

REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
Centro de Información Recursos Hídricos  
Área de Documentación

OPERACION DEL MODELO DE SIMULACION  
DE RECURSOS HIDRICOS DEL VALLE DE AZAPA.

---

Análisis de situaciones hidrológicas  
extremas y su impacto en los re  
cursos subterráneos.

Preparado por: Ing. FELIX PEREZ S.

Santiago, Abril de 1990.

## P R O L O G O

La presente publicación interna del Subdepartamento de Estudios Hidrológicos contiene y complementa la presentación que efectuara la Dirección General de Aguas en las "JORNADAS DE ANALISIS Y RECURSOS HIDRICOS DE LAS PROVINCIAS DE ARICA Y PARINACOTA". Arica 22, 23 y 24 de Agosto de 1989.

## 1.- INTRODUCCION

En el valle del río San José (Valle de Azapa) existen en la actualidad alrededor de 2.500 hás. de riego, de las cuales un 76% se riega con recursos hídricos trasvasados desde la cuenca altiplánica del río Lauca y que son distribuidos por el Canal Azapa y sus derivados. El resto, es abastecido con aguas subterráneas que provienen principalmente de vertientes y pozos. Las vertientes permiten regar hasta 550 hás. cuando sus recursos son suficientes, lo que corresponde a un 22% de la superficie de riego. El área abastecida por pozos es variable ya que se utilizan (pozos y norias) para reforzar a las otras fuentes en períodos de carencia de recursos superficiales. El sector abastecido únicamente por pozos es de aproximadamente 50 hás., es decir, un 2% del total cultivado. Este porcentaje puede llegar eventualmente hasta un 25%.

El uso principal que se le da a la explotación del agua subterránea del valle es el consumo potable (ver Figura 1), tendencia que se ha ido incrementando desde la puesta en servicio del Canal Azapa. La explotación desde pozos alcanza una cifra de aproximadamente 650 l/s., la que incluye pequeños consumos industriales. El requerimiento hídrico total para regar el valle asciende a cerca de 1.035 l/s., cifra que en la práctica (términos medios anuales) es inferior puesto que el riego no es simultáneo. Las demandas cubiertas por el sistema de vertientes son de aproximadamente 310 l/s. como promedio anual. Lo anterior implica una demanda máxima potencial de 1.345 l/s. El consumo máximo total de recursos hídricos (superficiales y subterráneos) llegaría a lo sumo a una cifra cercana a los 2.000 l/s. en el Valle de Azapa. Sin embargo, como se ha mencionado, esta cifra es menor debido entre otras cosas a la no simultaneidad del riego y a que no toda la capacidad agrícola del valle se encuentra operando.

Por otro lado, la disponibilidad de recursos superficiales queda reflejada en los caudales del río San José antes de Bocatoma Canal Azapa para diferentes probabilidades de excedencia (Cuadro 1). El promedio está cercano a los 1.000 l/s., los cuales son captados por el Canal Azapa. El flujo subterráneo de acuerdo a los resultados de la calibración del Modelo de Simulación es aproximadamente 300 l/s. Es decir, en términos de promedio anual se tendría una disponibilidad de aproximadamente 1.300 l/s.

Lo anterior indica que en cuanto al balance general del valle, se estaría en el comienzo de una situación de sobreexplotación (consumos mayores que la oferta de recursos) por lo que, un eventual período de sequía sumado a la creciente demanda para consumos humanos (aumento en la explotación de los pozos de SENDOS) impactaría fuertemente en el ambalse subterráneo (refuerzo de pozos para suplir el déficit del sistema de canales) pudiendo producir descensos en la napa que signifiquen el colapso de muchos sondajes y sobre todo norias de

menor profundidad. Para tener una idea de lo que ocurriría con el embalse subterráneo frente a una situación como la esbozada, se operó el Modelo de Simulación con que cuenta la Dirección General de Aguas para tres casos hipotéticos que se enuncian en el punto siguiente:

## 2.- CONDICIONES DE LA OPERACION DEL MODELO DE SIMULACION

El modelo fue estructurado cubriendo el valle desde Cabuza hasta la desembocadura (Arica), y se dividió en tres (Figura 2), atendiendo a razones de tipo hidrogeológico, así como de la cantidad de información y las necesidades de información en sectores más explotados.

En Anexo se describe la forma como se estructura y divide el modelo a lo largo del Valle y su conceptualización numérica.

La operación del modelo en forma integrada (componentes superficial y subterránea para cada sector) se efectuó para el período 1989 a 1999, considerando condiciones constantes en el tiempo en relación a la disponibilidad de recursos superficiales a la entrada de la zona modelada (Cabuza). Dicha operación consta de tres casos correspondientes en forma muy general a : 1) mantención de la situación actual (explotación) y un período hidrológico húmedo, 2) aumento de la explotación para fines potables y período hidrológico húmedo y 3) aumento de la explotación para agua potable y período de sequía en cuanto a los recursos hídricos superficiales. El detalle de las condiciones de estos tres casos es el siguiente:

Caso 1 Situación de explotación actual y oferta de recursos hídricos de acuerdo a un año hidrológico 20%.

