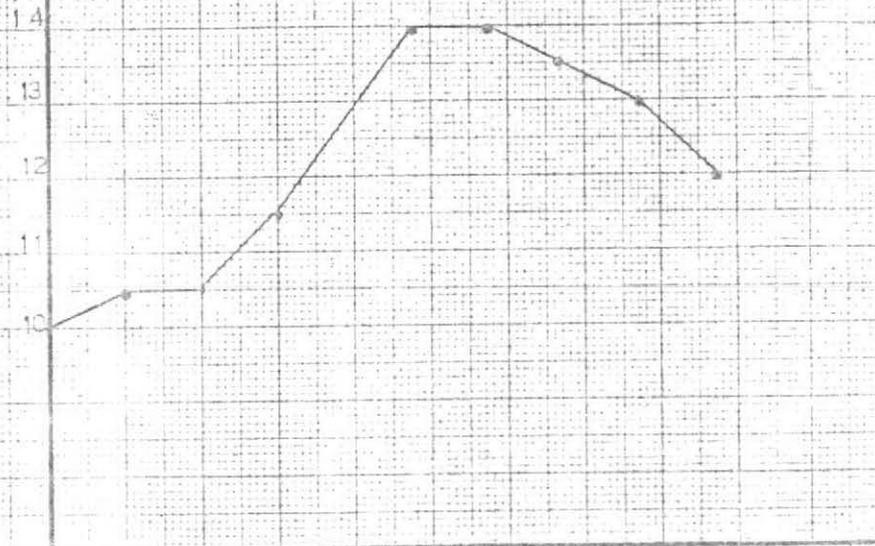
# Temperatura del Agua de las Piletas

Viernes 12 de Junio de 1970

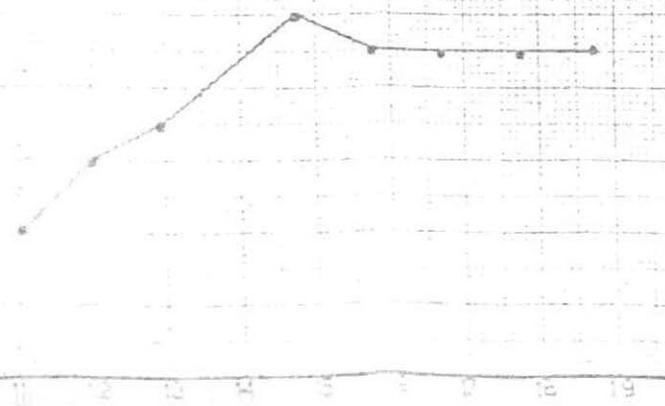
Pileta N° 3



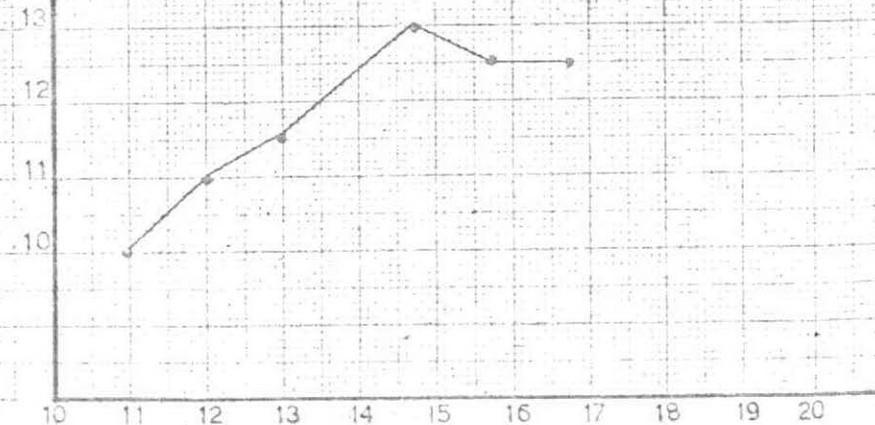
Pileta N° 1



Pileta N° 4



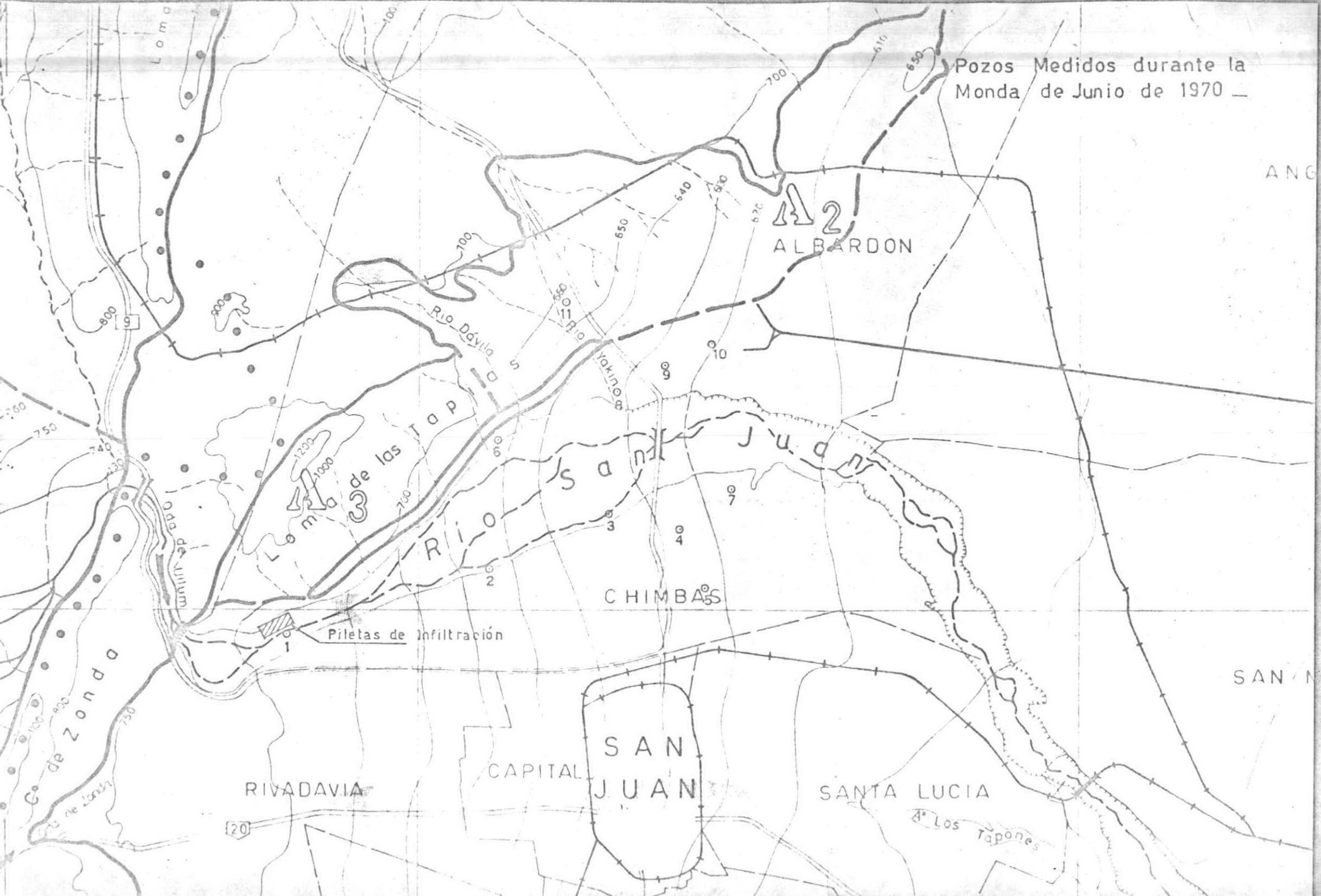
Pileta N° 2



Horas del día

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Pozos Medidos durante la Monda de Junio de 1970



