

M

O

P



**EL APROVECHAMIENTO DE
LOS RECURSOS HIDRICOS
EN CHILE Y EL MANEJO
DE CUENCAS**

DOCUMENTO DE SINTESIS Nº 2/91

**HUMBERTO PEÑA T.
INGENIERO CIVIL**

DGA

**DEPARTAMENTO
DE ESTUDIOS**

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

**EL APROVECHAMIENTO DE LOS
RECURSOS HIDRICOS EN CHILE Y EL
MANEJO DE CUENCAS**

DOCUMENTO DE SINTESIS N°2/91

*Documento presentado al I Congreso Latinoamericano
de Manejo de Cuencas Hidrográficas*



Realizado por:

Ing. H. Peña T.

EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN CHILE Y EL MANEJO DE CUENCAS

Humberto Peña T.
Dirección General de Aguas (MOP)
Morandé 59 Santiago-Chile

1. INTRODUCCION

El desarrollo socio-económico de una cuenca establece diversas demandas sobre sus recursos naturales básicos, a la vez que resulta condicionado por ellos. En este sentido, la abundancia relativa de los distintos recursos es un antecedente importante en la formulación de una política de desarrollo de la cuenca, ya que define situaciones que se pueden considerar como cualitativamente diferentes. Una consecuencia de lo anterior es que iniciativas en campos tales como el económico, social y legislativo debieran considerar las necesarias adaptaciones a las condiciones específicas de cada cuenca

En el caso de Chile resulta especialmente necesario establecer con claridad los rasgos particulares de las distintas cuencas debido a la amplia variedad de condiciones climáticas, hidrológicas y geomorfológicas que presentan, lo que se une a los diferentes niveles de desarrollo socio-económico, poblamiento, etc,. En este contexto, la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos constituye un rasgo central debido a la aridez de gran parte de su territorio y a la importancia económica de los recursos hídricos. Al respecto baste señalar que aproximadamente un 65% de su producción agropecuaria proviene de zonas regadas artificialmente y cerca del 60% de la potencia eléctrica instalada es de carácter hidromecánico

De acuerdo a lo anterior, el presente informe tiene por propósito caracterizar la situación de las cuencas del país mediante la definición de algunos indicadores cuantitativos, relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos

2. CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS EN FUNCION DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

En la definición de los distintos índices se ha buscado resumir en forma sencilla y en base a antecedentes relativamente fáciles de obtener, los elementos esenciales que caracterizan el uso del agua en la cuenca. Los aspectos específicos que se consideraron en esta definición fueron:

i) Las características climáticas e hidrológicas básicas

ii) La importancia del aprovechamiento de los recursos hídricos en relación a su disponibilidad

iii) La importancia relativa de los distintos usos desde el punto de vista de los recursos utilizados.

iv) La importancia de las actividades asociadas al aprovechamiento de los recursos hídricos en relación al uso del territorio.

v) La magnitud de la explotación de las aguas subterráneas en comparación a otras fuentes.

De acuerdo a lo anterior se procedió a definir los siguientes índices representativos:

a) Precipitación media sobre la cuenca. $P_p(\text{mm})$.

b) Porcentaje del caudal medio afluente al valle, que se vierte finalmente al océano. $Q_s/Q_a (\%)$

Este parámetro pretende informar acerca de la intensidad del aprovechamiento de los recursos hídricos a nivel de la cuenca. Es conveniente señalar que se ha optado trabajar con los caudales afluentes al valle y no con la escorrentía total generada en la cuenca considerando que en el caso chileno los antecedentes disponibles en este último punto son de inferior calidad. Además este criterio tiene la ventaja de no tomar en cuenta los caudales que se generan en los sectores ubicados próximos a la desembocadura, los cuales resultan de difícil aprovechamiento.

Una limitación de este índice es que no toma en consideración la variabilidad de los caudales, lo que tiende a producir una subestimación del grado de aprovechamiento, debido al efecto que tienen sobre los promedios los sobrantes que se producen con ocasión de crecidas esporádicas. Por esta razón se ha incluido en forma complementaria un segundo índice, $Q_{ms}/Q_a (\%)$, muy similar al anterior, pero que reemplaza el caudal medio sobrante de la cuenca por el caudal mínimo histórico observado en dicho lugar. De este modo se tiene información de la intensidad del uso en los períodos críticos.

c) Caudales derivados para distintos tipos de aprovechamiento consuntivo (agua potable, abastecimiento minero e industrial, riego), expresados como porcentaje del caudal medio afluente al valle: $Q_{ap}/Q_a (\%)$; $Q_{mi}/Q_a (\%)$; $Q_r/Q_a (\%)$.