Se considera una entrada superficial de 1.300 l/s. (probabilidad de excedencia de 20%) correspondiente a un período hidrológico húmedo y se mantienen las extracciones existentes al inicio del período de simulación (1989).

Caso 2 Proyección de explotación para agua potable y año hidrológico 20%.

Se considera las mismas condiciones que el caso 1, salvo que la explotación desde los pozos de SENDOS se incrementa de acuerdo al crecimiento de la población proyectado según estudio efectuado para la D.G.A. (Cuadro 2). Ello significa un incremento de cerca de 140 l/s. al final del período. El lugar donde se incrementa el bombeo se ubica en el sector de Pago de Gómez, en donde existen actualmente sondajes de SENDOS.

Caso 3 Proyección de explotación para agua potable y situación de sequía (oferta hídrica para año tipo 70%).

Se considera las mismas condiciones del caso 2, pero la oferta superficial al valle (río San José o Canal Azapa) corresponde aproximadamente a un año hidrológico 70%, que representa un caudal de 650 l/s. el cual se mantiene por todo el período. Este caso, que es el más desfavorable de los tres y representa una condición muy drástica, pretende visualizar hasta donde resistirían los pozos del valle, y cual sería la capacidad de regulación del embalse subterráneo.

3.- RESULTADOS

Los resultados que se presentan corresponden por un lado a la situación del balance en términos de caudales medios al final del período de simulación (al cabo de 10 años) y a la evolución en el tiempo del nivel freático del valle representativo de dos zonas; Albarracines y Pago de Gómez.

En el cuadro 3, se indica el balance para los tres casos considerados y el desglose por sectores. Para el primer caso se observa que en el sector bajo del valle (Albarracines-desembocadura), con mayor explotación, el balance resulta negativo. Sin embargo, tomando el valle completo, la situación estaría en equilibrio, con una descarganeta de sólo 38 l/s. La situación producida para el segundo caso es más negativa por cuanto, el desequilibrio general llega a casi 180 l/s. siendo más marcada en el sector bajo. Esto incide en un marcado descenso en los niveles como se indica más adelante. Para el tercer caso, la situación de desequilibrio es bastante crítica (más de 380 l/s.), ya que se trata de una condición de sequía prolongada y difícil de darse en la práctica pero que sirve de marco de referencia para ver cuantos años soportaría el embalse subterráneo una solicitud sostenida de sus recursos hídricos.

En la figura 3, se muestra la evolución temporal de los niveles freáticos promedio, en dos zonas del valle (Albarracines y Pago de Gómez) que serían representativos de lo que ocurriría en la zona baja del curso del río San José. En dicha figura se han incluido los Casos 2 y 3.

Para el Caso 2 se aprecia un sostenido descenso en ambos sectores, siendo leve en Albarracines (6 m., al final del período) y significativo en Pago de Gómez (30 m.). Esto último, debido al cono dinámico producido por el aumento del bombeo, el que podría afectar a algunos usuarios cercanos que emplean pozos y norias de poca profundidad. En síntesis para este caso, el problema aunque local, debiera ser considerado en el sentido de que no es conveniente incrementar el bombeo, más aún si se trata de una situación favorable en cuanto a la disponibilidad de recursos superficiales.

El tercer caso es el más ilustrativo de una potencial situación crítica, ya que los descensos en Albarracines serían fuertes (a pesar de que en este sector no se aumenta el bombeo) alcanzando valores de 40 m. al cabo de 5 años y de 80 m. al final del período 10 que implica un virtual agotamiento del acuífero. Esto se debe a la gran importancia que tiene la infiltración proveniente, tanto de los escurrimientos superficiales (río, canales, etc.) como de la percolación del riego en la recarga del acuífero a lo largo del valle. En el sector de Pago de Gómez se aprecia un fenómeno muy interesante, el cual se ve reflejado en el hecho que los primeros 3 años, los descensos son coincidentes entre los Casos 2 y 3, es decir, la disminución de la recarga producida por la sequía tarda ese tiempo en hacerse sentir en el sector. Luego de este lapso al deterioro producido por el mayor bombeo se superpone la falta de recarga del flujo subterráneo, produciendo un gran descenso que llega a 60 m. al final del período, con serias consecuencias para todos los usuarios del valle.