A2  
ALBARDON

Piletas de Infiltración

CHIMBAS

SAN JUAN  
CAPITAL

SANTA LUCIA

RIVADAVIA

20

Los Tapones

ANG

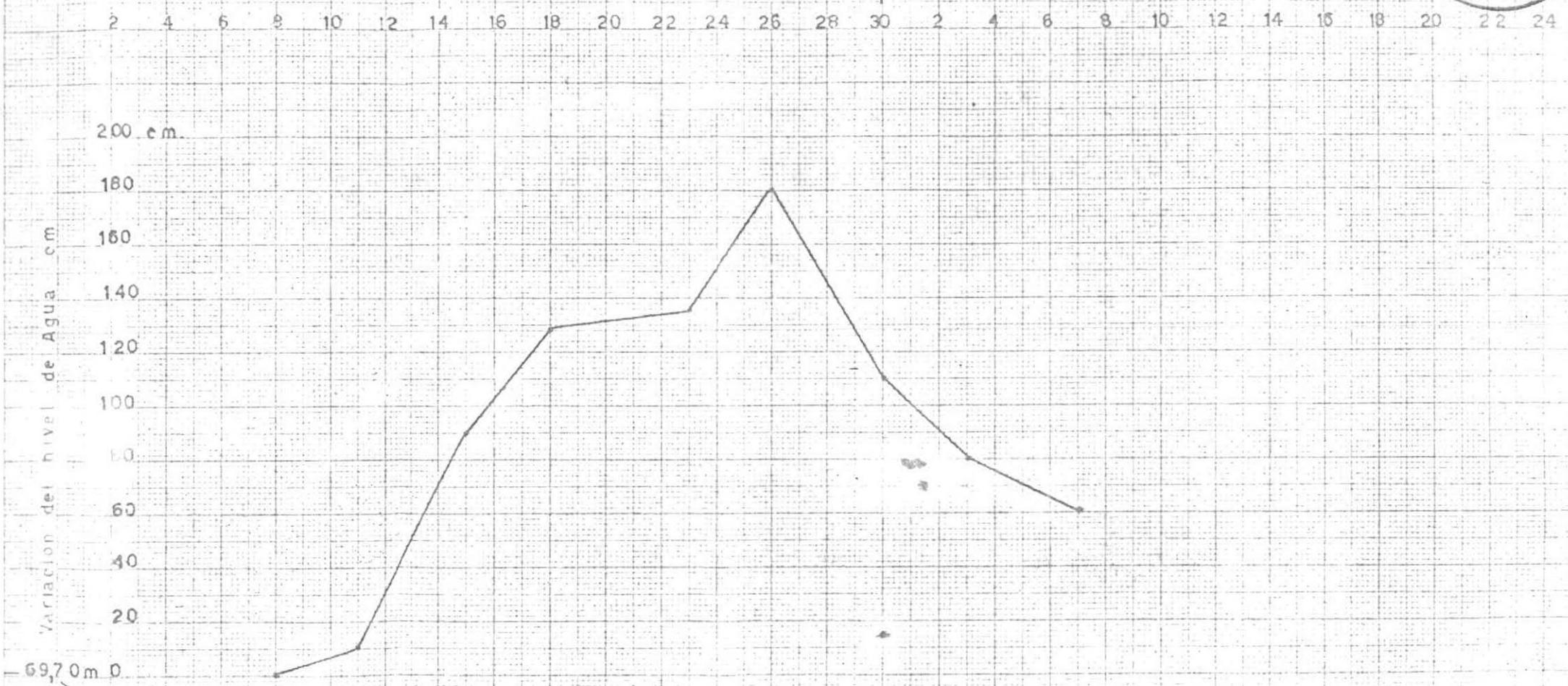
SAN M



Pozo Nº 1

Junio 1970

Julio 1970



69,70 m 0

