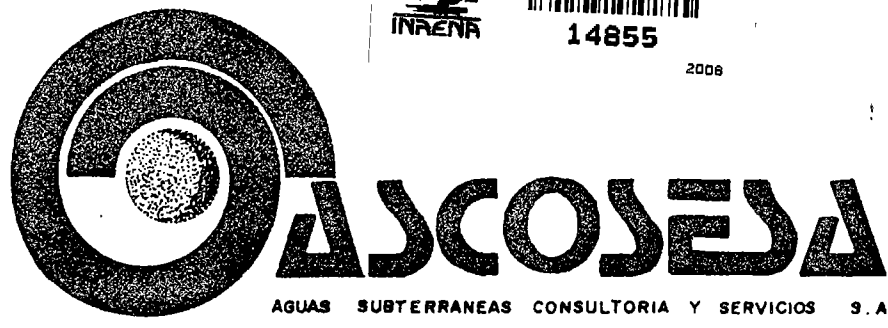
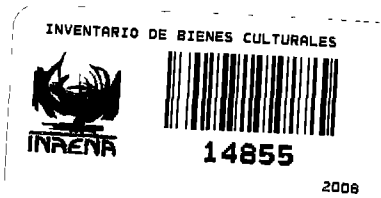


S-319



DIRECCION REGIONAL DE AGRICULTURA Y ALIMENTACION  
O R D E T A M

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO - PAMPAS DE LA YARADA  
Y HOSPICIO (TACNA)

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA VOLUMEN N° 3.

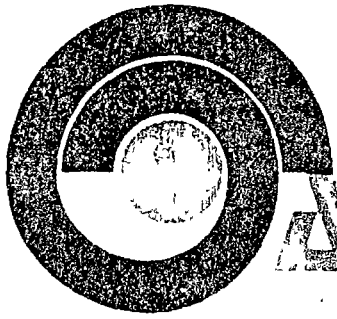


- MODELO MATEMATICO : PREPARACION, CALIBRACION Y SIMULACION.

LIMA 1980

PK 1591





ANEA  
SUA.T. N.

DIRECCION REGIONAL DE AGRICULTURA Y ALIMENTACION  
ORDETAM

SUBPROYECTO "Corte de la línea de agua"

REORDENAMIENTO RURAL

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO-PAMPAS DE LA YARADA  
Y HOSPICIO(TACNA)

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA  
VOLUMEN N°3



MODELO MATEMATICO: PREPARACION Y CALIBRACION Y SIMULACION.

Lima, Agosto de 1980



## MODELO MATEMATICO DEL VALLE

### CAPLINA

#### Objetivo

El objetivo de simular la napa acuífera del valle Caplina, mediante un modelo matemático es el de determinar de una manera aproximada, cual es la dinámica que dicha napa está siguiendo frente a las condiciones actuales de explotación, y cual sería su comportamiento futuro al ser sometida a nuevas explotaciones.

De esta manera, mediante la simulación de diferentes hipótesis de explotación, se podrá prever los riesgos de un agotamiento, y en especial el problema que ocasionaría la intrusión marina, si se rompen las condiciones de equilibrio que gobiernan la posición actual de la interfase marina.

#### Dominio del Acuífero a Simular

En una primera instancia el modelo había sido considerado para todo el acuífero del Caplina, es decir desde el litocal hasta los contrafuertes andinos en Calientes, pero las limitaciones de información básica, llevaron a desarrollar dicho modelo, en el dominio comprendido entre el alineamiento Cerro Magollo-Cerro de Molles (base inferior de la irrigación Magollo) y el litoral marino (ver lámina 13). Es en esta parte donde se quiere efectuar nuevas explo-

taciones para ampliar la frontera agrícola.

En lo que concierne al análisis de la amplitud del dominio en tercera dimensión, este ha sido realizado mediante la aplicación de las investigaciones geológicas, geofísicas y perforaciones exploratorias; las cuales actuando de manera complementaria han permitido una visión de conjunto de la naturaleza del acuífero, dejando definitivamente establecido la existencia de dos horizontes acuíferos, uno pertenecientes a las formaciones cuaternarias y otro constituido por la denominada formación Moquegua, cuyo origen se remonta a la edad del terciario.

Suplementando a toda esta información ha intervenido la hidrología, la climatología y el análisis geomorfológico, lo que ha permitido conocer cual ha sido la dinámica de transporte y acumulación experimentado por el material que constituyen dicho acuífero.

Los resultados finales han sido sintetizados mediante cartas que definen tanto la estructura, como el espesor del reservorio acuífero (ver lámina de la geología y geofísica ).

#### Información básica a utilizarse

Los diferentes parámetros hidrogeológicos que han intervenido en la constitución del modelo han sido obtenidos en su mayor parte, durante la última década, las piezometrías corresponden al período 1976 - 1979, las transmisividades y coeficientes de almacenamiento vienen obteniéndose desde 1970, las explotaciones del acuífero desde 1970, las explotaciones del acuífero desde 1971 y la informa-

ción geológica-geomorfológica, geofísica e hidrología ha sido obtenidas en forma fragmentaria en los últimos 30 años.

En cuanto a la homogeneidad de la información, los análisis efectuados mediante la graficación de sus valores históricos han demostrado que los datos (piezometría, escorrentía superficial, explotación del acuífero) no presentan anomalías significativas, por lo que no ha sido necesario efectuar correcciones de sus series históricas.

En cambio, en lo que concierne a transmisividades y coeficientes de almacenamiento no se puede decir lo mismo, debido a la poca información obtenida y a la gran variabilidad de valores, habiendo dado lugar a reinterpretaciones de los bombeos de pruebas realizadas, esto con la finalidad de lograr una cierta coherencia en los valores que intervienen en el modelo.

### Piezometría

El valle del Caplina, tiene en la actualidad 71 pozos en funcionamiento, de los cuales más del 90% se encuentran ubicados en las Pampas de la Yarada, Pampas de Hospicio y Asentamientos N°s. 3, 4, 5 y 6. De los cuales un conjunto de 32 pozos han sido tomados como representativos para el control piezométrico, en los que se viene realizando observaciones permanentes desde el año 1976, cuyos valores se presentan en las figuras de la lámina 13, los valores en el anexo

En base a esta información ha sido confeccionado tanto los diagramas piezométricos (lámina 14 ), así como las cartas de hidroisohipsas anuales correspondientes al período 1976 - 1979 . Sin embargo, después de efectuar los análisis sobre la precisión de la distribución piezométrica en el espacio acuífero, se seleccionó como las más representativas a las cartas correspondientes a los dos últimos años (lámina 15 ).

De estas cartas se desprende que la gradiente dominante del acuífero del río Caplina oscila alrededor del 1.5% presentando sus mayores depresiones en el sector S O donde hay la mayor cantidad de pozos, observándose que la curva piezométrica de menor valor (5 m) se adentra más allá de los 5 Kms. al interior de la pampa.

R.R.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



#### Isoprofundidad del nivel freático


Con el fin de mostrar la representación espacial de la profundidad del nivel freático, se ha preparado una carta de isoprofundidad para el año 1979 (lámina 16), la información utilizada (cuadros - Anexo 1 ) corresponden a los 32 pozos de observación de los cuales se dispone las cotas tanto del terreno como de la napa acuífera.

La simple diferencia de estas cotas proporciona la profundidad del nivel freático.

#### Techo del Acuífero

El techo del acuífero está constituido por la superficie de la napa freática y ello está definido por la carta de hidroisohipsas que indican su morfología y por las cartas de isoprofundidad que indican su posición bajo la superficie del suelo (ver lámina 15 y 16). Cabe sin embargo, señalar que al haberse confirmado la existencia de un acuífero semiconfinado, compuesto por la formación Moquegua, se tendría que considerar separadamente el correspondiente techo del acuífero, el cual coincidiría con el nivel superior de dicha formación (ver lámina de la geología estructural GE - 4).

#### Base del Acuífero

  
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Al haber distinguido dos acuíferos, uno superficial o libre, organizado dentro de las formaciones cuaternarias y otro, "Semiconfinado", organizado dentro de la formación Moquegua, se tendrá que considerar separadamente las bases o basamento sobre los cuales reposan ambos acuíferos. Por el caso del acuífero superficial, el basamento corresponde al nivel superior de la formación Huaylillas la cual según los sondeos geofísicos y las perforaciones exploratorias es impermeable. La morfología de este basamento se distingue detalladamente en la lámina geología estructural GE - 5.

Nc

En lo que concierne al acuífero de la formación Moquegua, el basamento corresponde al límite superior de la formación Guanceros (ver lámina geología estructural GE - 5)

### Espesor Util del Reservorio Acuifero

La explotación actual de aguas subterráneas en el Caplina, concierne casi totalmente al acuífero superficial.

El acuífero de la formación Moquegua si bien ha sido detectado, hasta ahora no se conoce su grado de intercambio hidráulico. Por lo tanto, el espesor útil hasta el presente es el que concierne al acuífero superficial. Para la determinación precisa de este espesor, basta diferenciar la cota del techo y de la base del acuífero.

Los resultados así obtenidos, señalan espesores de 10 a 30 m en la parte superior de la pampa de la Yarada, de 30 a 50 m en la parte media y de 50 a 100 m en la base inferior.

R.R.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



En cuanto a la formación Moquegua, los espesores estimados, según las perforaciones exploratorias y la geofísica van de 30 a 200 m. (ver lámina de la geología estructural GE - 4 y GE - 5).

### Transmisividades

Las transmisividades más frecuentes, obtenidas mediante más de 40 bombeos de prueba (cuadro I.10), se ubican de la siguiente manera :

Aproximadamente 14 valores obtenidos oscilan alrededor de  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg}$ , el resto se reparte entre 2, 3, 5 por  $10^{-2}$  y en muy pocos casos descienden al nivel  $10^{-3}$  ó  $10^{-4}$ .



Esto indicaría según los rangos establecidos, que el material acuífero está comprendido mayormente entre materiales de granulometría media, es decir arenas y limos gruesos. Debe remarcar también que la distribución espacial de estas transmisividades es bastante heterogénea, ello posiblemente se debe a que el origen de los materiales del reservorio acuífero, pertenece a diferentes procesos de transporte y acumulación.

#### Coefficiente de Almacenamiento

Se cuenta con 8 valores de coeficiente de almacenamiento cuyo rango es de 0.3% a 6% (cuadro HD<sub>1</sub>), que en su mayoría están ubicados en el sector nor-oeste de la pampa de la Yarada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



#### Esquemmatización del Acuifero

El exámen de las cartas representativas de la estructura del reservorio acuífero, señalan la presencia de dos capas (ver lámina geología estructural GE-2), una que concierne al acuifero superficial, y la otra a la formación Moquegua. Ambas capas acuiferas están separadas por la formación Huayllillas de naturaleza impermeable. En el interior de ambas formaciones permeables no se han destacado otras del tipo lenticular. Si bien existen, son probablemente de pequeña magnitud, lo cual no altera el tratamiento en conjunto del acuifero. Por lo tanto, para satisfacer los requerimientos de la simulación que será aplicada solo al acuifero libre, se adaptará la representación monocapa. Y solo en el futuro, cuando se alcance un conocimiento

completo de la interconexión hidráulica con la formación Moquegua se planteará una simulación multicapa.

### Esquematación hidráulica

El acuífero del Caplina, tratado en su conjunto, es decir, incluyendo la formación Moquegua, plantea un esquema hidráulico que se define de la siguiente manera: La presencia por un lado, del acuífero libre de formación cuaternaria, cuya dinámica está estrictamente relacionada con la hidrología de superficie, y por otro lado la existencia del acuífero semiconfinado de la formación Moquegua, el cual es considerada de tipo regional y que posiblemente en gran parte sus aguas sean del tipo fósil, cuyo origen se remonte a los períodos pluviosos ocurridos durante el inicio del cuaternario.

Como quiera que la ~~simulación matemática~~, estará dirigida sólo al acuífero libre o superficial, la esquematización hidráulica se orientará a definir de manera más específica las características del ciclo hidrológico de este acuífero, para lo cual se tendrá que señalar no solo las características del escurrimiento subterráneo, sino cual es su origen y cómo y en qué magnitud ocurren sus emisiones, sin embargo, antes de definir en términos cuantitativos la magnitud de estos parámetros, conviene aclarar que su cálculo sólo será referido al dominio acuífero señalado anteriormente, es decir al sector ubicado entre la base de la irrigación Magollo y el Litoral Marino ( ver lámina 13 ).

### Alimentación y Explotación en el Area de Simulación

La alimentación estimada mediante el proceso del balance de la napa acuífera, es la que interviene para el proceso de simulación matemática. Sin embargo es conveniente aclarar que esta alimentación ha sido calculada para todo el acuífero del Caplina, por consiguiente siendo el área de simulación más pequeña podría pensarse de que la alimentación que interviene en la simulación está siendo sobreestimada, a lo cual se responde señalando, que fuera del área de simulación no hay un consumo significativo de dicha alimentación. Si bien existen 1 o 2 pozos localizados en el área no simulada, que comprende al sector acuífero ubicado sobre el alineamiento cerro Molles - cerro Magollo; la explotación de estos pozos no supera los 100 lts/seg, (pozos ubicados en las inmediaciones de Tacna). Valor que es a su vez contrarrestado por la infiltración que se produce por la reutilización en agricultura de aguas dotadas para el uso doméstico-industrial. Es por ello que se ha decidido trabajar con la alimentación calculada para todo el acuífero.

R. R.

En cuanto a la repartición espacial de esta alimentación, se ha considerado según la discretización del acuífero, que en lo que concierne a los valores ocurridos aguas arriba del alineamiento cerro Molles-cerro Magollo, estos son interceptados íntegramente por las mallas acuíferas 3, 4 recibiendo cada una el 50% ( ver anexo mod-2 ). En lo que respecta a la alimentación, que ocurre como consecuencia de la infiltración de las aguas subterráneas utilizadas en la irrigación, y que en un 100% se producen dentro del área de simulación, esta no aparece distribuida en el mallaje por la sencilla razón de que esta es una parte de la explotación que retorna al acuífero, por lo tanto solo se coloca en las mallas, la explotación absoluta

ta, es decir aquella que se utiliza para satisfacer el uso consumitivo de los cultivos, que como bien se mencionó en el balance de la napa acuifera, corresponde al 50% de la explotación o descarga del pozo. La repartición cuantitativa de la explotación, por mallas se muestra igualmente en el mismo anexo, con signo negativo.