#### 4.- CONCLUSIONES

- a) En el valle de Azapa hay actualmente cerca de 2.500 hás. en riego, de las cuales:
  - 76% se riego con recursos superficiales (cuenca propia + trasvase del Lauca).
  - 22% aguas drenadas del acuífero (vertientes)
  - 2% pozos
- b) Actualmente la capacidad hídrica total (en términos medios anuales) estaría siendo explotada completamente, por lo que se esperaría un déficit a futuro. Ello debido principalmente al aumento de los requerimientos para consumo potable originados por el crecimiento urbano-industrial.
- d) En el caso del sistema de riego, éste puede optimizarse mediante la mejora en la forma de efectuar el riego e incorporar una mayor tecnificación.
- e) Bajo estas circunstancias y como una forma de prever en términos generales lo que ocurriría con los recursos hídricos del valle frente a un período hidrológico seco (incipiente en la actualidad) se operó el modelo de simulación bajo las condiciones señaladas en el punto 2, de lo cual se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En la zona de Albarracines, el descenso del nivel freático sería fuerte, como producto de la menor recarga que se verificaría aguas arriba. Al cabo de 5 años sería de 40 m., lo que pondría en serios problemas a los usuarios del sector y que emplean norias y pozos de poca profundidad. Además, se reduciría fuertemente el caudal de las vertientes locales (ver Cuadro 3, zona Cabuza-Albarracines).
- En el sector de Pago de Gómez, ubicado en un sector de intensa actividad agrícola y de bombeos para agua potable, el efecto de un período de sequía se evidenciaría al cabo de 3 años, lo que vendría a sumarse a los descensos producto del descenso dinámico ocasionado por el bombeo.
- En consecuencia, la situación del valle en cuanto a recursos hídricos es bastante limitada en la actualidad, pudiendo preverse que nuevas captaciones de agua subterránea ocasionarían significativos descensos, aún cuando se considere una disponibilidad de recursos hídricos superficiales (que alimentan al acuífero) correspondientes a un período húmedo (20% de probabilidad de excedencia).
- La existencia de un hipotético período seco (tipo 70%) tendría un efecto casi inmediato en la zona alta del valle cultivado, con el resultado de un abatimiento de los niveles de hasta 40 m. al cabo de 5 años. En Pago de Gómez, el efecto se haría sentir con un desfase de cerca de 3 años, a partir de los cuales el descenso se superpondría al debido bombeo pudiendo llegarse a descensos de 60 m. al cabo de 10 años.
- A modo de conclusión, en el valle no habría disponibilidad de recursos suficientes como para que se siga aumentando la explotación del acuífero. En la zona de la ciudad, en donde los bombeos son destinados en gran medida al agua potable, el efecto de un período seco se estima que se haría sentir al cabo de 5 años. Esto incidiría peligrosamente en el fenómeno (aún incipiente) de intrusión marina, el cual tendría como efecto la contaminación paulatina del agua que consume parte de la población.

REFERENCIA

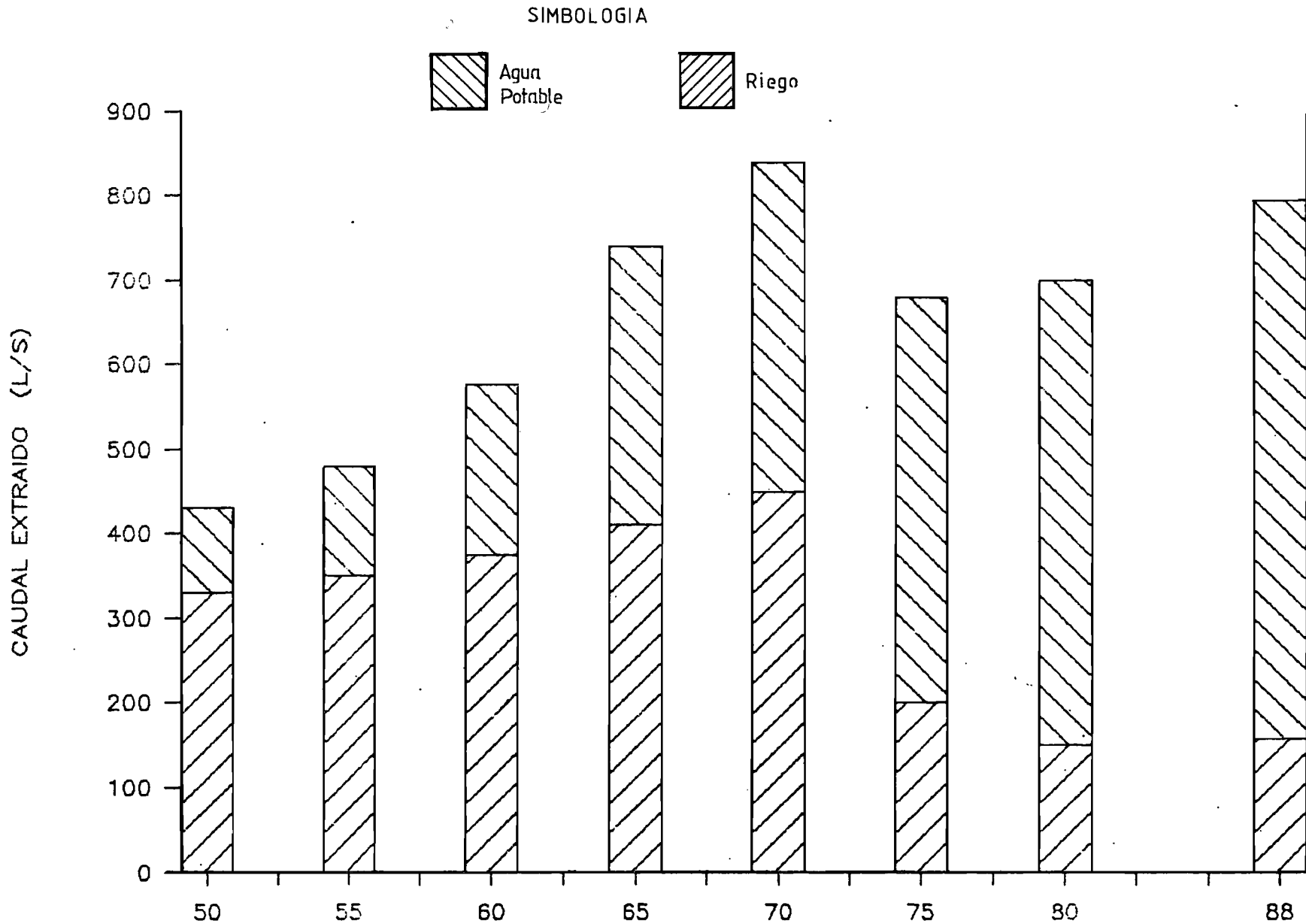
Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa. Informe y Manual de Uso del Modelo. Ayala Cabrera y Asoc. Ltda. para la Dirección General de Aguas, 1989.