Nivel del Agua en el pozo en la 1ª medición



# Pozo N° 2

Junio 1970

Julio 1970

Variedad del nivel de Agua cm

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22

80 cm

70

60

40

20

0

0

0

0

0

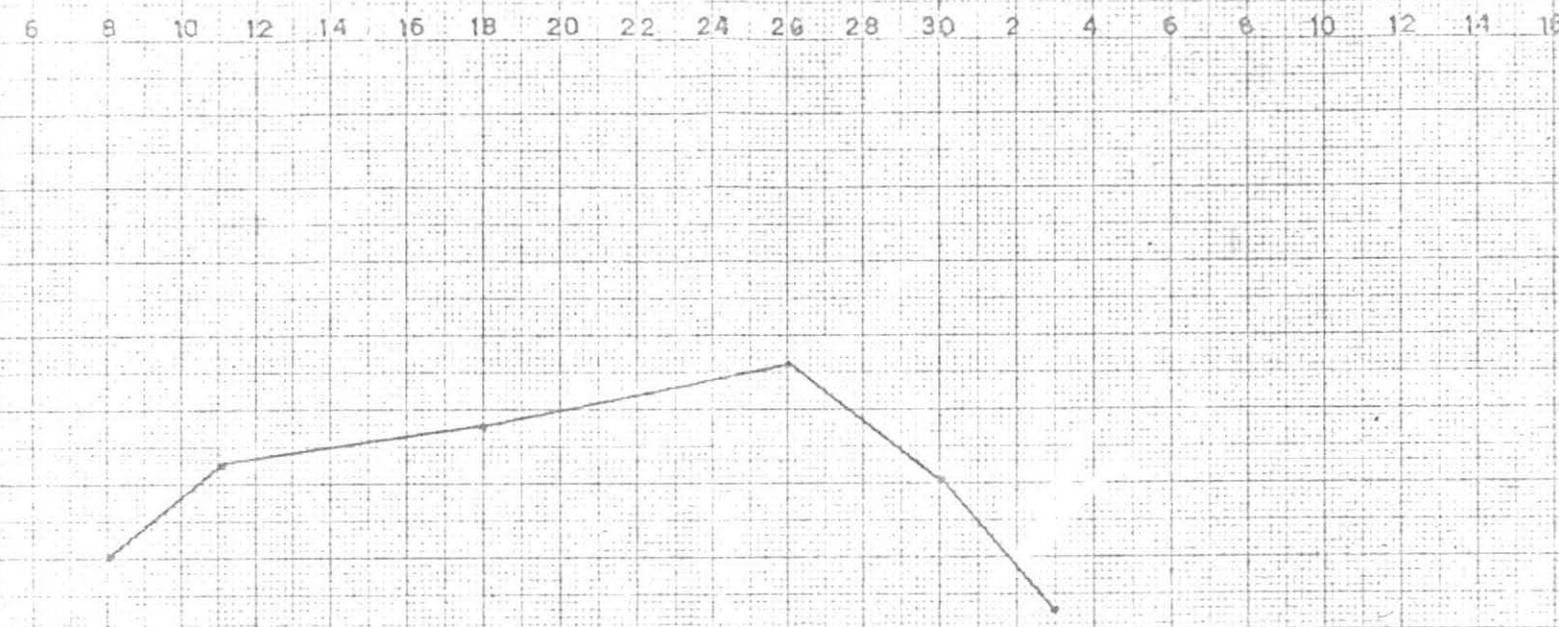