Tambien se remarca que en la alimentación al área de simulación no se consideran los aportes de las quebradas laterales, porque al no existir indicios de escorrentía superficial en estos últimos años, menor es aún la posibilidad de una escorrentía subterránea significativa. }

Tambien se remarca, que no se considera un flujo de agua hacia el mar dado ~~x~~ que a nivel del litoral se presenta la interfase marina que viene a ser una zona de equilibrio hidrostática entre el agua dulce y el agua salada y como bien se observa en las cartas hidroisohipsas, la gradiente hidráulica a nivel del mar es nula, por lo tanto el movimiento de agua no se produce.

#### Esquemmatización Matemática

La simulación matemática se realiza mediante el empleo de la ecuación general del flujo en medio poroso que se conoce con el nombre de ecuación de la difusividad, esta ecuación (Exp. 1) es resuelta aplicando el método de las diferencias finitas con el auxilio del cómputo electrónico.



$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} + q$$

$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}, \frac{\partial h}{\partial t}$  : Derivados parciales

- S : Coeficiente de almacenamiento
- T : Transmisividad
- Q : Recarga o explotación
- h : Altura piezométrica

Los métodos de integración de ecuaciones con derivados parciales más conocidos, asumen que se emplea una división del espacio en forma uniforme. Frecuentemente ocurre que se emplean mallas rectangulares para la integración de las ecuaciones que gobiernan el flujo de agua subterránea. Esta técnica tiene la ventaja de ser relativamente fácil de programar y permite una mayor sofisticación para el análisis bidimensional y tridimensional de acuíferos, requiriéndose además para ello grandes volúmenes de información confiable que permitan hacer una calibración aceptable del modelo. Presenta además las dificultades de complicarse al tener que considerar condiciones de borde irregulares, así como requiere de simplificaciones e interpolaciones para tomar en cuenta la distribución arbitraria de los pozos en el acuífero en condiciones naturales.

En cambio el empleo de polígonos de cualquier número de lados para la discretización del acuífero, permite resolver en forma relativamente sencilla los problemas de condiciones de borde

irregulares, distribución arbitraria de los pozos y reducción en el esfuerzo de cómputo. La información que se requiere es también básicamente la que se obtiene en el campo por medio de pruebas de bombeo, sondeos geofísicos e investigaciones geológicas.

Cada polígono estará definido por el número de caras, la longitud de cada cara, el área y la profundidad del acuífero.

Los parámetros hidrodinámicos transmisividad y almacenamiento (S y T) específicos pueden considerarse fácilmente. El almacenamiento específico se asigna independientemente a cada polígono mientras que las transmisividades se asignan a cada cara.

Por lo tanto, la ecuación (1) se puede discretizar y escribir para cada pozo o polígono de la siguiente manera :

$$\sum_i^t (h_i^t - h_k^{t+1}) y_{ik} = \frac{A_k S_k}{\Delta t} (h_k^{t+1} - h_k^t) \pm A_k Q_k^{t+1}$$

$$\text{donde : } y_{ik} = \frac{J_k}{L} \approx \frac{J T}{L b}$$

El significado de las variables es :

$h_K$	:	Altura piezométrica
$A_K$	:	Area
$S_K$	:	Almacenamiento específico
$Q_K^{t+1}$	:	Recarga o explotación
$T$	:	Transmisividad
$J$	:	Longitud de la cara del polígono
$b$	:	Altura del tirante de agua respecto al fondo del acuífero.
$L$	:	Distancia entre pozos adyacentes.

El método de solución empleado es el implícito, a fin de evitar problemas de convergencia en la solución. Para cada período se resuelve un sistema de ecuaciones simultáneas, siendo el número de ecuaciones igual al número de pozos o polígonos considerados. La estructura de la matriz de coeficientes tiene la diagonal dominante, aspecto que resulta ser muy importante para lograr la aplicación de técnicas altamente eficientes para la solución de ecuaciones simultáneas.

#### Estructura del Modelo

El modelo consta de dos partes que son : un programa principal y una subrutina. El programa principal lee los datos, construye la matriz del sistema de ecuaciones lineales para cada período de análisis, interpreta los resultados de la solución del sistema de ecuaciones y escribe resultados. La subrutina resuelve el sistema de ecuaciones, evaluando siempre que la solución al mismo sea factible.

## Calibración del Modelo Matemático

La calibración del modelo se ha realizado en regímenes transitorios a nivel mensual para el año 1979, para ello se ha simulado el comportamiento de la napa acuífera seguido en el campo durante el período Enero-Noviembre del año 1979, Período en el cual se dispone de la mayor cantidad de información piezométrica. Para tal efecto se tomó, como punto de comparación las piezometrías de campo asignadas a cada polígono y las piezometrías calculadas por el modelo para dicho período.

Así, una primera simulación a régimen transitorio se realizó para las condiciones más favorables en lo que se refiere a disponibilidad de datos hidrogeológicos asignados a cada elemento de la discretización.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



Por lo tanto, teniendo en cuenta las piezometrías asignadas en base a la carta de hidroisohipsas de Diciembre - 78 y asignando igualmente las transmisividades y coeficientes de almacenamiento; se simuló el comportamiento de la napa acuífera para el mes de Enero-79, de la comparación de las piezometrías de campo asignadas y la calculada por el modelo para cada uno de los elementos de la discretización, se observó significativas diferencias en sus valores, por lo cual se procedió a modificar cuidadosamente las transmisividades y coeficientes de almacenamiento, así las mayores modificaciones se realizaron en los polígonos donde se impuso valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, con base a los valores en polígonos con datos de campo.



Asociación ?

El cuadro Cal-1 muestra resultados de las simulaciones cuyos valores de piezometría calculada (HF-calculada) son diferentes. La simulación A, es una de las primeras realizadas y la simulación B es la óptima para este período, de la comparación de sus resultados de piezometría calculada por el modelo y la de campo se aprecia el grado de calibración que pudo alcanzarse.

El rango de aproximación en la simulación B, es de 0.5 a 5m, rango considerado como aceptable teniendo en cuenta las deficiencias de información básica.

Una vez alcanzada la calibración para Enero-79, se simuló el comportamiento de la napa acuífera para el período restante, teniendo como datos constantes los coeficientes de almacenamiento y transmisividades con las cuales se logra la calibración para Enero 79 a Noviembre-79 se observan diferencias entre los valores de piezometría calculada por el modelo y la asignada a cada polígono, por lo cual se modificarán levemente los caudales de explotación y alimentación dados originalmente. Este ajuste de los caudales de explotación se justifica ya que estos fueron obtenidos de forma indirecta a partir de registros de consumo de energía eléctrica, así mismo la modificación leve y en sentido positivo de los caudales de alimentación se ha hecho teniendo en cuenta que algunos flujos provenientes de las infiltraciones en los lechos de los ríos durante los años 1976-79 estarían incrementando la alimentación señalada en el balance. Los cuadros del 1 al 22 del anexo mod-2 muestran las piezometrías calculadas por el modelo para cada uno de los períodos considerados.

Los cuadros Cal-2, 3 resumen las piezometrías calculadas y las de campo asignadas a cada elemento de la discretización, es en base a estos resultados que se han elaborado los hidrogramas de la lámina N<sup>o</sup> 17 en los cuales se muestra la comparación de las piezometrías de campo y las calculadas por el modelo.

De la misma forma en la lámina 18 se muestra el grado de calibración obtenida, se comparan las piezometrías promedio anual calculadas por el modelo y las piezometrías promedio anual de campo para el año 1979.

#### Simulación de las Hipótesis de Explotación

Las simulaciones de las nuevas hipótesis de explotación se realizarán a régimen transitorio, con el objeto de conocer el comportamiento del acuífero a través del tiempo, en referencia a las condiciones que tuvo para el año 1979, a los que se llegaron a partir de la calibración del modelo matemático a régimen transitorio para el acuífero del Valle Caplina.

Este estudio se realizó con la finalidad de conocer las posibilidades de aumentar la explotación en el futuro, sin correr el riesgo de deprimir la napa hasta niveles peligrosos que conllevan a producir el fenómeno de intrusión marina y también un posible agotamiento de las reservas del acuífero.

Los nuevos caudales de explotación serán implantados en el orden siguiente : 500 lt/seg (1980), 250 lt/seg (1982), 500 lt/seg (1983), 250 lt/seg (1985), 500 lt/seg (1987), correspondiente a los asentamientos N<sup>os</sup>. 5 y 6, x, y, z respectivamente.

CUADRO CAL. N°1

ETAPAS DE LA SIMULACION-ENERGIA-1979

N° DE PO-LIGONO	PIEZOMETRIA-ASIGNADA (M. S. N. M.)	SIMULACION N°1 H FINAL-CALCULADA (M. S. N. M.)	SIMULACION N°2 H FINAL-CALCULADA (M. S. N. M.)
1	145.00	139.32	145.84
2	144.00	136.61	143.16
3	145.00	141.61	145.45
4	103.40	102.47	103.77
5	82.10	79.65	82.94
6	80.80	78.71	80.90
7	71.00	70.66	71.85
8	70.00	69.51	70.09
9	67.89	64.81	67.81
10	56.50	56.52	56.63
11	47.00	35.42	47.18
12	40.00	39.09	40.29
13	37.50	40.16	37.90
14	25.00	36.35	25.58
15	34.20	35.60	34.42
16	36.00	36.75	36.54
17	32.00	26.10	32.16
18	27.40	27.34	27.42
19	22.00	28.95	22.65
20	17.00	18.56	17.16
21	16.80	20.42	17.23
22	15.20	20.69	15.27
23	19.00	21.52	19.74
24	21.00	19.89	21.19
25	19.19	17.83	19.29
26	16.00	15.19	16.79
27	3.50	4.72	3.87
28	4.50	6.05	4.75
29	8.10	9.75	8.20
30	7.50	5.23	7.43
31	11.50	10.78	12.07
32	12.50	10.67	12.33
33	11.50	6.54	11.65
34	1.50	2.49	1.85
35	2.00	5.14	1.72
36	3.50	7.22	3.55
37	5.00	7.58	5.70
38	2.80	8.54	2.19
39	3.50	6.77	3.74
40	3.00	7.11	3.00

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



CUADRO CAL 2

PIEZOMETRIA MENSUAL (m.s.n.m.) ASIGNADA A CADA POLIGONO OBTENIDO A PARTIR DE LAS CARTAS DE HIDROISOBARIAS PARA 1979.

N° de Poligono	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N
1	145.02	141.34	139.89	144.07	141.00	140.00	146.24	145.00	144.00	145.00	145.00
2	144.00	140.00	140.00	142.00	140.00	140.00	146.00	146.00	145.50	145.20	145.00
3	145.00	145.00	144.50	144.00	144.20	144.10	143.87	143.80	143.90	143.00	143.00
4	103.40	108.00	108.00	106.24	106.50	105.50	104.10	104.00	103.10	101.27	100.00
5	82.10	82.00	82.30	82.20	82.10	82.19	82.40	83.00	83.00	83.00	83.00
6	80.80	80.60	80.50	90.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
7	71.00	69.40	68.00	67.00	67.00	66.88	65.60	65.00	64.00	63.80	62.80
8	70.00	67.50	67.50	67.50	67.50	67.50	66.90	66.30	65.50	64.50	63.50
9	67.89	62.30	68.20	68.10	68.40	68.40	69.80	69.70	69.50	68.50	67.50
10	56.50	56.50	55.90	55.50	55.50	55.90	56.00	56.50	67.40	57.10	57.00
11	47.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	51.00	51.00	51.30
12	40.00	41.00	41.20	41.10	41.50	40.20	41.00	41.80	41.50	41.50	41.50
13	37.50	39.50	37.50	38.50	38.40	31.00	30.90	30.40	30.40	30.20	30.20
14	25.00	34.00	31.00	30.80	30.60	30.10	30.10	30.10	30.50	30.80	31.00
15	34.20	35.80	35.60	35.40	35.35	35.30	35.20	35.20	35.20	35.30	35.10
16	36.00	36.80	36.40	37.00	36.90	36.90	36.90	36.90	36.80	36.60	36.40
17	32.00	33.00	33.90	33.80	33.90	33.60	33.40	33.40	33.30	33.20	33.00
18	27.40	28.00	28.10	28.00	28.10	28.00	28.00	28.00	20.00	21.00	21.00
19	22.00	25.00	23.50	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
20	17.00	16.50	16.30	17.00	17.00	17.00	18.50	19.00	19.50	19.60	16.40
21	16.80	16.70	16.70	16.70	16.90	16.80	17.00	16.80	16.95	16.95	16.00
22	15.20	15.90	15.80	15.70	15.75	15.60	15.50	15.40	15.40	15.40	15.40
23	19.00	19.00	18.90	18.30	18.00	18.00	17.50	17.40	17.40	17.50	17.70
24	21.00	20.00	20.10	20.10	20.60	20.70	20.40	20.40	20.50	20.40	20.40
25	19.19	19.00	19.00	18.50	18.40	17.70	17.50	17.50	17.20	17.20	17.30
26	16.00	15.40	15.40	14.50	14.60	14.30	14.90	14.70	14.00	15.00	16.00
27	3.50	2.40	2.40	2.00	2.40	2.20	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
28	4.50	4.50	4.50	4.40	4.40	4.40	4.50	4.40	4.30	4.20	4.10
29	8.10	8.70	8.80	8.90	8.70	8.60	8.50	8.40	8.30	8.40	8.50
30	7.50	7.50	7.50	7.50	7.60	7.50	7.50	7.40	7.30	7.20	7.00
31	11.50	11.40	11.60	11.50	11.30	11.50	11.50	11.70	11.60	11.60	11.70
32	12.50	12.50	12.50	13.60	13.50	13.48	13.50	13.50	13.50	13.60	13.50
33	11.50	11.50	11.50	11.40	11.30	11.80	11.70	11.50	11.40	11.35	11.30
34	1.50	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50
35	2.00	1.80	2.00	1.90	1.95	1.90	1.90	1.80	1.80	2.30	2.30
36	3.50	3.40	3.50	3.40	3.30	3.40	3.30	3.40	4.00	4.40	4.10
37	5.30	5.20	5.30	5.50	5.40	5.30	5.80	5.70	5.80	5.70	5.60
38	2.80	2.70	2.60	2.60	2.65	2.59	2.50	2.40	2.40	2.50	2.50
39	3.50	3.40	3.45	3.40	3.35	3.30	3.40	3.45	3.40	3.30	3.25
40	3.30	3.25	3.30	3.25	3.40	3.85	3.30	3.40	3.35	3.35	3.40