FIGURA 1

# CAUDALES HISTORICOS DE A. SUBTERRANEAS

VALLE DE AZAPA



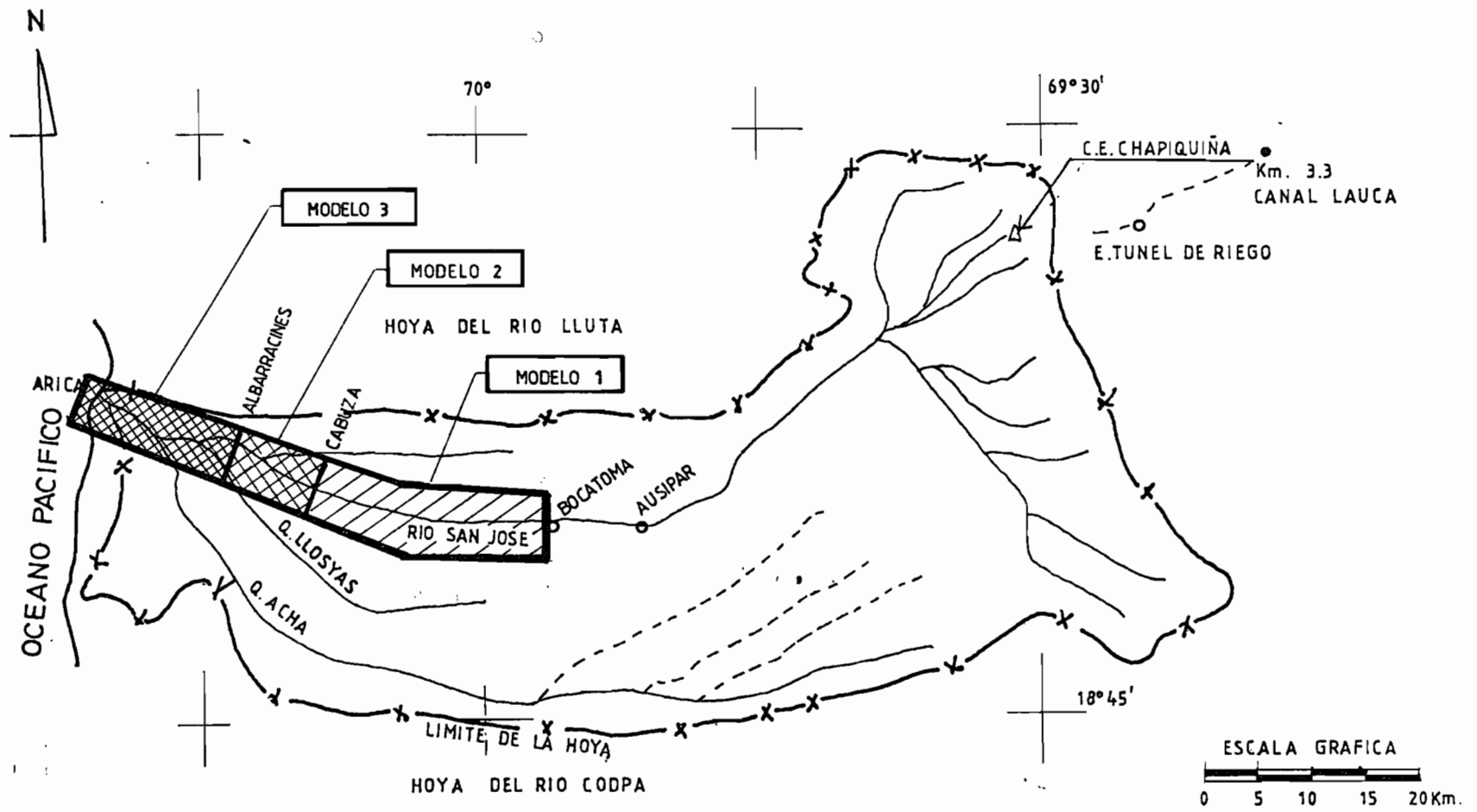