0

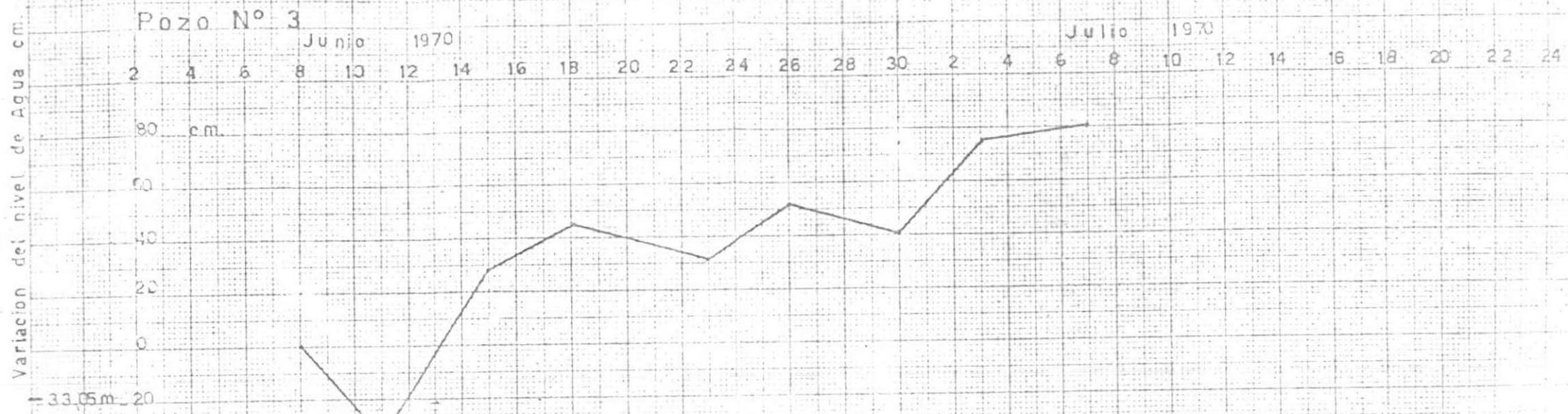
0

0

0

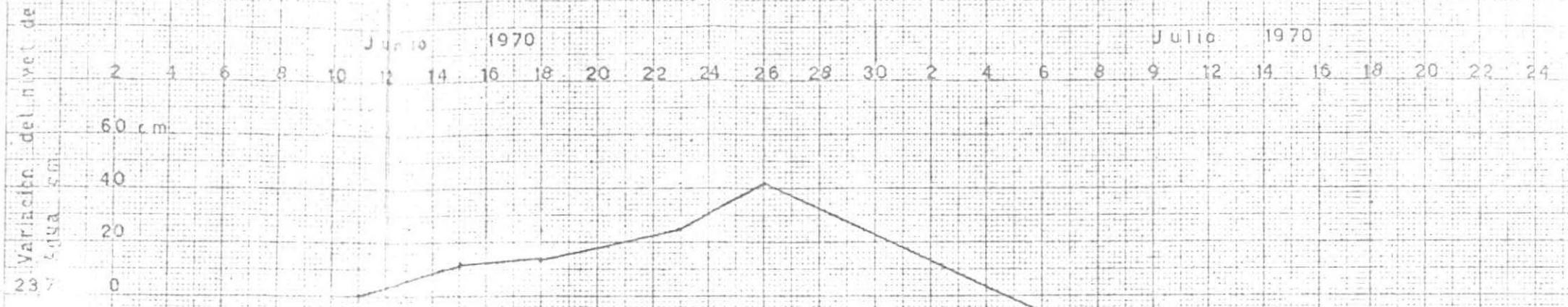
0

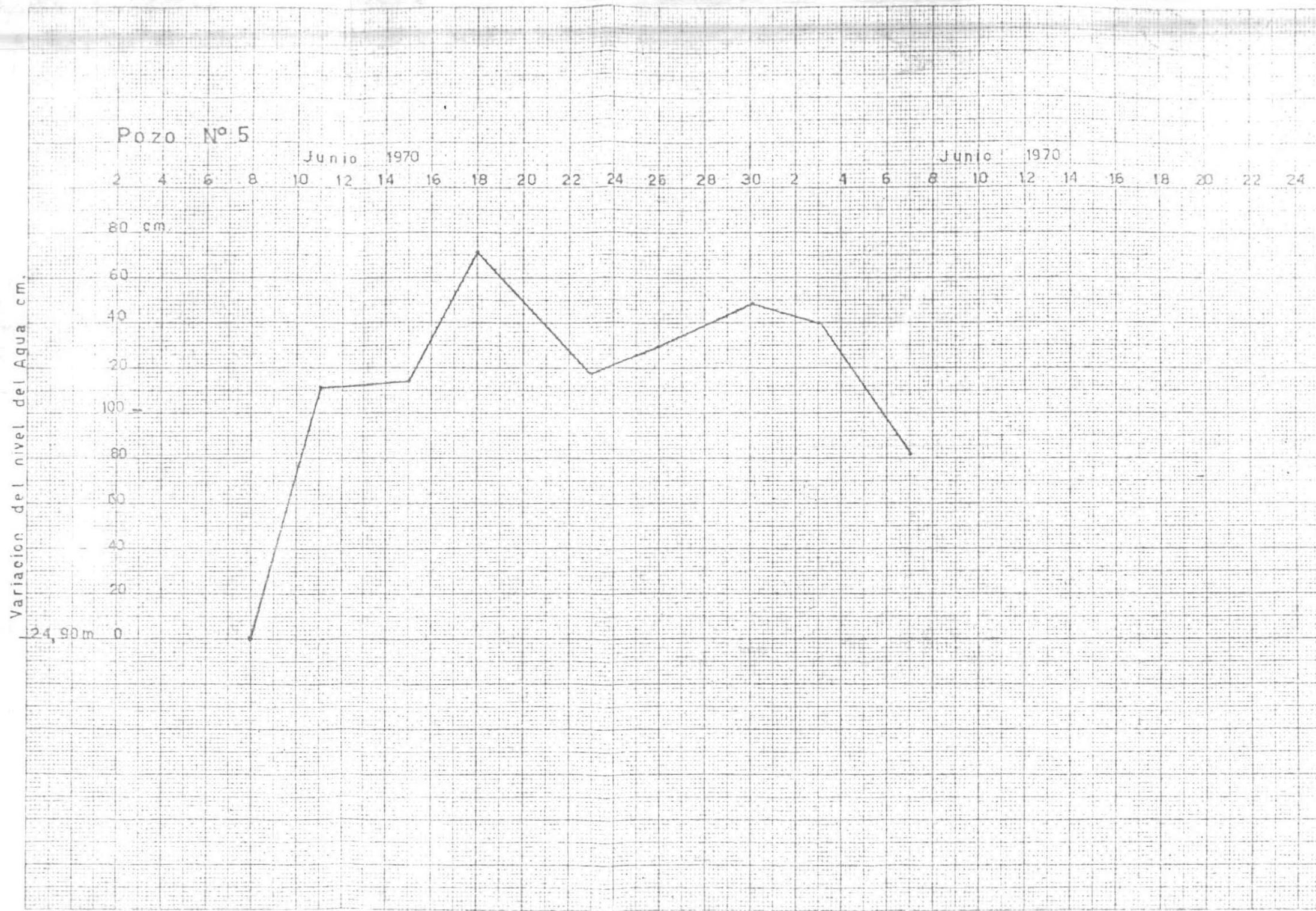






# Pozo N° 4







# Pozo N° 6

Junio 1970

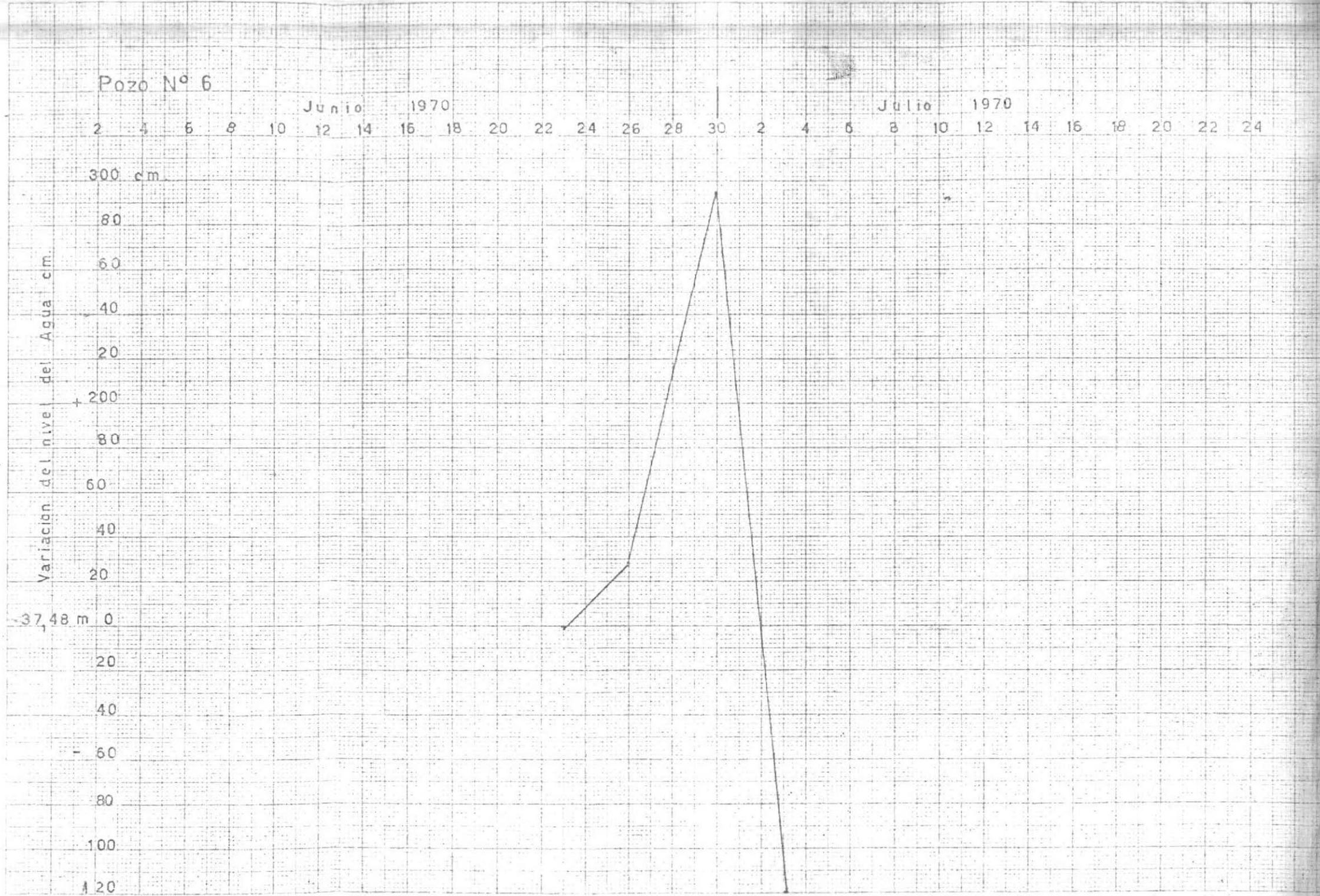
Julio 1970

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24

300 cm  
80  
60  
40  
20  
+ 200  
80  
60  
40  
20  
- 37,48 m 0  
20  
40  
60  
80  
100  
120

- 37,48 m

- 801 - 803



Variación del nivel de Agua cm.