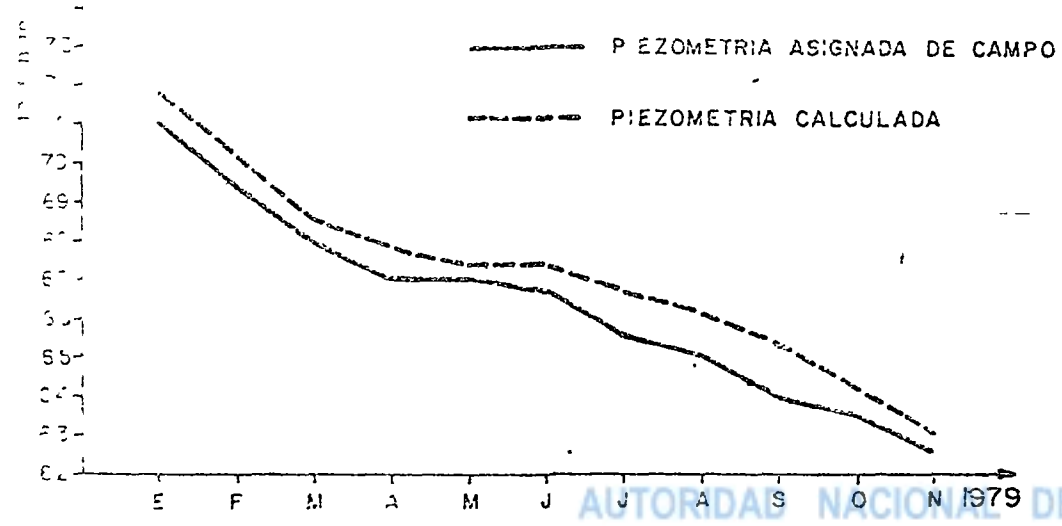
CUADRO CAL 3

PIEZOMETRIA MENSUAL CALCULADA POR EL MODELO MATEMATICO PARA CADA UNA DE LAS MALLAS  
PARA EL AÑO 1979.

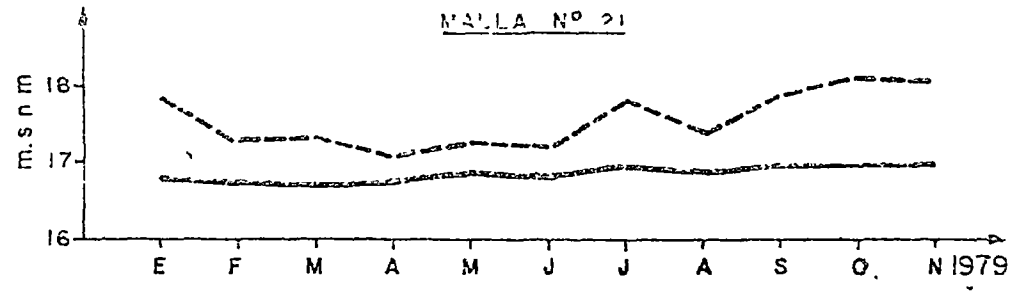
# de Poligono	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	145.84	141.92	140.23	144.69	141.27	148.00	147.88	145.92	149.12	146.44	147.88
2	143.38	140.90	140.64	144.98	140.89	147.49	144.54	142.07	146.84	147.56	145.56
3	145.45	148.78	148.27	143.42	147.06	144.38	141.98	143.29	145.46	145.91	144.55
4	103.77	108.12	108.12	106.93	106.64	105.48	104.79	104.16	103.28	101.71	100.93
5	82.94	82.87	87.54	82.11	82.15	82.71	83.35	85.12	84.79	84.11	83.50
6	80.90	80.77	81.71	82.03	81.78	81.52	81.29	81.12	80.92	80.50	79.99
7	71.85	70.12	68.45	67.94	67.73	66.61	66.85	65.18	65.41	64.38	63.23
8	70.09	63.87	67.75	67.80	67.76	67.75	66.96	66.48	65.81	64.72	63.63
9	67.89	68.42	68.48	68.71	68.68	68.76	70.43	70.21	69.81	68.55	67.71
10	56.63	56.93	55.99	55.89	55.67	56.17	56.44	56.61	57.60	57.12	57.57
11	47.18	50.07	50.79	50.56	50.55	49.37	49.00	51.57	57.87	51.76	52.33
12	40.29	41.28	41.64	41.44	41.66	40.59	41.38	42.16	42.61	42.69	42.29
13	37.90	39.75	37.88	38.91	38.01	31.00	30.97	30.48	40.17	31.61	31.77
14	25.58	34.96	31.17	30.86	30.65	30.11	30.24	30.77	36.15	35.28	34.13
15	34.42	35.40	35.77	35.84	35.69	35.91	35.99	35.59	39.57	37.11	37.07
16	36.54	37.48	37.82	37.53	37.75	37.79	37.63	37.24	37.57	36.78	36.33
17	32.18	33.05	35.99	35.67	35.94	35.02	35.07	35.01	35.57	35.49	35.07
18	27.42	28.16	28.53	28.14	28.50	28.68	29.89	29.27	20.84	21.07	21.29
19	22.85	27.25	23.06	24.68	24.12	24.39	25.87	25.79	26.12	27.34	29.69
20	17.18	16.76	16.40	17.24	17.39	17.39	18.87	19.23	20.56	20.81	20.54
21	17.93	13.71	17.14	17.09	17.24	17.37	17.88	17.48	17.89	18.11	18.07
22	15.27	16.84	16.17	16.44	16.69	16.91	16.05	16.05	16.87	16.25	16.51
23	19.74	19.17	18.94	18.42	18.09	17.46	17.47	17.07	17.45	18.18	18.83
24	21.19	20.13	20.61	20.15	20.33	20.53	20.95	20.06	20.65	20.87	20.46
25	19.29	19.40	19.54	18.11	18.43	17.65	17.07	17.76	17.23	18.63	18.73
26	16.79	15.57	15.47	14.46	14.91	14.18	14.90	14.72	14.06	15.21	21.87
27	3.87	2.45	2.70	2.07	2.44	2.22	2.88	2.08	2.63	2.28	2.71
28	4.75	4.64	6.38	4.19	4.05	4.83	4.61	4.33	4.01	4.65	4.13
29	8.20	8.91	9.96	8.99	8.02	8.04	8.08	8.98	8.66	8.30	8.62
30	7.43	7.31	7.39	7.55	7.69	7.88	7.33	7.01	7.06	6.94	6.27
31	12.07	12.07	12.44	12.82	12.06	12.23	12.54	12.70	12.39	12.01	12.88
32	12.83	12.66	12.71	15.27	15.53	15.57	15.91	15.39	15.15	16.72	16.74
33	11.65	11.82	12.65	12.87	12.99	12.60	12.81	12.98	12.58	11.04	10.83
34	1.55	1.49	1.23	1.25	1.20	1.18	1.03	1.13	1.49	2.01	2.24
35	1.72	1.50	1.63	1.16	1.64	1.22	1.17	1.16	1.39	2.04	2.55
36	3.55	3.49	3.90	3.80	3.56	3.86	5.27	5.73	6.23	6.76	7.26
37	5.50	5.47	5.73	7.51	5.46	5.21	6.40	6.09	6.96	6.80	6.76
38	2.10	2.16	2.24	2.32	2.41	2.49	2.60	2.69	2.74	2.75	2.54
39	2.34	2.30	2.04	4.95	2.89	2.83	2.81	2.82	2.82	2.79	2.66
40	3.36	3.30	3.99	3.91	3.85	3.78	3.75	3.79	3.80	3.76	3.51

# CALIBRACION DEL MODELO A REGIMEN TRANSITORIO - AÑO 1979

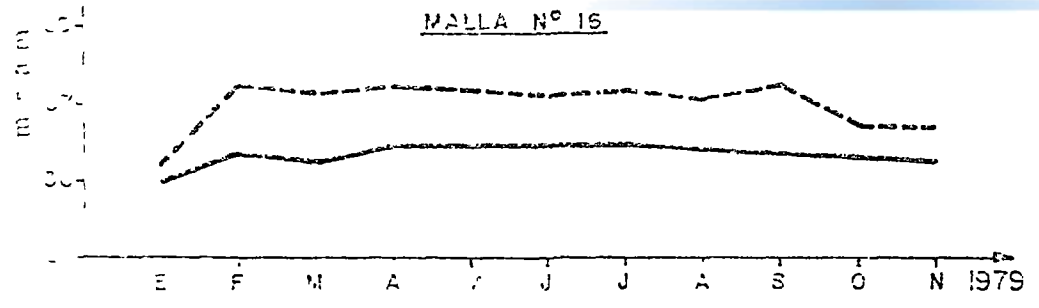
MALLA N° 7



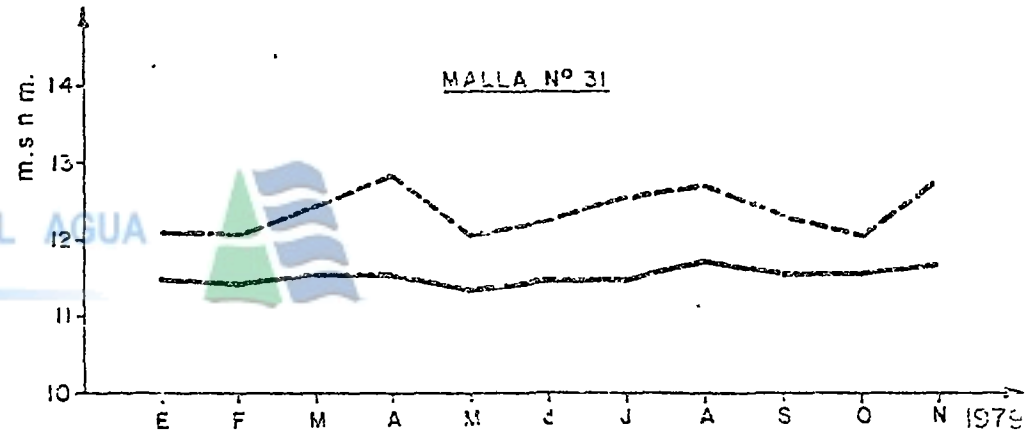
MALLA N° 21



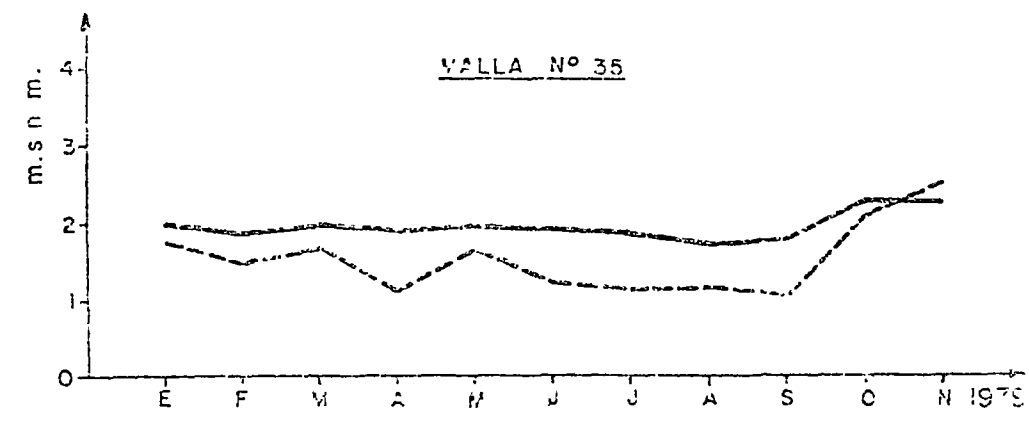
MALLA N° 15



MALLA N° 31



MALLA N° 35



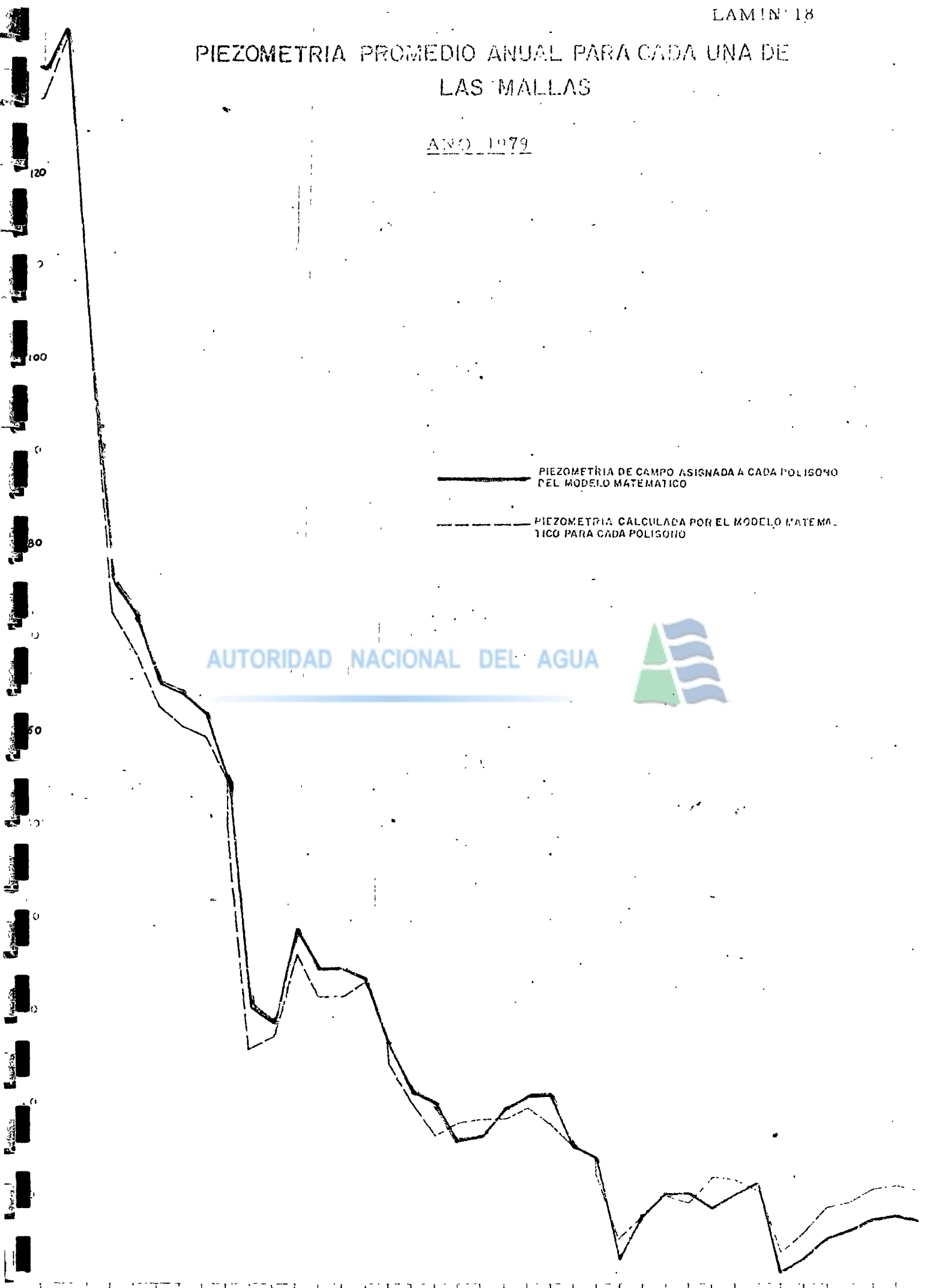
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

# PIEZOMETRIA PROMEDIO ANUAL PARA CADA UNA DE LAS MALLAS

AÑO 1979

— PIEZOMETRIA DE CAMPO ASIGNADA A CADA POLIGONO DEL MODELO MATEMATICO  
- - - PIEZOMETRIA CALCULADA POR EL MODELO MATEMATICO PARA CADA POLIGONO

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



El incremento total de caudal a explotarse es de 2000 lt/seg entre 1930 a 2000, tiempo en el cual entrarían en ejecución cada una de las cinco hipótesis de explotación.