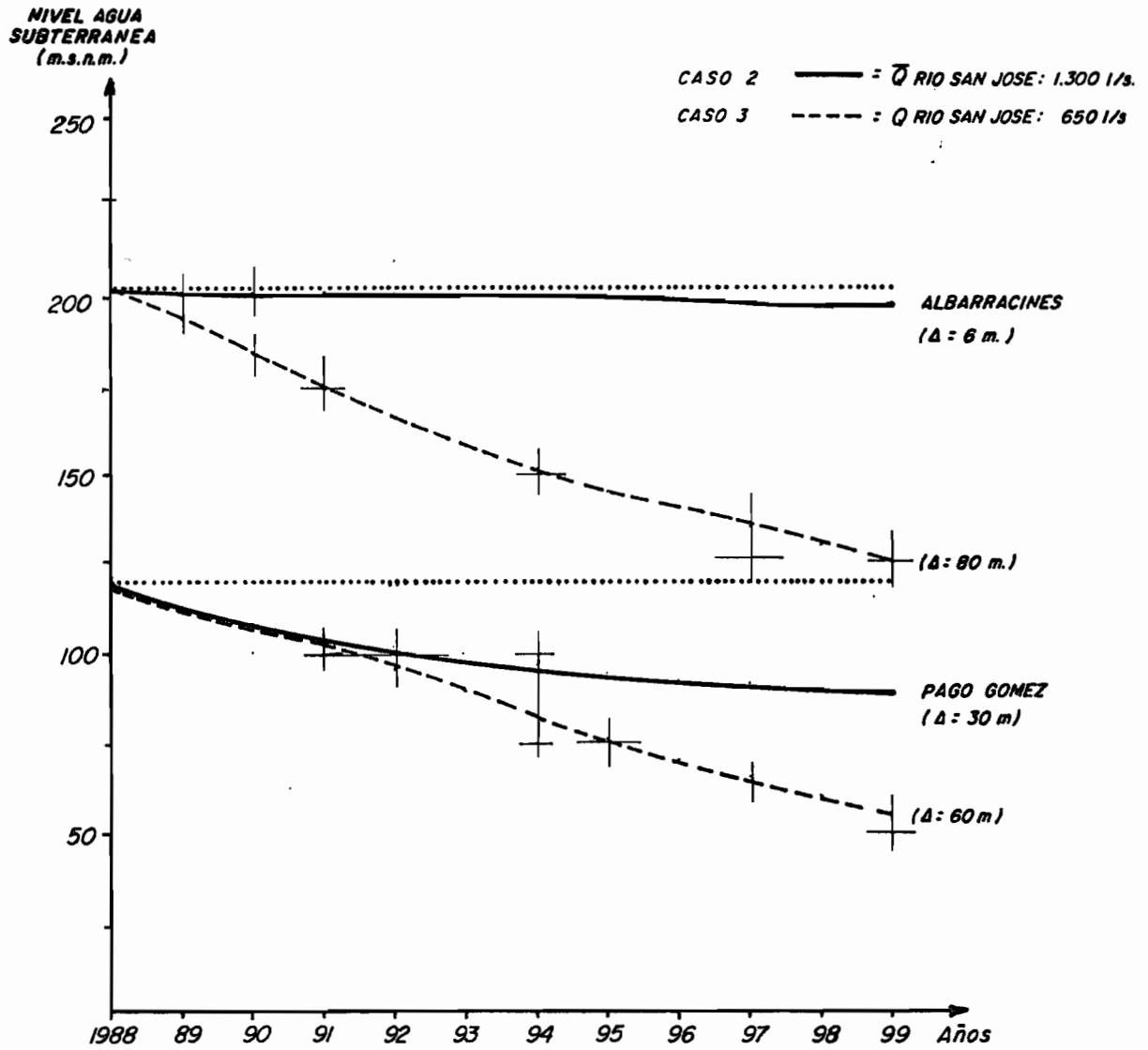


FIGURA 2

SECTOR MODELADO DEL VALLE DE AZAPA.