### Pozo N° 7

Junio 1970

Julio 1970

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24

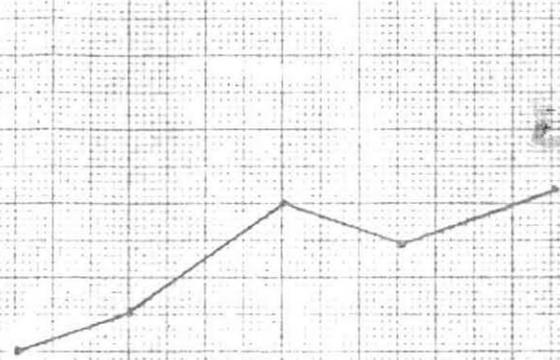
80 cm

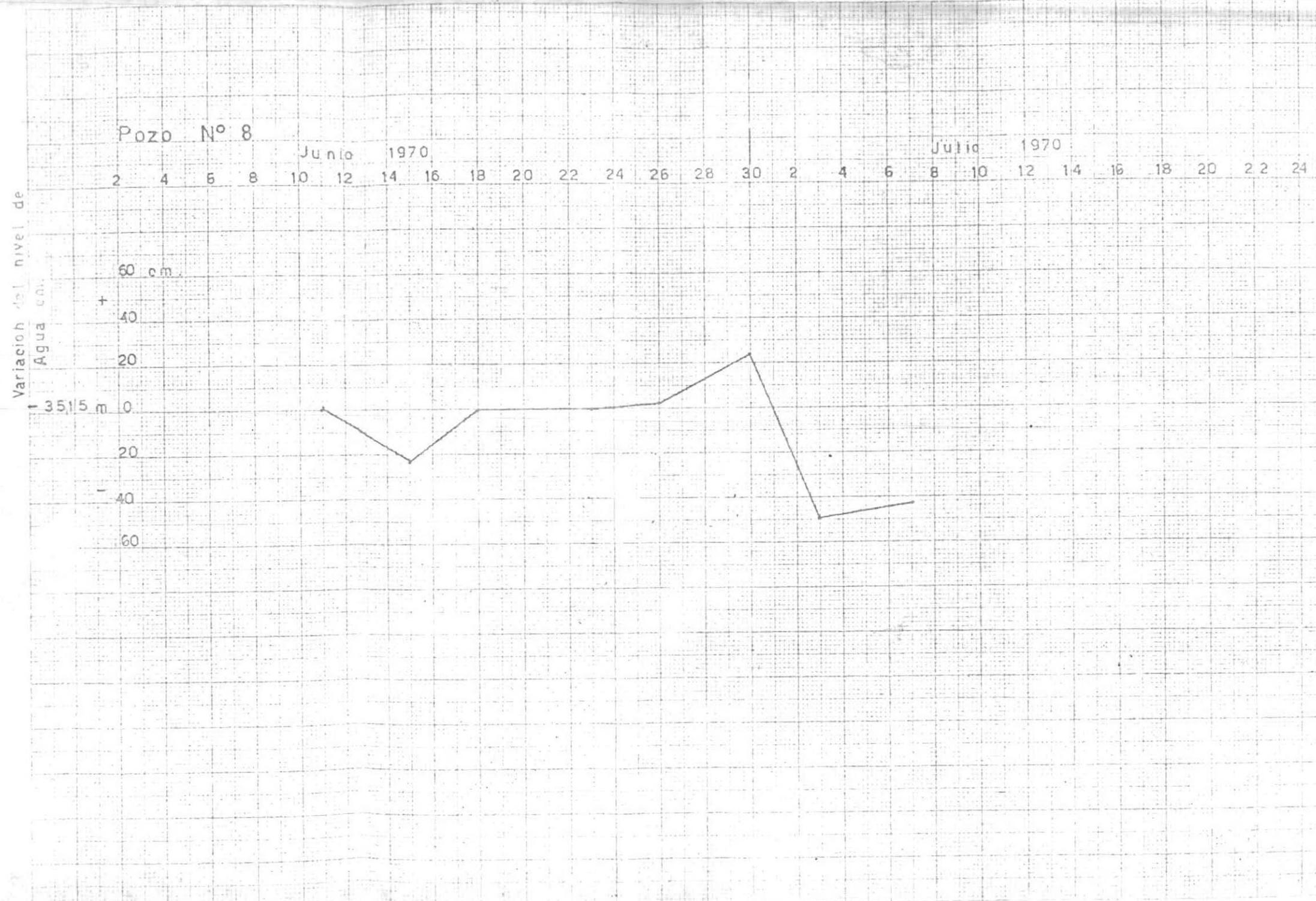
60

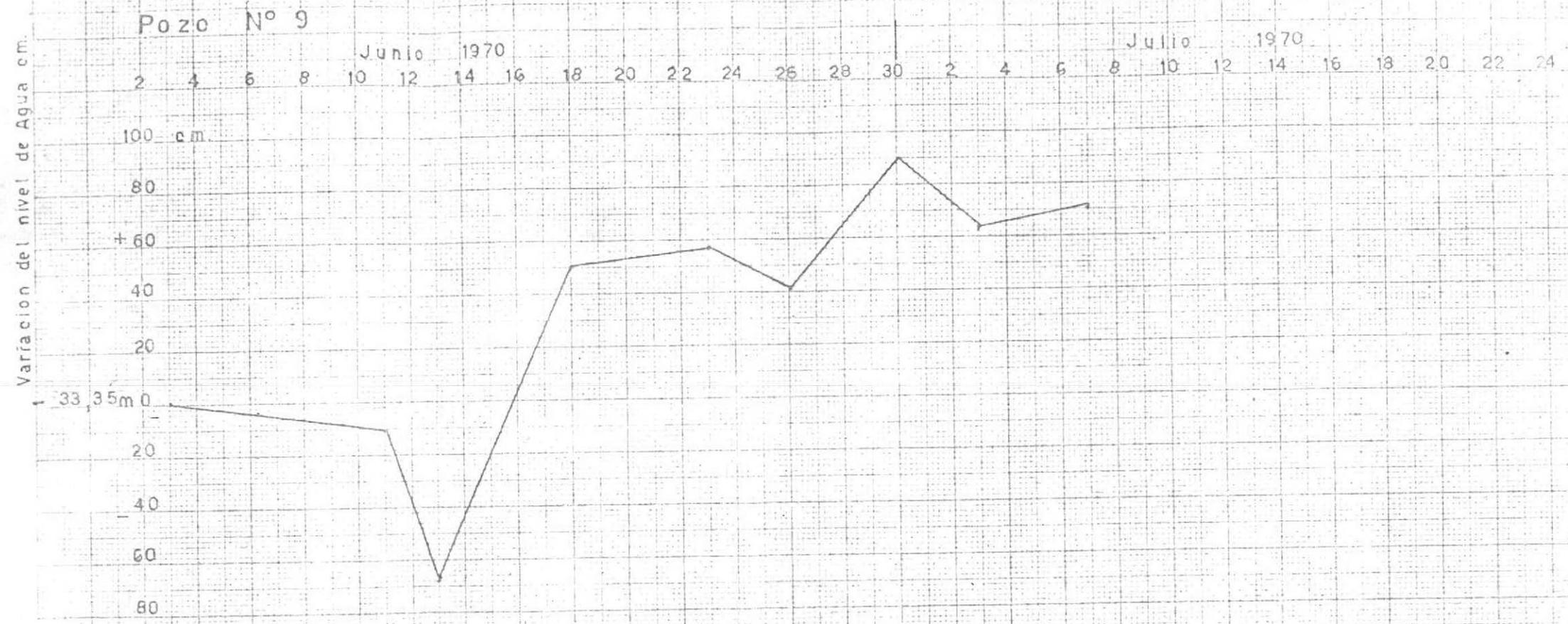
40

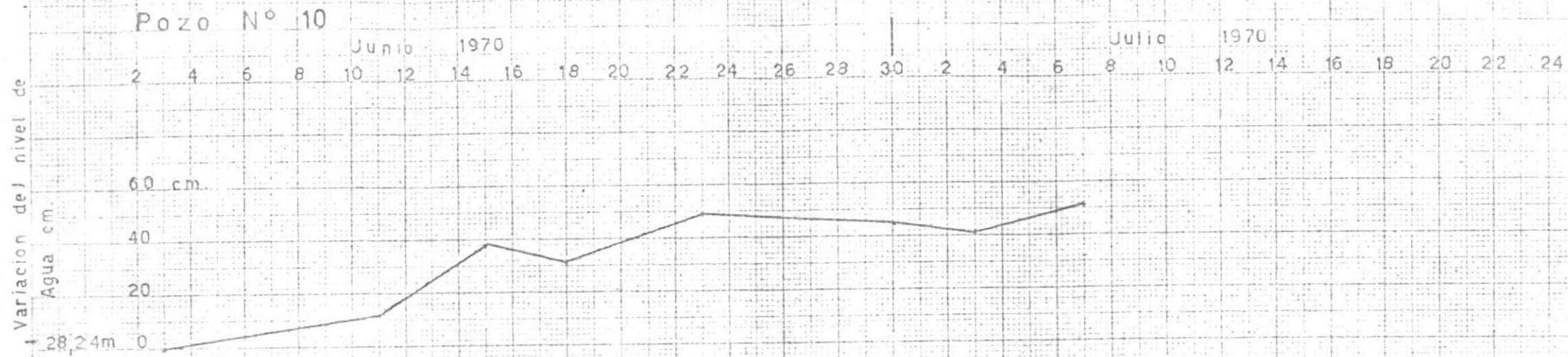
20

-18,76 m 0









Pozo N° 11

Junio 1970

Julio 1970

Variacion del nivel de

Agua cm

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24