El cuadro M<sub>1</sub>, muestra un resumen de cada una de las hipótesis a simularse.

#### Hipótesis de Explotación N° 1

La primera hipótesis consiste en incrementar la explotación del acuífero en 500 lt/seg, correspondiente a los requerimientos de los asentamientos N°s 5 y 6, este incremento se efectuó para el año 1980, siendo el volúmen anual correspondiente de 15'768 millones de metros cúbicos.

R.R.

El incremento de explotación ha sido distribuido en los polígonos 15 y 16 por que en ellas se produciría efectos significativos por involucrar a los asentamientos a sobre explotarse.

En base a los caudales de explotación correspondientes a 1979 y los 500lt/seg adicionales se ha calculado la piezometría de cada uno de los polígonos para los años 1981 a 2000, inclusive estos resultados se consignan en los cuadros N°s H1-81 al H1-2000-1 (anexo Mod-3)

Se ha tomado mayor interés por observar las zonas donde existen asentamientos y explotación actual, es decir los asentamientos N°s 5 y 6, la parte baja (litoral) y norte-baja del valle Copalana.



Para este efecto se han tomado como referencia los polígonos que involucran estas zonas (ver lámina N° 19) para ver el descenso del nivel piezométrico, en el período considerado.

#### Lámina N°20

Los máximos rebatimientos puntuales ocurridos en estas zonas son de 0.30 a 12.68 m., habiendo ocurrido los máximos valores en la zona donde se ha incrementado la explotación, ver cuadro M<sub>2</sub>.

#### Hipótesis de Explotación N° 2

La hipótesis N° 2 consiste en estudiar el comportamiento del acuífero sometido a una explotación adicional de 750 lt/seg, respecto a la explotación existente para el año 1979, en este incremento de caudal están comprendidos el incremento correspondiente a la primera hipótesis 500 lt/seg (asentamientos N°s. 5 y 6) y el caudal restante de 250 lt/seg corresponde al incremento de explotación perteneciente al asentamiento N° 4.

El incremento de 250 lt/seg, será para 1982, año que se prevé que se hará efecto este incremento de explotación.

El caudal incrementado, 250 lt/seg ha sido distribuido en la malla N° 14, que es la que involucra al asentamiento N° 4, ver lámina N° 19. Se han calculado los valores de piezometría en todas las mallas que comprende el modelo, para el período

comprendido en el año 1980 al 2000 inclusive, ver cuadros N°s H2-81 al N° H2-2000-1 (anexo Mod-4)

Las mallas que involucran asentamientos ya existentes y zonas de explotación actual, han sido analizadas, encontrándose un descenso de piezometría en el orden de 0.83 a 14.29 metros para el período simulado. Ver cuadro M<sub>3</sub>.

La lámina N°20 muestra el régimen de variabilidad de los niveles piezométricos, para el período simulado, de las mallas N°s 14, 15, 16 y 34.

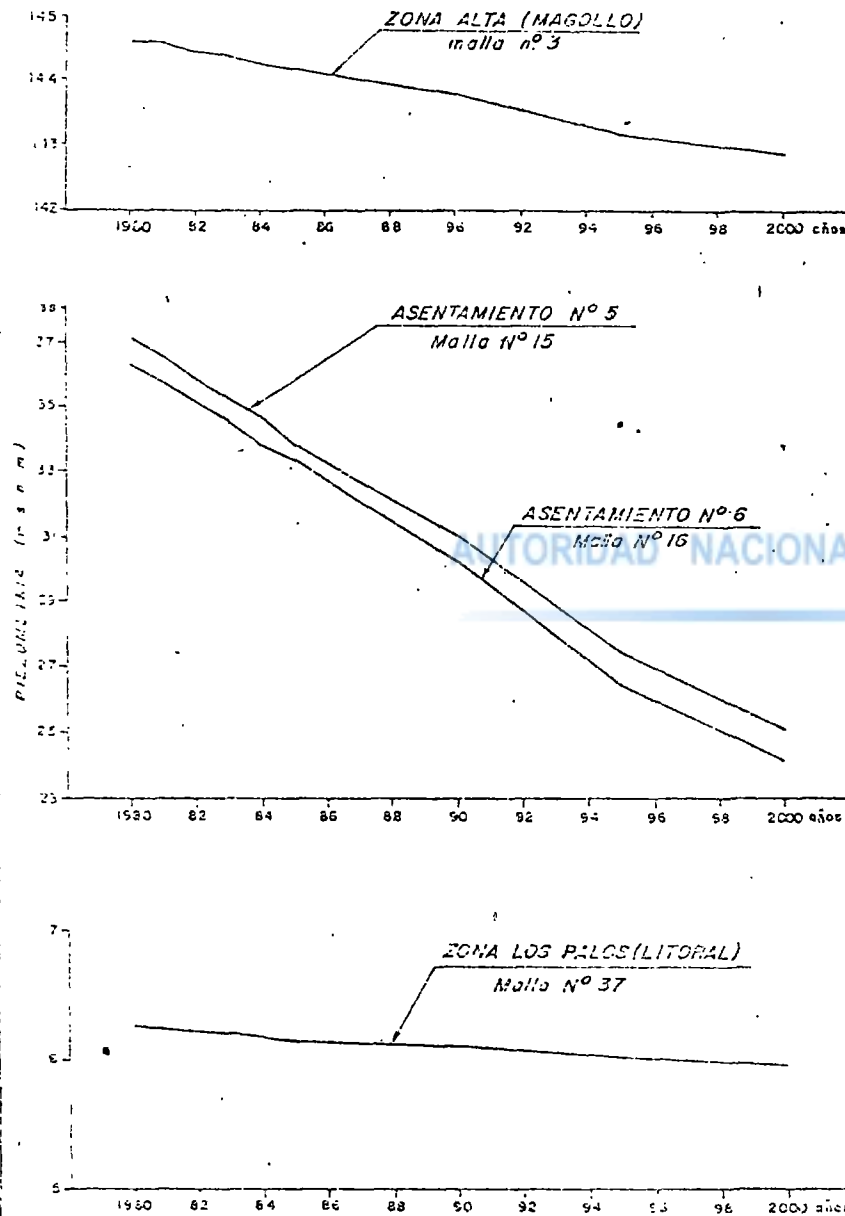
#### Hipótesis de Explotación N° 3

La presente hipótesis considera el estudio del comportamiento del acuífero, sometido a una explotación adicional de 1250 lt/seg, respecto a la explotación existente para el año 1979, se debe tener presente que esta hipótesis involucra los caudales incrementados por la primera hipótesis 500 lt/seg (Asentamientos N°s 5 y 6) segunda hipótesis 250 lt/seg (Asentamiento N° 4) y los 500 lt/seg restantes (hipótesis 3) que sirven los requerimientos de agua para un asentamiento denominado "x" de dimensiones análogas a los asentamientos N°s 5 y 6, ubicado al norte de los pozos 75, 71 y 74.

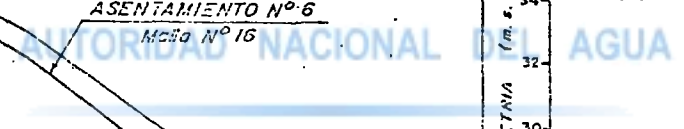
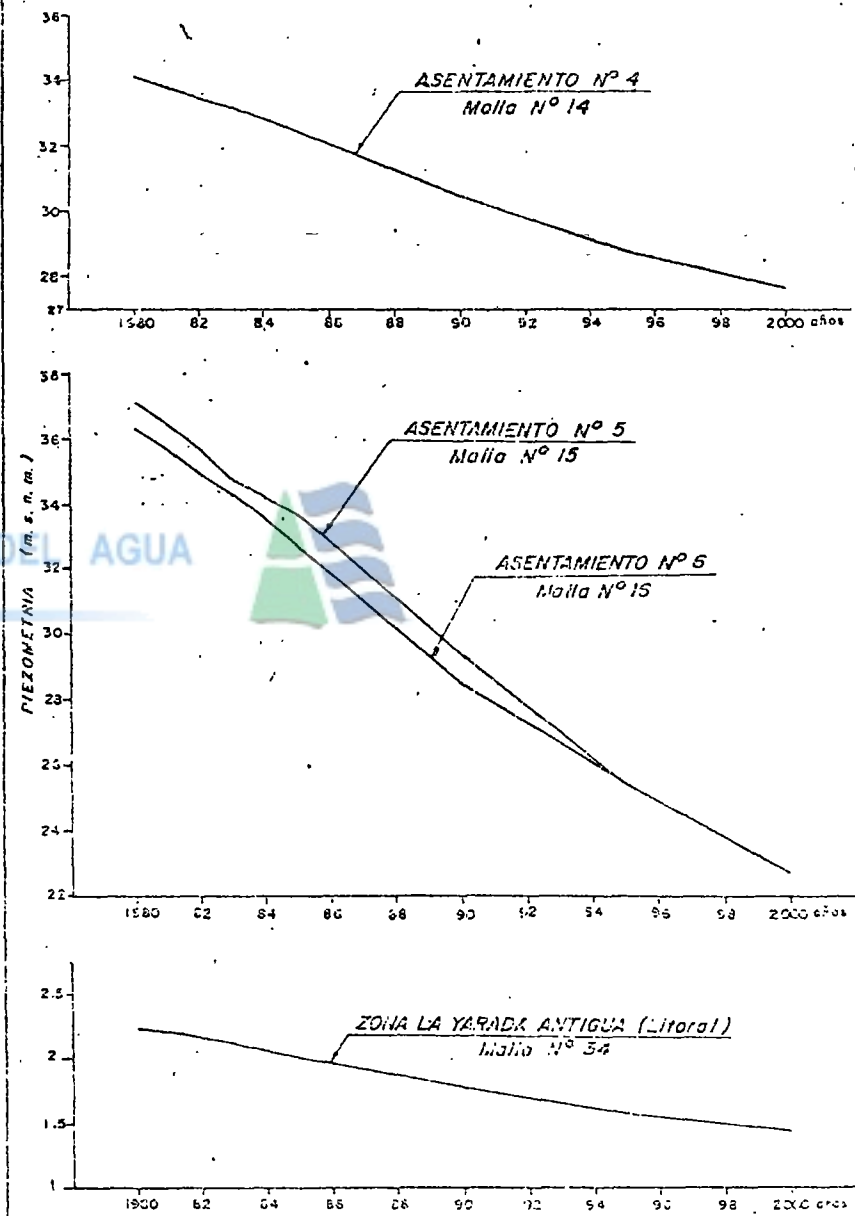
El caudal incrementado, 500 lt/seg ha sido distribuido entre las mallas N°s 16, 17, 23 y 24, por estar el asentamiento "x" repartido especialmente entre estas cuatro mallas, ver lámina N° 16 correspondiendo en cada caso 50 lt/seg, 50 lt/seg, 200 lt/seg y 200 lt/seg, respectivamente, estos incrementos serán

VARIACION DE LA PIEZOMETRIA - PERICDO SIMULADO AÑOS 1980 - 2000

HIPOTESIS N° 1



HIPOTESIS N° 2



para 1983, año en el cual se pondrá en ejecución.

El período de simulación de la presente hipótesis es de 1980 al año 2000 inclusive, en cuadros N° H<sub>3</sub>-81 a N° H<sub>3</sub>-2000-1 (Anexo Mod-5) se encuentran consignados los valores de piezometría calculados para el período considerado.