FIGURA 3  
**PROYECCION EXPLOTACION A. POTABLE**  
**NIVELES SIMULADOS**  
 1989-1999



C U A D R O 1. Caudales río San José

Río San José antes Bocatoma Canal Azapa

Prob. excedencia	$\bar{Q}$ anual
%	(l/s)
20	1300
40	1000
50	850
60	700
80	500
<hr/>	
Promedio (1965/1984)	976

CUADRO 2. PROYECCION EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS  
 PARA AGUA POTABLE  
 (Caso 2 y 3)

A Ñ O	TOTAL (l/s)
1989	600
1990	614
1991	627
1992	641
1993	654
1994	668
1995	683
1996	696
1997	710
1998	723
1999	738

LOCALIZACION BOMBEO

ADICIONAL : SECTOR PAGO GOMEZ

CUADRO 3 BALANCE HIDRICO POR SECTORES (1/s)  
AÑO 1999

CASO 1. Mantención de situación actual

—  
Q RIO SAN JOSE (ANTES BOCATOMA) = 1.300 1/s  
—  
Q CANAL AZAPA = 860 1/s

S E C T O R				
COMPONENTE	BOCATOMA C. AZAPA CABUZA	CABUZA ALBARRACINES	ALBARRACINES DESEMBOCADURA	VALLE
	(1/s)	(1/s)	(1/s)	(1/s)
PERC. RIO	144	42	62	248
" CANALES	64	20	17	101
RIEGO	153	192	211	556
A. P.			3	3
POZOS Y NORIAS		-49	-600	-649
VERT.		-244	-316	-560
ENT. SUBT.	300	618	515	300
SAL. SUBT.	-618	-515	-37	-37
V. ALMAC.	+ 43	+ 64	+ 145	-38

CUADRO 3 (Continuación)

CASO 2 PROYECCION EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS  
PARA CONSUMO POTABLE

—  
Q RIO SAN JOSE (ANTES BOCATOMA) = 1.300 l/s

—  
Q CANAL AZAPA = 860 l/s

COMPONENTE	S E C T O R E S			
	BOCATOMA C. AZAPA CABUZA	CABUZA ALBARRACINES	ALBARRACINES DESEMBOCADURA	VALLE
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
PERC. RIO	144	42	62	248
" CANALES	64	20	17	101
" RIEGO	153	194	211	558
" A. P.	-	-	3	3
POZOS Y NORIAS	-	-49	-738	-787
VERT.	-	-249	-310	-559
ENT. SUBT.	300	618	502	300
SAL. SUBT.	-618	-502	-43	-43
VAR. ALMAC.	+ 43	+ 74	+296	-179

CUADRO 3. (Continuación)

CASO 3. PROYECCION EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS  
PARA CONSUMO POTABLE

—  
Q RIO SAN JOSE (ANTES BOCATOMA) = 650 l/s  
—  
Q CANAL AZAPA = 570 l/s

S E C T O R E S				
COMPONENTE	BOCATOMA C. AZAPA CABUZA	CABUZA ALBARRACINES	ALBARRACINES DESEMBOCADURA	VALLE
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
PERC. RIO	41	12	18	71
" CANALES	55	18	15	88
" RIEGO	96	76	168	340
" A. P.	-	-	3	3
POZOS Y NORIAS	-	-49	-738	-787
VERT.	-	-51	-380	-431
ENT. SUBT.	300	358	323	300
SAL. SUBT.	-358	-323	(+ 30 )	+ 30
VAR. ALMAC.	+134	+ 41	-561	-386



A N E X O

CONCEPTUALIZACION DEL MODELO  
DE SIMULACION

1.- Caracterización del sistema subterráneo

Basada en la cantidad y calidad de la información,  
el funcionamiento del sistema y los requerimientos  
de operación del modelo.

COMPONENTE SUBTERRANEA:

SECTOR BOCATOMA - CABUZA ( 25 KM) --- modelo 1

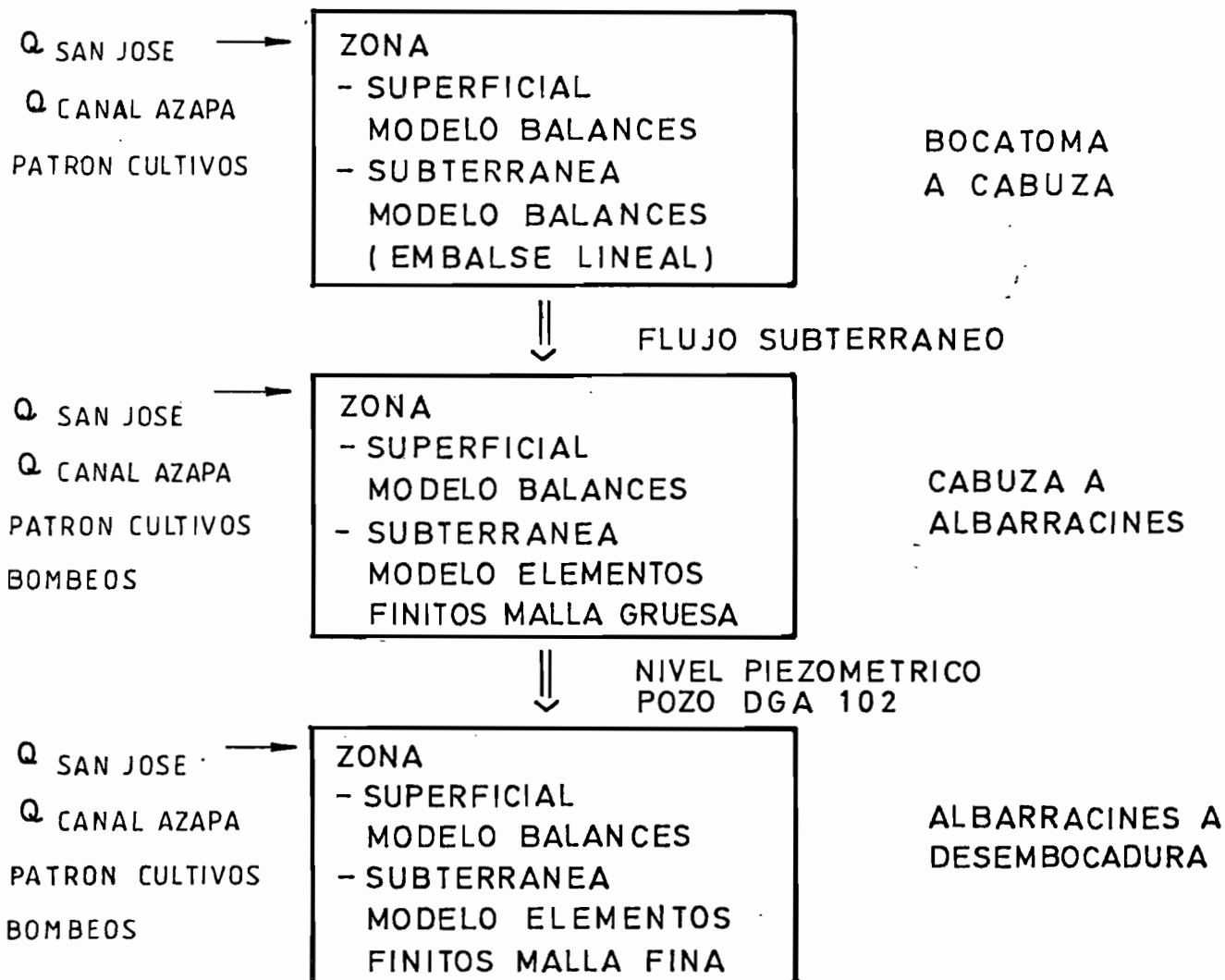
SECTOR CABUZA - ALBARRACINES ( 10 KM) - modelo 2

ALBARRACINES - DESEMBOCADURA ( 15 KM) - modelo 3

COMPONENTE ARTIFICIAL:

BOCATOMA CANAL AZAPA - ARICA ----- modelo superf.

# DIAGRAMA CONCEPTUAL MODELACION VALLE DE AZAPA



⇓ : FLUJO DE INFORMACION

→ : INFORMACION NECESARIA

## 2.- Modelación del Sistema

SECTOR BOCATOMA CANAL - CABUZA ( modelo 1 )

### Elementos modelados :

- Inf. río San José
  - Inf. Sistema de canales  
( Azapa y Derivados )
  - Inf. Sistema de riego
  - Embalse Subterráneo
- MODELO SUPERF.**
- 
- EMBALSE LINEAL**
- $$E - S = \frac{dV}{dt}$$
- $$V = KS$$

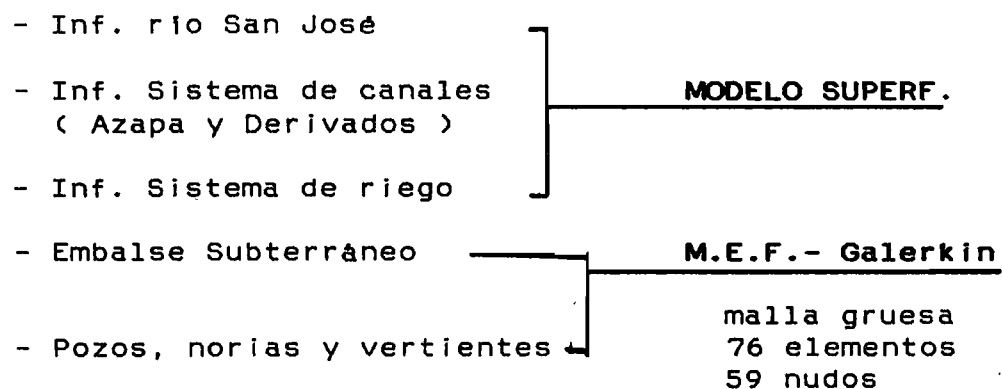
**Intervalo de simulación :** 1 mes

**Calibración :** K, de tal modo de reproducir el caudal subterráneo pasante al sector de aguas abajo (modelo 2)

Resultados se obtienen en forma agregada

SECTOR CABUZA - ALBARRACINES ( modelo 2 )