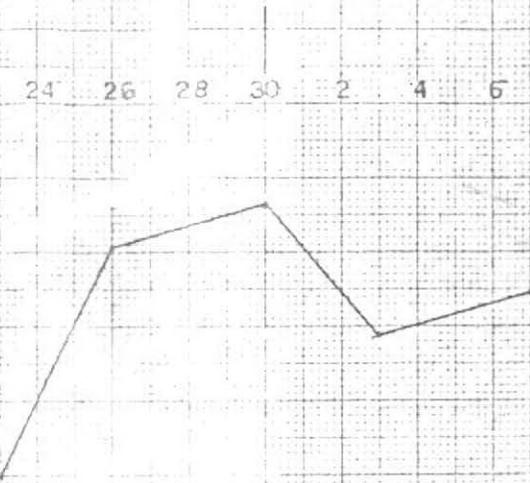
80 cm

60

40

20

17,14 m 0





ENSAYO DE RECARGA EN ANTEPOZOS

ANTEPOZO MARQUEZADO

Ejecución:

Ingeniero JUAN VICTORIA

EDGARDO A. WISZNIOVSKI

MIGUEL ANGEL TORO

ROQUE MONTIVEROS

SAN JUAN

FECHA DE REALIZACION: FEBRERO 1970

## ENSAYO DE RECARGA EN ANTEPOZOS

El objeto de la prueba fue obtener información sobre capacidad de infiltración del antepozo seleccionado.