Para ver la variación objetiva de los niveles piezométricos se han tomado las mallas que involucran asentamientos existentes y de explotación actual, así en la figura se puede observar la variación de la piezometría en función del tiempo, en las mallas N° 14, 15, 16, 17, 23, 34, que nos da una idea de la influencia que tiene los incrementos de explotación de caudal, tanto en la zona alta, media y baja del acuífero del Caplina. Lam. N° 21

## AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

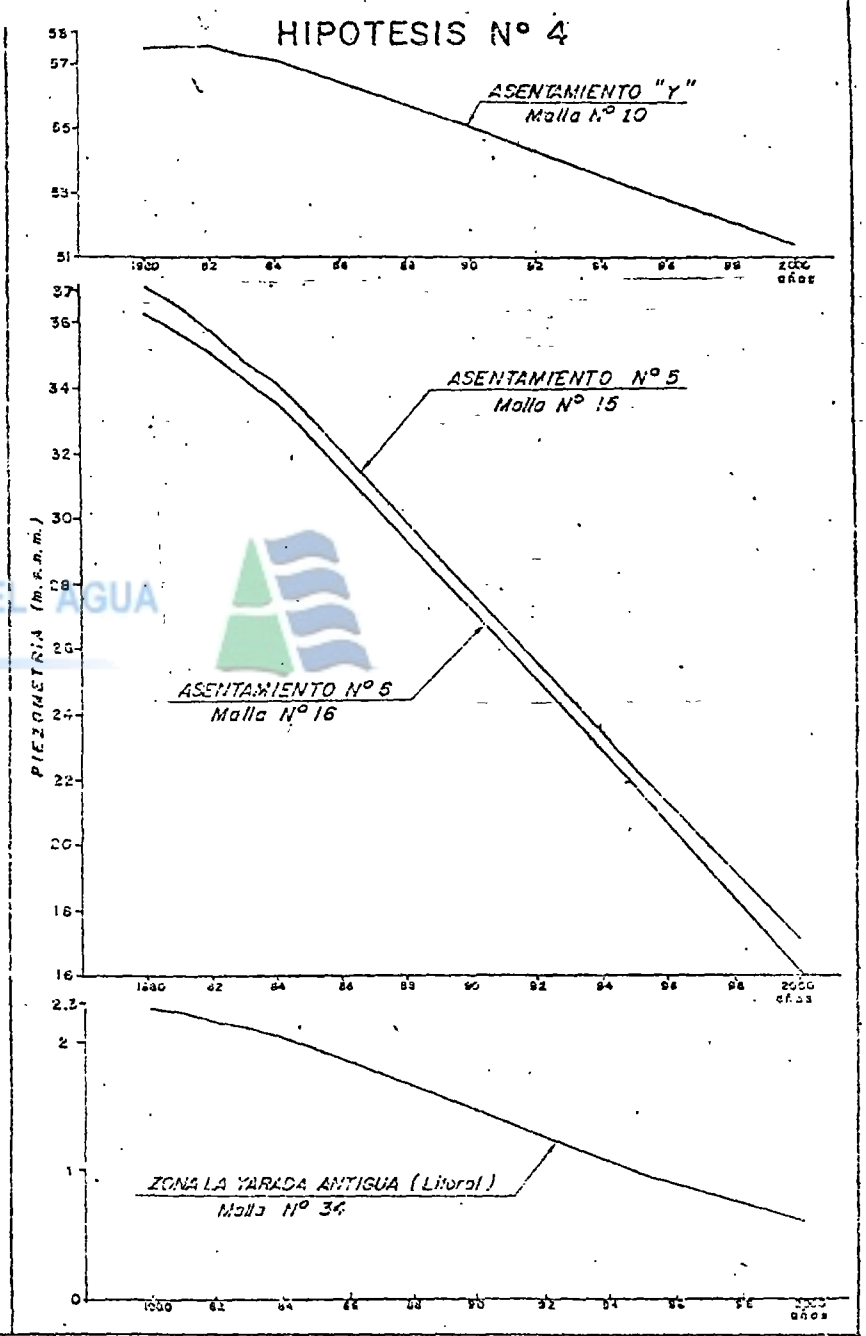
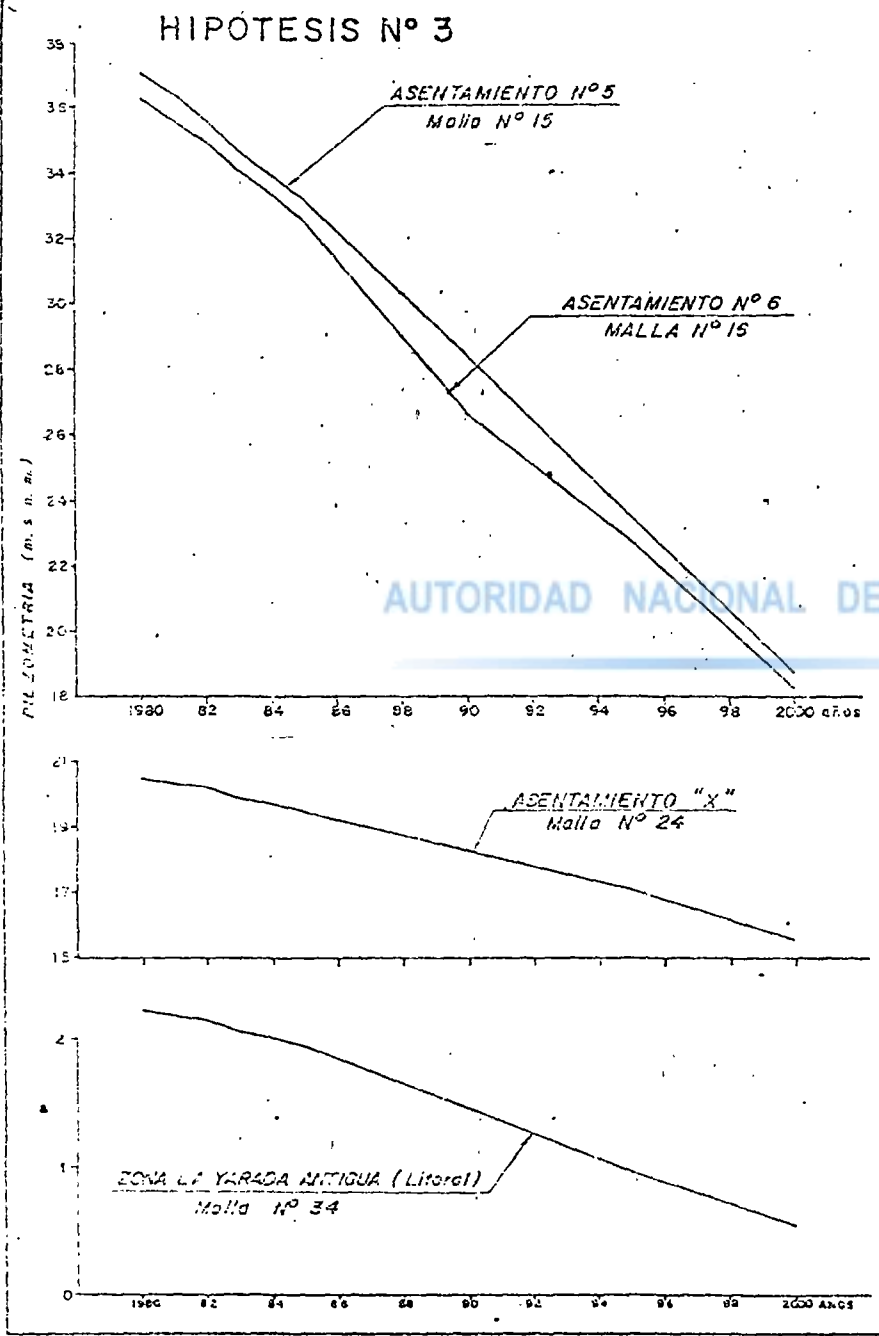


En el cuadro M4 se consignan los máximos rebatimientos puntuales ocurridos en la zona de interés.

### Hipótesis de Explotación N° 4

Esta hipótesis comprende un aumento de explotación del acuífero del Caplina en 1500 lt/seg, respecto a la explotación existente en el año 1979, comprende los incrementos de 500 lt/seg (hipótesis N° 1) y el caudal 250 lt/seg restante asignado para la satisfacción de los requerimientos de agua que necesitan los asentamientos "Y" de dimensiones similares al asentamiento N° 6 ubicado al norte de los asentamientos N° 5 y 6. Así los 250 lt/seg

VARIACION DE PIEZOMETRIA- PERIODO SIMULADO AÑOS 1980 - 2000



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



han sido distribuidos en la malla N° 10, por estar espacialmente distribuido en ella el asentamiento " Y". (Ver lámina N° 19 ).

Este último incremento se hizo efecto para el año 1985, época en la cual se pondrá en ejecución el asentamiento .

El período de simulación de la presente hipótesis es de 20 años, a partir de 1980 al 2000 inclusive, los valores de piezometría calculados para cada una de las mallas que intervienen en el modelo se consignan en los cuadros N° H<sub>4</sub>-81 a H<sub>4</sub>-2000-1 (Anexo Mod6) para el período simulado.

En los hidrogramas de la lámina 21 se aprecia la variación de la piezometría en función del tiempo, en las mallas N° 10, 14, 15, 16, 23 y 34 las cuales involucran las zonas de interés, ya sea por consignar asentamiento ya existentes o zonas de explotación aún continua.

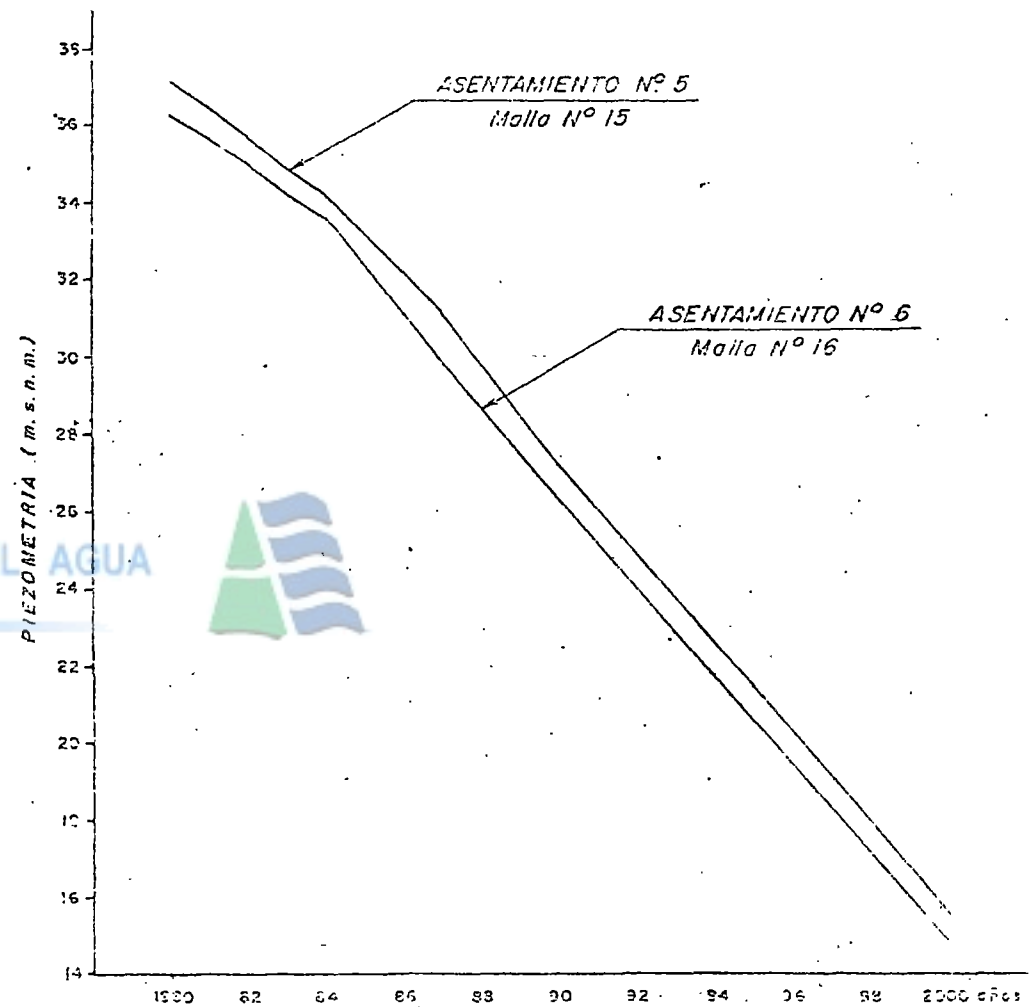
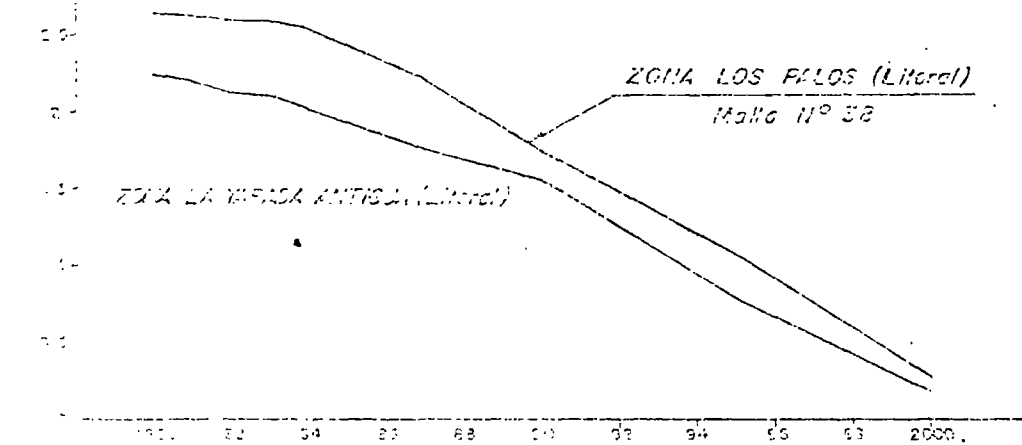
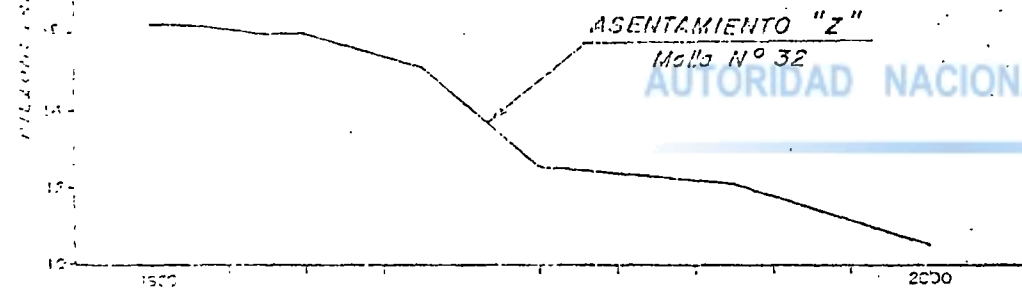
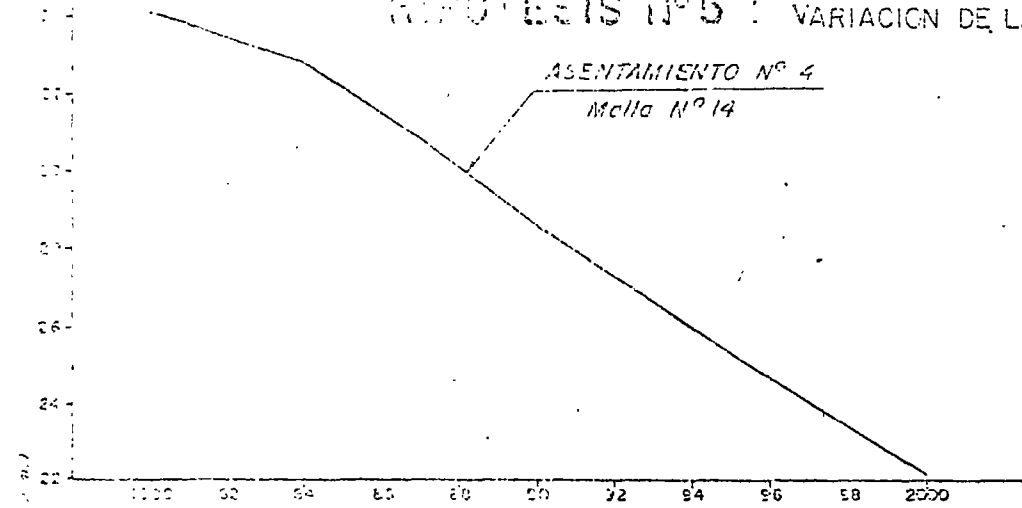
En el cuadro M<sub>5</sub> se aprecia los máximos valores de rebatimientos puntuales ocurridos en estas zonas.