**Elementos modelados :**



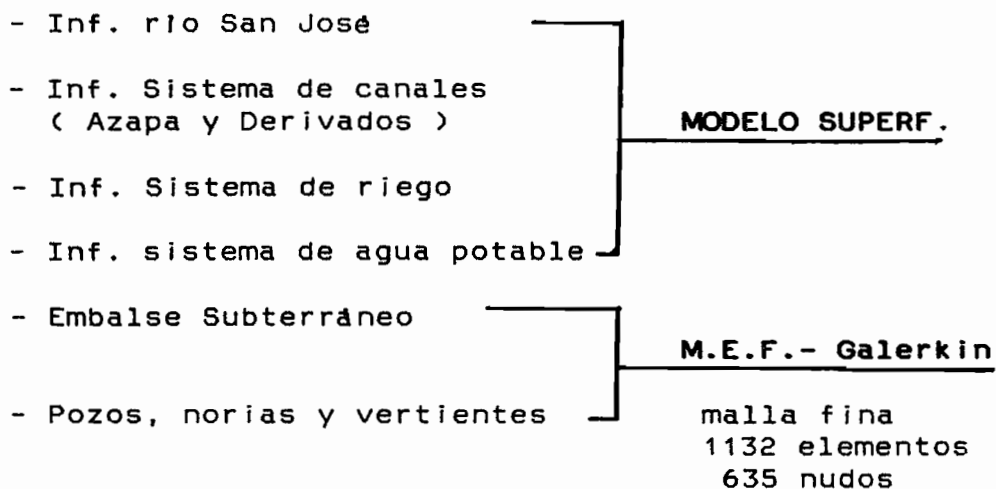
**Intervalo de simulación : 3 meses**

**Calibración :** Constantes del acuífero tales que reproduzcan los niveles del agua subterránea para un período histórico de 4 años ( 1976-1979)

**Validación :** Reproducción de los niveles del agua subterránea para el período 1979-1983

SECTOR ALBARRACINES - DESEMBOCADURA ( modelo 3 )

**Elementos modelados :**

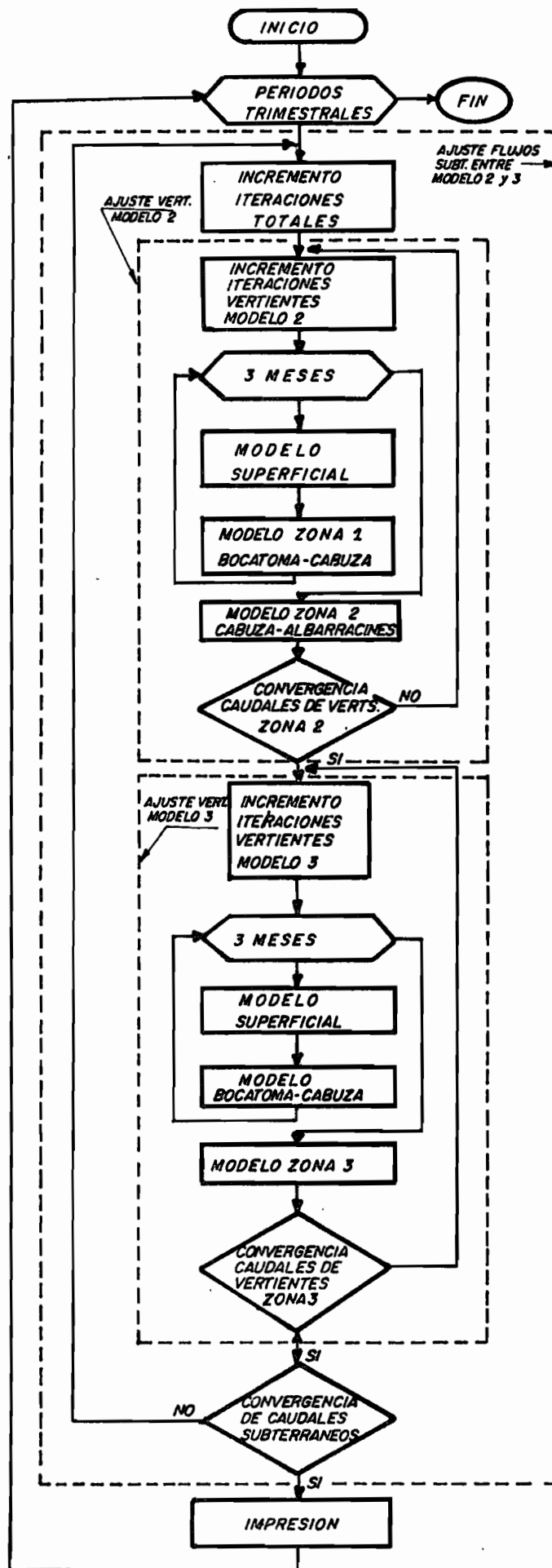


**Intervalo de simulación :** 3 meses

**Calibración :** Constantes del acuífero tales que reproduzcan los niveles del agua subterránea para un período histórico de 4 años ( 1976-1979 )

**Validación :** Reproducción de los niveles del agua subterránea para el período 1979-1983.

# FUNCIONAMIENTO INTEGRADO DEL MODELO DE SIMULACION



CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00005 2670