Este se encuentra en Marquezado y forma parte de la red de antepozos construídos por el Departamento de Hidráulica de la Provincia.

El agua se obtuvo de un ramo que corre a unos 10 metros del pozo. La acequia conductora a éste fue realizada por dos obreros facilitados gentilmente por el Departamento de Hidráulica.

Ante la imposibilidad de conseguir algún tipo de cañería para bajarla al fondo del antepozo y medir los ascensos del agua por dentro de la misma, se determinaron los descensos de nivel una vez cortada ésta. La caída del chorro impide toda medición directa.

El caudal de entrada se midió con un vertedero triangular de 60°.

Fue nuestra intención limpiar el fondo del antepozo e inspeccionarlo en toda su longitud, pero inconvenientes de último momento con los "poceros" contratados, no hicieron posible esta operación.

Se realizaron dos ensayos. En el primero se suministró agua durante 12' y en el segundo durante una hora.

Las muestras de agua extraídas para su análisis físico, indican un contenido de material sólido en suspensión de 550 mg/litro. Este valor es sumamente alto para ensayos de este tipo, pudiéndose esperar un rápido taponamiento del fondo del antepozo.

### CARACTERISTICAS DEL ANTEPOZO

Profundidad:	55,90 metros
Diámetro:	1,20 metros
Sección:	1,130 metros cuadrados
Volumen de 1 m :	1.130 litros

RESULTADOS OBTENIDOS:

Se ha graficado la altura del agua en el antepozo en función del tiempo transcurrido desde el corte de la alimentación.

Es notable, en ambas curvas, la inflexión de éstas que se produce a pocos minutos después del corte. Aquí las alturas tienden a hacerse constantes y las velocidades de infiltración -dadas por la tangente a la curva en sus punto- a cero.

Es bastante posible que los niveles sean mantenidos por un flujo que entra lateralmente al antepozo por los poros del revestimiento de hormigón y proveniente de filtraciones superiores.

Que la velocidad tienda a anularse no quiere decir, por lo tanto, que el pozo no absorba agua, sino que el caudal infiltrado es igual al que entra al antepozo.

Es probable por lo dicho, que las partes más representativas de las curvas sean las iniciales y finales.

El gráfico de velocidad del pelo de agua ha sido obtenido con los valores de las tangentes a las curvas en distintos puntos.

En el ensayo N° 1 se ven con claridad 2 rectas, es decir variación lineal de la velocidad con la altura del agua. Una corresponde a la 1° rama de la curva y la otra, a la 2° ó parte final.

Como dijimos anteriormente, suponemos que en la parte final no existe flujo lateral y por lo tanto la recta de velocidad obtenida puede representar la variación de la velocidad con la carga. Esta recta responde a  $v = 17.H$ .

En el ensayo N° 2 aparece más o menos lo mismo. La recta de la 2° rama es casi horizontal y con velocidades mucho menores que en el anterior. Este retardo puede explicarse también por el flujo lateral y quizás por un taponamiento del fondo del antepozo.

CONCLUSIONES:

Suponiendo que los niveles de agua hubiesen estado estabilizados en los valores obtenidos al extrapolar las curvas de h en función de t, se tiene:

ENSAYO	ALTURA DE ESTAB. H.m.	Q litros/minuto	DURACION min.	Q/H	SECCION m <sup>2</sup> +	$\frac{Q}{H.S.} ; \frac{l}{m.m^2}$	VELOCIDAD cm/minuto
1	4	720	12	180	1,130	160	65
2	5	960	60	190	1,130	180	85

\* : Es seguro que la sección sea mayor dados los abundantes poros del hormigón.

Colocando los resultados de los rendimientos específicos en litros/hora metro, resulta:

ENSAYO	$\frac{Q}{H} \frac{l}{h/m}$	$\frac{Q}{H.S.} \frac{l}{h/metro/m^2}$
1	10.800	9.500
2	11.400	10.100

Los resultados obtenidos son muy alentadores y justifican continuar este tipo de pruebas.

Deben usarse cañerías de medición y limpiar e inspeccionar el antepozo.

La superficie filtrante puede fácilmente ser incrementada mediante un punzonamiento manual del revestimiento.

Un valor práctico de la capacidad de infiltración puede considerarse 10.000 l/H.m.m<sup>2</sup>.

- ① Ensayo 1 Q = 12 l/seg Duración 12'
- ② Ensayo 2 Q = 16 l/seg Duración 60'

### Recarga en antepozos

MARQUEZADO

23/2/70

Antepozo { Profundidad 55.90  
Diametro 1.20  
Sección 1.13 m<sup>2</sup>



Velocidad del agua  $\text{cm}/\text{minuto}$

Ensayo 1

$k=17 H$

Velocidad del agua  $\text{m}/\text{minutos}$

Ensayo 2

$k=17 H$

x Puntos 2<sup>a</sup> Rama  
• Puntos 1<sup>a</sup> Rama