#### Hipótesis de Explotación N° 5

Con la finalidad de conocer el comportamiento del caudal del Caplina, al ser sometido a una explotación adicional de 2000 lt/seg adicionales a la explotación ya existente para 1979

Se señaló este nuevo régimen de explotación para período de

# HIPOTESIS N° 5 : VARIACION DE LA PIEZOMETRIA - PERIODO SIMULADO AÑOS 1980-2000



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



20 años, comprendido entre 1980 al 2000 inclusive, comprenden dentro de esta hipótesis 1500 lt/seg de las cuatro hipótesis anteriores, mientras que los 500 lt/seg restantes corresponden a los requerimientos que tendría un asentamiento "Z", ubicada en la zona denominada los Palos de una extensión similar a los asentamientos N° 5 y 6 de la Yarada, asentamiento que estaría en ejecución para 1987.

El caudal de 500 lt/seg ha sido distribuido en la malla N° 32 por estar comprendida en ella el asentamiento "Z".

Las tablas N° H5 - 81 al N° H5 - 2000 - 1 (Anexo Mod-7 ) consignan los valores de piezometría calculados para todas las mallas que comprende todo el dominio de acuífero sumado.

## AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



R.R.

En el cuadro M6 se consignan los máximos rebatimientos puntuales ocurridos en las mallas que contienen asentamientos existentes y zonas de explotación actual

Los hidrográmas de la Lam: N° 22 se puede apreciar la variación de la piezometría, a través del período considerado en las mallas de interés.

### INTERFASE MARINA

Uno de los objetivos principales del presente estudio es el conocimiento acerca de la evolución futura de la posición de



la interfase marina, esto en función de las sobre explotaciones que se desean hacer en el acuífero del Caplina, con la finalidad de cubrir demandas de agua en asentamientos existentes y en zonas que se desean incorporar a la agricultura (ver lámina 19) y además ver su influencia en la degradación de la calidad de agua en la zona litoral del valle, porque se tiene que considerar que la posición de la interfase no es el límite de la contaminación del acuífero costero, sino que se presenta una zona de transición más o menos amplia donde ocurren fenómenos de difusión y dispersión que trae como consecuencia una contaminación paulatina y a larga distancia costa adentro.

Para este efecto se tendrá que relacionar esta posición con un elemento dinámico de la interfase, este será la carga hidráulica o altura piezométrica de la napa freática de agua dulce, este elemento se obtuvo en la simulación a régimen transitorio de cada una de las hipótesis de explotación, ya que en este régimen se considera la variación del potencial piezométrico con respecto al tiempo, lo cual servirá para verificar la evolución de la posición de la interfase marina.

Los resultados obtenidos para la simulación de las hipótesis de explotación en el período años 1980 al 2000 (Anexos MOD-2 al MOD-7) donde se consignan las cargas piezométricas para toda la descritización del acuífero, se tomó la zona que limita con el litoral marino (mallas N°s 34 al 40), para poder observar las nuevas posiciones puntuales que tomará la interfase marina a lo largo de toda esta zona.

Si tenemos en cuenta, según GIBBEN y HERZBERG (1) se establece que la napa de agua de mar se extiende bajo tierra no a nivel del mar, sino bajo de él, aproximadamente a 40 veces la altura de agua dulce sobre el nivel del mar, esta expresión se funda en el principio de igualdad de presiones, donde para el caso de un acuífero libre (Lámina N<sup>o</sup> 2.3 ), la profundidad a la cual se extiende la napa de agua de mar se determina mediante la siguiente expresión :

$$h_S = \frac{S}{S - f} \cdot h_f \dots\dots\dots (1)$$

donde :

$h_S$  = Espesor de la cuna de agua de mar.

$S$  = Densidad del agua de mar.

$f$  = Densidad del agua dulce.

$h_f$  = Altura del nivel freático sobre el nivel medio del mar (carga piezométrica).



Si tenemos en cuenta que :  $S = 1.025 \text{ gr/cm}^3$  y  $f = 1.000 \text{ gr/cm}^3$  se obtiene la expresión :

$$h_S = 40 h_f \dots\dots\dots (2)$$

(1) Herzberg, E. Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder Sour Gasbohrung und Wasserversorgung y Vd. 44 Munich 1901.

Teniendo en cuenta que " $h_f$ " es la piezometría (m. s. n. m.) calculada por el modelo, que se consigna en los cuadros de los anexos MOD - 2 a MOD - 7 para cada hipótesis simulada, reemplazando estos valores en la expresión (2) se obtendrá la nueva posición puntual adoptada por la interfase a lo largo del período simulado, así en los cuadros M7 a M11, se consignan las variaciones puntuales de la interfase para la zona litoral del valle (mallas N° 34 al 40).

Para el período simulado, años 1980 al 2000, la zona de explotación actual, que cuenta con más del 70% de pozos del valle (zona la Yarada antigua), parte litoral (mallas N° 34 y 35) la mínima variación puntual en metros por debajo del nivel medio del mar, es de 72.4 a 88.4 m (hipótesis N° 1) y 56.4 y 67.2 m (hipótesis N° 2) 20.8 y 54.4 m (hipótesis N° 3) 20.0 y 26.4 m (hipótesis N° 4) 7.6 y 11.2 m (hipótesis N° 5) y para la zona denominada los Palos, parte litoral (malla N° 33) estas variaciones son : 97.2 m, 84.4 m, 66.0 m, 52.0 m y 11.6 m, para las hipótesis N°s 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Por estos resultados se puede observar que las variaciones aceptables (20.8 m, 54.4 m, 52.0 m) para las mallas N°s 34, 35 y 38, son los ocasionados al hacerse efectiva la hipótesis N° 3, por ser valores que no son peligrosos para la contaminación del acuífero, esto en relación a la posición puntual de la interfase, próxima al nivel medio del mar.

En lo que respecta a las variaciones puntuales ocasionados al entrar en ejecución las hipótesis N° 4 y 5, se consideran de

R.R.

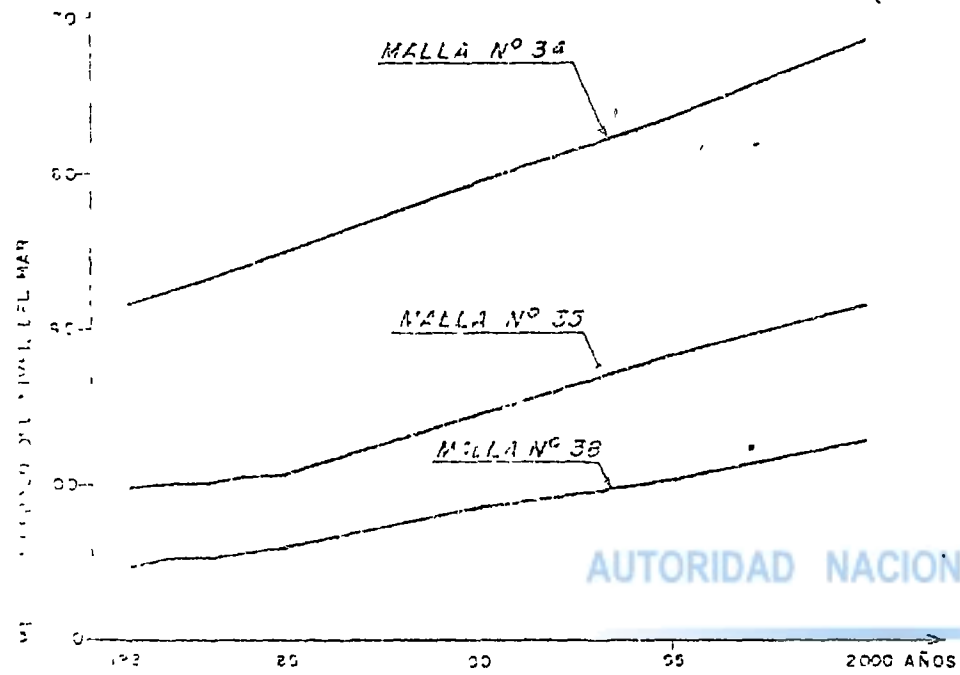
masiado peligrosos, por ser valores muy cercanos al nivel medio del mar, en consideración que la posición de la interfase delimita una zona más o menos grande donde ocurren fenómenos de dispersión y difusión por lo cual la interfase estaría comenzando a introducirse en el dominio del acuífero costero, como consecuencia de un desequilibrio entre la explotación y alimentación al acuífero ya que los caudales a explotarse son  $1.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $2.0 \text{ m}^3/\text{seg}$  para las hipótesis N° 4 y 5 respectivamente, debemos tener en cuenta que estos caudales no incluyen la explotación existente para el año 1979, y en cada uno de estos casos se está sobre pasando la alimentación al acuífero, que aproximadamente es de  $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , por lo tanto se estaría explotando las reservas del acuífero que traería como consecuencia una degradación de su potencial de reserva.

En las láminas N°s 24, 25, 26 se aprecia la variación puntual de la interfase marina para la zona Yara Antigua, parte litoral (mallas N° 34 y 35) y para la zona denominada los Paños (mallas N° 37 y 38), para las hipótesis de explotación N°s 1, 2, 3, 4 y 5 a lo largo del período simulado, año 1980 al 2000.

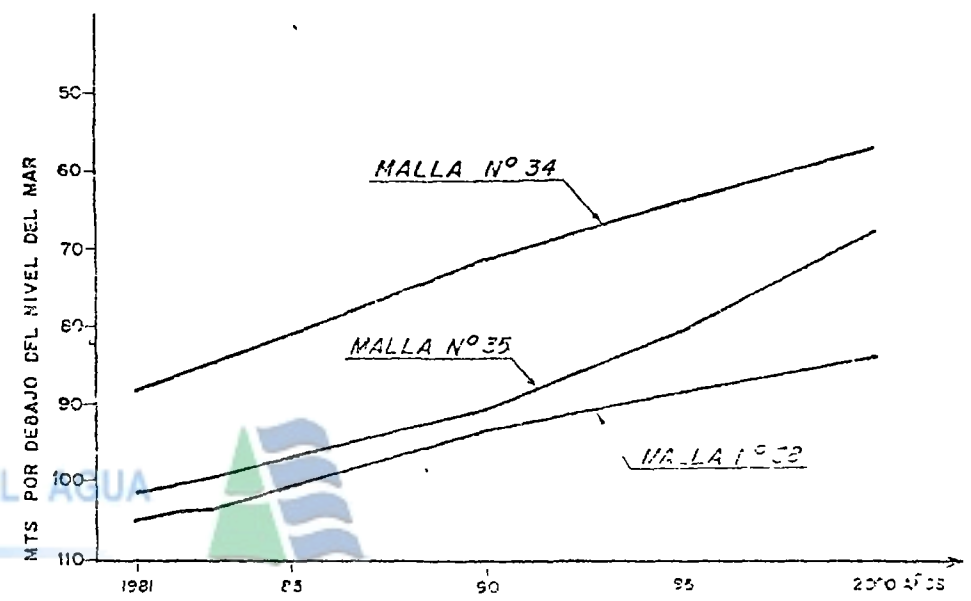
#### Otras Hipótesis de Explotación

Aparte de las cinco hipótesis de explotación simuladas, existen cuatro hipótesis adicionales (ver lámina N° 19) que en su conjunto da un caudal a explotarse de  $2000 \text{ l/seg}$ , estas hipótesis no se han simulado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la simulación de las hipótesis N°s 1, 2, 3, 4 y 5, considerados co

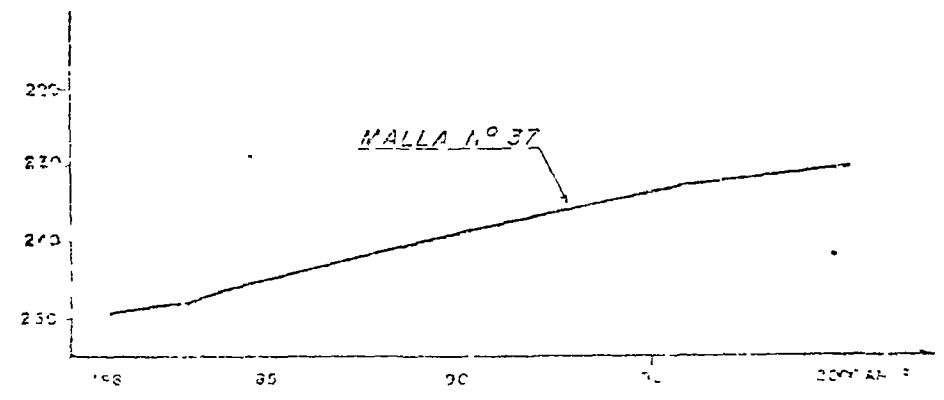
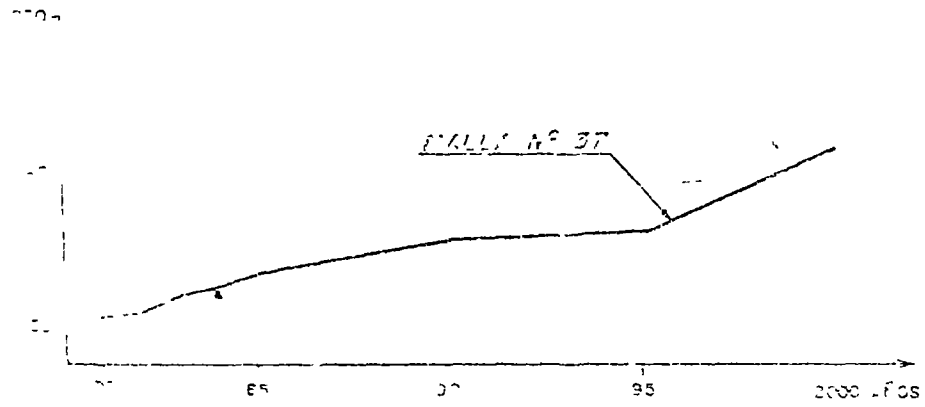
HIPOTESIS Nº 1 : Variación puntual de la interfase marina para el periodo simulado 1931-2000



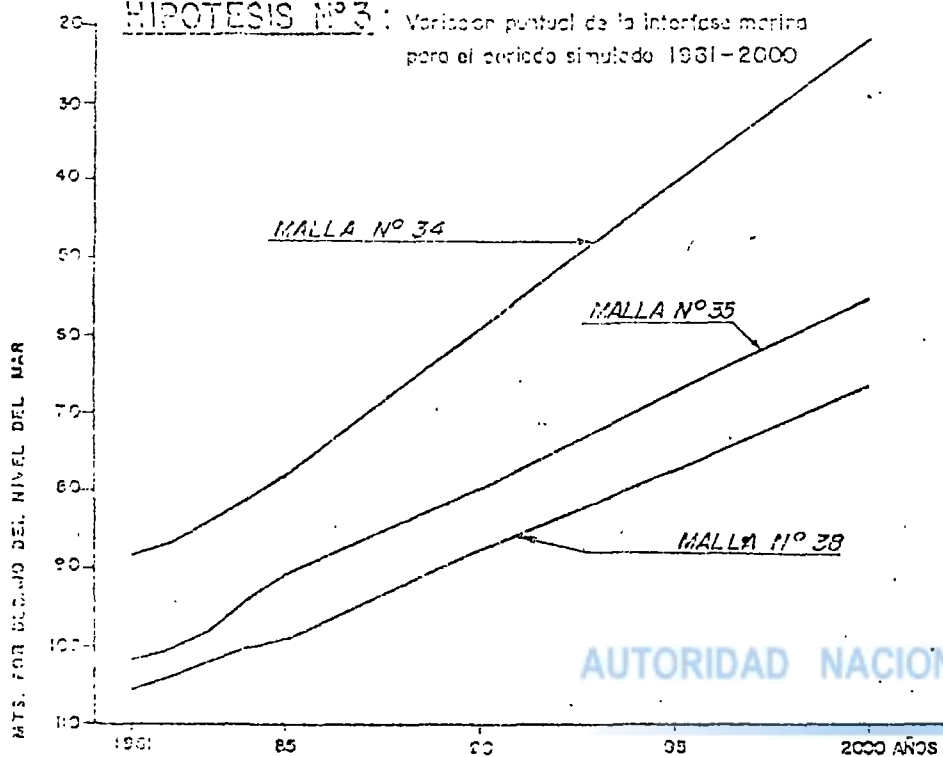
HIPOTESIS Nº 2 : Variación puntual de la interfase marina para el periodo simulado 1981-2000



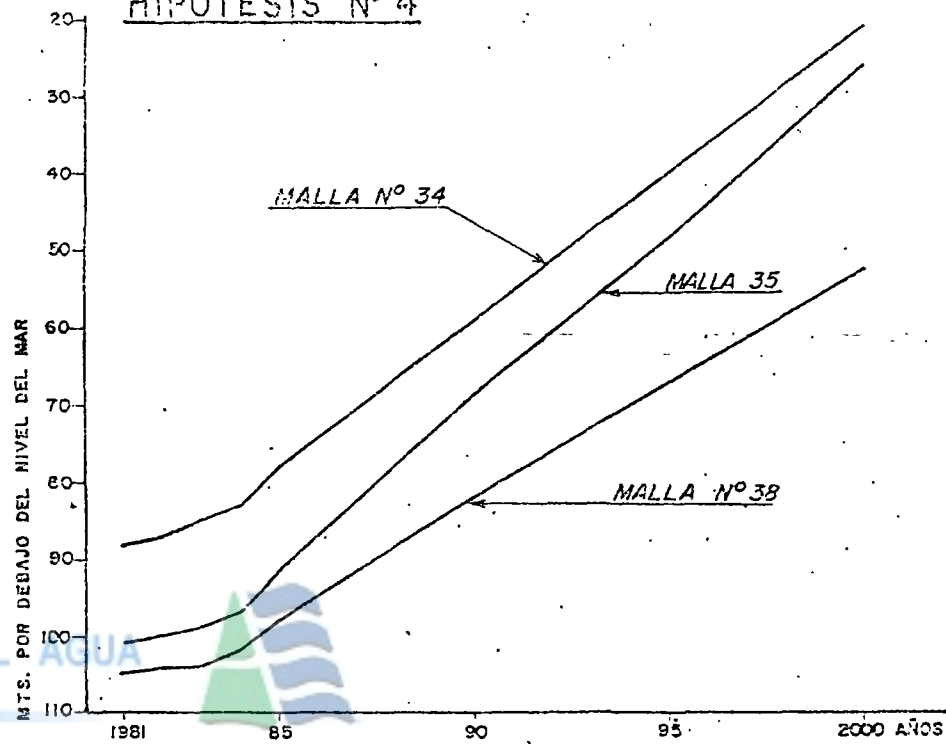
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



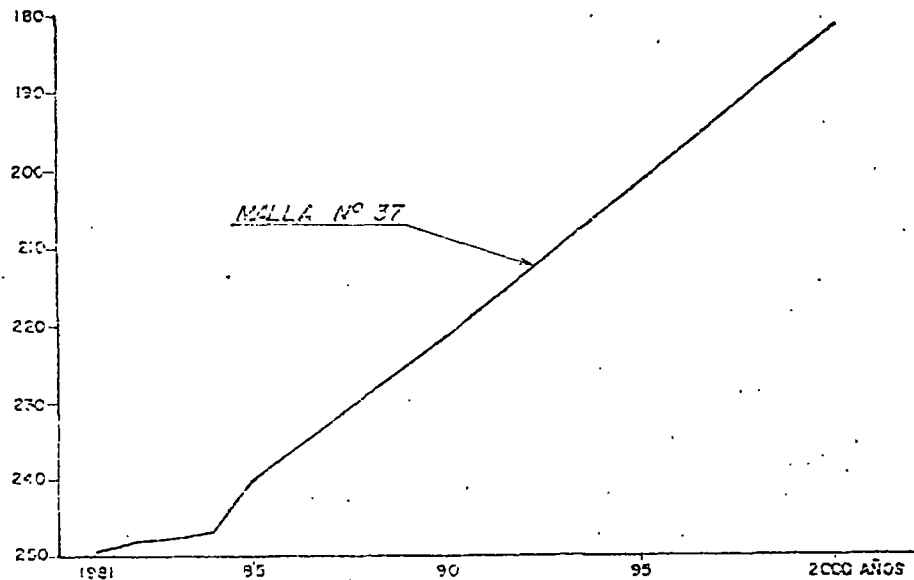
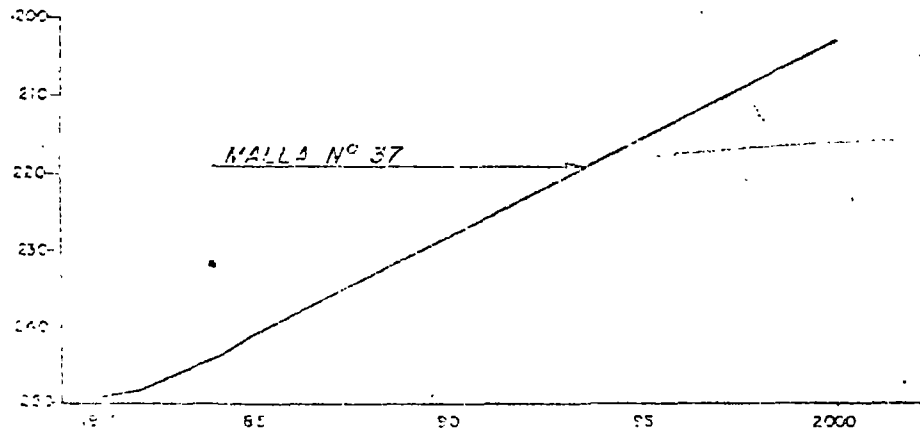
**HIPOTESIS N° 3:** Variación puntual de la interfase marina para el período simulado 1981-2000



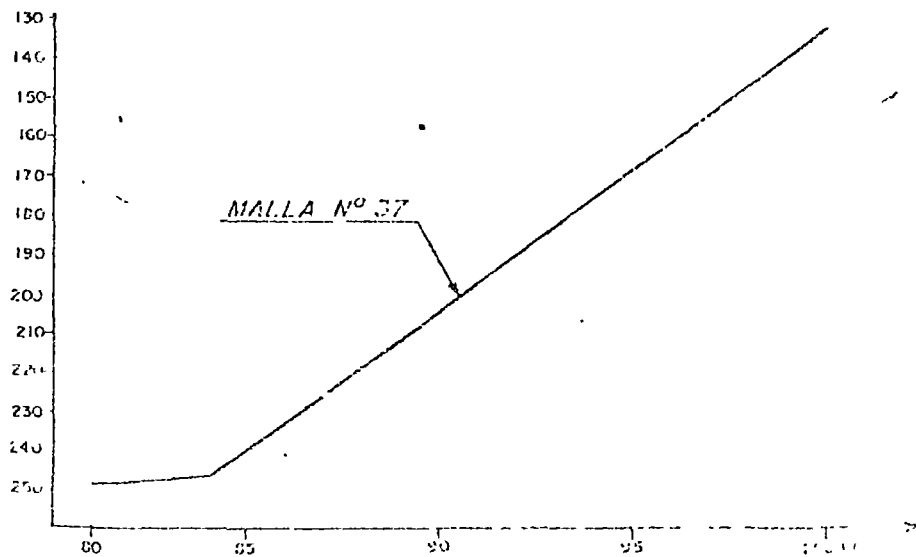
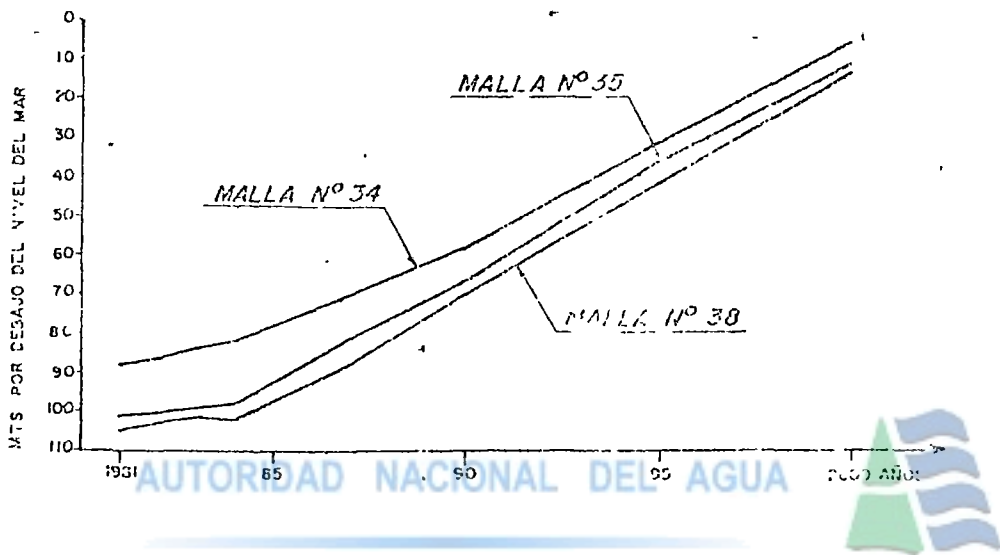
**HIPOTESIS N° 4**



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



HIPOTESIS N° 5 : Variación puntual de la interfase marina para el periodo simulado 1981-2000



mo de primera prioridad, así como los resultados obtenidos a partir de estos, para la evolución en lo que respecta a la posición de la interfase marina, en la zona litoral del valle (mallas N° 34 a 40).

### CONCLUSIONES

La finalidad de estudiar el comportamiento del acuífero del valle Caplina, expuesto a explotaciones mayores a las ya existentes para el año 1979, es ver las consecuencias que se producirían en los asentamientos existentes N°s 3, 4, 5 y 6 y áreas de explotación actual (La Yarada Antigua y los Palos), que son zonas que también se valen de la explotación del acuífero y sobre todo ver el comportamiento de la napa en la parte litoral del valle Caplina referente al problema de la intrusión marina.

Por los resultados obtenidos por la simulación de cada una de las cinco hipótesis de explotación, se puede considerar una sobre explotación hasta la hipótesis N° 3, la cual comprende 1,250 lt/seg, ya que los rebatimientos máximos puntuales ocurridos en los asentamientos existentes y zonas de explotación actual (Los Palos) no son muy significativos (ver cuadros M2 a M6), por lo tanto esta explotación se ejecutará bajo una adecuada política de explotación de las zonas involucradas, tratando de no ocasionar una merma significativa en la capacidad de captación de los pozos existentes.

La política de explotación por hipótesis N° 4 y 5 producirá rebatimientos del orden de 20.29 m, 1.74 m y 21.34 m, 2.35 en el asen



tamiento N° 6 y zona norte-baja del valle para el período simulado, considerando que en estas zonas se encuentran ubicados más de 70% de los pozos, traería como consecuencia la extracción del agua en ellas, a mayores profundidades, ocasionando con ello una seria merma en la capacidad de captación de los pozos, corriéndose el riesgo de quedar completamente colgados los pozos poco profundos, si estos no están diseñados.

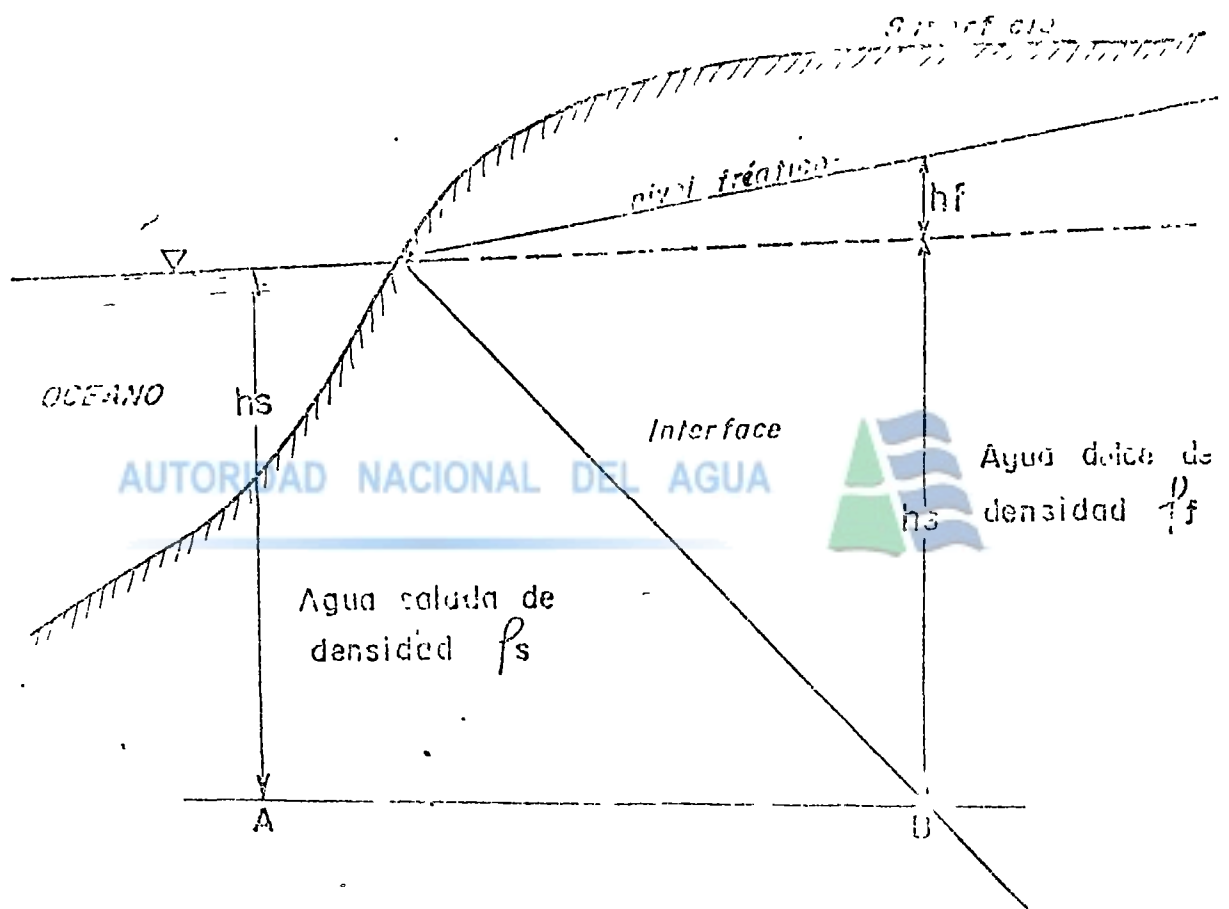
En lo que respecta al fenómeno de intrusión marina en la parte litoral del valle, no se presentará debido a que en esta zona los rebatimientos puntuales son pequeños, esto se debe a que la política de explotación de estas tres hipótesis es en la parte central del valle y cuyo radio de influencia afecta muy poco a la parte litoral.

Los resultados obtenidos para la posición puntual de la interfase marina en base de los resultados de la simulación de las cinco hipótesis de explotación considerados como prioritarios, corroboran que la explotación ~~ha~~ llevarse a efecto es la correspondiente a la hipótesis N° 3 (cuadro M9) porque las variaciones puntuales ocasionadas son 20.8 y 54.4 m para las mallas N° 34 y 35 (zona la Yarada Antigua parte litoral) y 66.0 m para la malla N° 38 (zona los Palos) variaciones consideradas nada peligrosas en cuanto a la intrusión marina en el acuífero costero, no así los resultados para las hipótesis N° 4 y 5, cuyas variaciones puntuales de la interfase se acercan al nivel medio del mar (ver cuadro M10 y M11) y esto porque la interfase es la parte central de una zona amplia donde ocurren fenómenos de difusión y dispersión

y por lo tanto pondría en peligro las reservas del acuífero contaminándolo.

En cuanto a las políticas de explotación adicionales, que suman 2000 lt/seg adicionales a las hipótesis ya simuladas, traería como consecuencia una depresión considerable de la napa, tanto en la zona alta, media y baja del valle y en consecuencia el colgamiento de pozos existentes en estas zonas en parte litoral del valle se llegará a obtener valores de potenciales piezométricos muy bajos que favorecen el avance de la interfase marina y con ello la contaminación de los pozos existentes en toda la zona litoral del valle Caplina.

Se recomienda no incrementar la explotación en toda la zona litoral comprendida en las mallas N° 34 a 40 (ver lámina N° 16) para no provocar descensos considerables del potencial piezométrico de agua dulce, que se sumaría a los provocados por la ejecución de la hipótesis de explotación N° 3 recomendada, ya que la posición de la interfase marina se basa en el equilibrio hidrostático entre la zona de agua dulce y agua salada, esta con el objeto de tener toda esta zona como una barrera al avance de la interfase marina y en consecuencia de la contaminación del acuífero costero.



Dibujo lineal en la distribución del agua dulce y salada en un acuífero costero no confinado y en donde se puede ver la relación de Ghyben-Herzberg.

CUADRO M<sub>1</sub>  
 SIMULACION DE VOLUMENES A EXPLOTAR EN  
 EL DEL VALLE CAPLINA - PUNTO 1

Hipótesis	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Año de ejecución.	1980	1982	"X" 1983	"Y" 1985	"Z" 1987
Módulo, $q$ (lts/seg)	500	$q_{N^1+N^2}$ 750	$q_{N^1+N^2+N^3}$ 1250	$q_{N^1+N^2+N^3+N^4}$ 1500	$q_{N^1+N^2+N^3+N^4+N^5}$ 2000
Volumen en Mills. de m <sup>3</sup>	15.768	23.652	39.420	47.304	63.072

Nota: VOLUMEN ANUAL EXPLOTADO 1979: 39' M<sup>3</sup> - 1,237 l/s  
 Incremento de explotación acumulados

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA  
CUADRO M<sub>2</sub>



Hipótesis N° 1

Máximo Rebatiendo Puntual en Asentamientos  
 y Zonas de Explotación Actual - Período Simulado  
 1981 - 2000.

Malla	N° 3	N° 15	N° 16	N° 37
	Zona alta del valle Caplina.	Asentam. N° 5	Asentam. N° 6	Zona baja lateral del valle Caplina
Rebatiendo máximo puntual (m)	1.65	11.17	12.65	20.30

Punto (cm)  
 Real - DIC - 1980

CUADRO M<sub>3</sub>

Hipótesis N° 2

Máximo Rebaticimiento Puntual - Asentamientos  
y Zonas de Explotación Actual - Período Simulado  
1981 - 2000.

Malla	N° 14	N° 15	N° 16	N° 34
	Asentam. N° 4	Asentam. N° 5	Asentam. N° 6	Zona norte-baja del valle Caplina
Rebaticimiento máximo puntual ( m )	6.50 ✓	14.29	13.59	0.83
Rebaticimiento real. (m) Junio 1984				

CUADRO M<sub>4</sub>

Hipótesis N° 3

Máximo Rebaticimiento Puntual - Asentamientos  
y Zona de Explotación Actual - Período Simulado  
1981 - 2000.

Mallas	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17	N° 23	N° 24	N° 34
	Asentam. N° 4	Asentam. N° 5	Asent. N° 6	ASENTAMIENTOS " X "			Zona norte- baja del va- lle Caplina
Rebaticim. puntual máximo ( m )	0.25	18.31	18.03	7.39	5.54	4.55	1.17

CUADRO M<sub>5</sub>

Hipótesis N° 4 : Máximo Rebajamiento Puntual - Asentamientos  
y Zonas de Explotación Actual - Período Simulado  
1981 - 2000.

Malla	N° 10	N° 14	N° 15	N° 16	N° 31
	Asentam. "Y"	Asentam. N° 4	Asentam. N° 5	Asentam. N° 6	Zona norte-baja del valle Capli- na.
Rebajamiento máximo pun- tual ( m )	6.12	10.8	20.02 /	20.29 /	1.74

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



CUADRO M.7

Hipótesis N° 1 : Variaciones Puntuales (m) de la Interfase Marina - Zona Litoral del Valle La Yarada y Hospicio (Tacna) - Período Simulado - 1981 - 2000.

Año	81	82	83	84	85	90	95	2000
34	88.4	87.6	86.8	86.0	85.2	80.8	76.4	<u>72.4</u>
35	101.6	100.8	100.0	99.6	99.2	95.6	91.6	<u>88.4</u>
36	290.4	290.0	289.0	288.0	287.2	283.6	279.2	277.0
37	249.6	249.2	248.0	247.6	247.2	244.4	240.0	238.4
38	105.2	104.8	104.8	104.4	104.0	101.2	98.8	97.2
39	105.6	105.2	104.8	104.0	103.6	99.2	94.8	92.0
40	141.2	140.4	139.6	138.8	138.0	135.2	131.6	128.4

CUADRO M8

Hipótesis N° 2 :

Variaciones Puntuales (m) de la Interfase Marina - Zona  
Litoral del Valle La Yarada y Hospicio (Tacna) - Período  
Simulado. 1981 - 2000.

Año Eobrigoso	81	82	83	84	85	90	95	2000
81	88.4	86.8	84.8	82.8	81.2	71.6	64.0	<del>57.2</del> 86.4
85	101.6	100.4	99.2	98.0	96.8	90.4	80.8	<u>57.2</u>
86	290.4	289.2	288.4	287.6	286.0	278.0	272.4	264.4
87	244.6	243.8	248.0	246.8	245.2	238.8	233.6	230.0
88	105.2	104.0	104.0	102.0	100.4	93.2	88.8	84.4
89	105.6	104.8	104.0	102.8	102.0	99.2	93.4	87.6
90	141.2	140.0	138.8	138.0	136.8	130.8	126.8	123.6



CUADRO M 9

Hipótesis N° 3 :      Variaciones Puntuales (m) de la Interfase Marina - Zona  
Litoral del Valle La Yarada y Hospicio (Tacna) - Período  
Simulado. 1981 - 2000.

Año Polígono	81	82	83	84	85	90	95	2000
34	88.4	86.8	83.6	81.2	78.0	58.8	39.6	20.8
35	101.6	100.4	98.0	94.8	91.2	79.2	66.8	<sup>5</sup> <del>84.4</del>
36	290.4	289.2	286.8	283.6	281.6	275.6	262.4	243.8
37	249.6	248.8	246.8	244.4	241.2	228.8	215.2	203.2
38	105.2	104.0	102.8	100.4	98.8	87.2	77.2	66.0
39	105.6	104.8	102.8	99.6	97.2	81.2	70.8	60.4
40	141.2	140.0	138.8	135.2	132.4	120.4	103.4	94.8

CUADRO M 10

Hipótesis N° 4 : Variaciones Puntuales (m) de la Interfase Marina - Zona Litoral del Valle La Yarada y Hospicio (Tacna) - Período Simulado. 1981 - 2000.

Año / Polígono	81	82	83	84	85	90	95	2000
34	83.4	86.8	84.8	82.8	78.0	58.8	39.6	20.0
35	101.6	100.4	99.2	98.0	91.2	68.4	48.0	26.4
36	290.4	289.2	283.4	287.6	280.4	260.8	241.2	220.8
37	249.6	248.8	248.0	246.8	240.8	221.2	201.6	180.8
38	105.2	104.0	104.0	102.0	98.0	82.0	67.6	52.0
39	105.6	104.8	104.0	102.8	96.4	81.2	65.6	50.4
40	141.2	140.0	138.8	138.0	134.0	118.4	102.8	87.2

CUADRO N° 11

Hipótesis N° 5 :      Variaciones Puntuales (m) de la Interfase Marina - Zona  
Litoral del Valle La Yarada y Hospicio.(Tacna) - Período  
Simulado. 1981 - 2000.

<u>Año</u> <u>Polígono</u>	81	82	83	84	87	90	95	2000
34	85.4	86.8	84.8	82.8	70.0	58.8	31.2	7.6
35	101.6	100.4	99.2	93.0	81.6	66.3	36.0	11.2
36	290.4	289.2	289.4	287.6	268.8	246.0	212.0	178.4
37	249.6	248.8	248.0	246.8	228.8	204.8	169.8	132.8
38	105.2	104.0	104.0	102.0	88.4	69.2	41.2	11.6
39	105.6	104.8	104.0	102.8	86.4	66.8	38.0	9.20
40	141.2	140.0	138.8	138.0	126.8	107.2	78.0	48.8

CUADRO M<sub>6</sub>

Hipótesis N° 5 : Máximo Rebatiimiento Puntual - Asentamientos  
y Zonas de Explotación Actual - Período Simulado  
1981 - 2000.

Malla	N° 14	N° 15	N° 16	N° 32	N° 34	N° 38
	Asentamiento N° 4	Asentamiento N° 5	Asentamiento N° 6	ASENTAM. "Z"	Zona norte-baja del valle Caplina	zona litoral del valle Ca- plina.
Rebatiimiento máximo puntual ( m )	12.00	21.04	21.34	5.91	2.05	2.35