Estos índices tipifican la naturaleza de los usos predominantes y su importancia en relación al caudal existente. Es importante observar que en general una proporción significativa de los caudales derivados retornan a los cauces, experimentando la consiguiente degradación de su calidad si no se hacen los tratamientos de las aguas residuales. De este modo los indicadores propuestos también entregan información respecto al grado de contaminación de los recursos hídricos de la cuenca.

d) "Productividad" del caudal afluente, expresado en unidades físicas de los distintos elementos que utilizan el recurso hídrico por unidad de caudal: agua potable, R_{ap} (habitante/m³/s); riego, R_r (há/l/s); potencia hidroeléctrica instalada, R_{pt} (mw/m³/s); minería, R_{mn} (ton/m³/s); etc.

En este caso también es de interés señalar que estos indicadores pueden interpretarse desde el punto de vista de la contaminación que pudieran originarse en los distintos usos.

e) Abastecimiento desde fuentes de agua subterránea, como porcentaje del caudal afluente. Q_{sb}/Q_a (%).

Con este parámetro se pretende cuantificar la intensidad de la explotación de este tipo de recursos.

f) Superficie regada como porcentaje de la superficie total de la cuenca. S_r/S_t (%).

Este parámetro cuantifica la magnitud de la alteración que introduce el riego en el uso del territorio y en consecuencia da información acerca de la importancia de las prácticas propias de la agricultura de riego en ciertos problemas de las cuencas. Un índice similar se puede utilizar en relación a otros usos del suelo, por ejemplo el uso urbano.

3. CARACTERIZACION DE CUENCAS CHILENAS. ANALISIS DE RESULTADOS.

Siguiendo la metodología señalada, se ha procedido a caracterizar 12 cuencas hidrográficas chilenas, que, cubren gran parte de la región de mayor actividad económica y más poblada del país. En los cuadros n 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se presentan los indicadores definidos en el capítulo anterior correspondientes a dichas cuencas.

En la preparación de los cuadros se utilizó información de diversas fuentes y con distintos niveles de precisión, sin embargo considerando el objetivo de caracterización general que anima el presente trabajo, se estima que resulta perfectamente aceptable.

Cabe advertir que los caudales para uso doméstico fueron estimados en forma referencial adoptando una dotación de 250 l/hab/día. De la misma forma los caudales derivados para riego se estimaron en base a una dotación media de 12000 m³/ha/año. En relación a los caudales de agua subterránea se usó una información catastral que entrega la capacidad instalada y no el uso efectivo, valor que es considerablemente menor, por lo tanto se debe entender la validez de esos antecedentes sólo como un índice de comparación.

Para una más fácil visualización de los resultados contenidos en los cuadros se han preparado los diagramas de las figuras 1 a 6 .

El análisis de estos antecedentes permite efectuar los siguientes comentarios:

i) Las cuencas estudiadas que se ubican al norte del río Aconcagua presentan en promedio sobrantes muy escasos y en algunas cuencas ellos son inexistentes. Inclusive en las condiciones de sequías extremas los caudales resultan prácticamente nulos hasta la cuenca del río Rapel (cuadro n 2, fig. 1). Algunos casos que se aprecian relativamente anómalos por la magnitud de sus sobrantes, por ejemplo las cuencas de los ríos Lluta y Loa, se explican por la deficiente calidad de sus aguas que los hacen inutilizables para ciertos usos. La comparación entre los resultados obtenidos con los sobrantes medios y los sobrantes mínimos indican que sin la introducción de nuevos elementos de regulación o en su defecto de una mayor explotación de las aguas subterráneas, no es posible aumentos significativos de los aprovechamientos, sin disminuir la seguridad de abastecimiento.

La menor intensidad con que se realiza el aprovechamiento de los recursos hídricos y el aumento de la pluviosidad que se presenta desde la cuenca del río Rapel hacia el sur significa que los caudales sobrantes sean superiores a los que ingresan al valle, es decir los consumos netos promedio no superan la escorrentía generada.

ii) La información del cuadro n 3 , fig.2 refleja el grado de competencia entre los distintos usos consuntivos. En él se distingue una zona ubicada de la cuenca del río Maipo al norte, en la cual los usos no agrícolas compiten en forma significativa con el riego, representando más del 10% del caudal derivado y otra, al sur de dicha cuenca, en la que el riego es el único uso consuntivo de importancia.

En la primera zona, conviene distinguir además un grupo de cuencas formado por los ríos San José y Loa y por la Pampa del Tamarugal en el que los usos no agrícolas derivan del orden del 30% del caudal afluente.

Otro aspecto que conviene destacar es que con la excepción de las cuenca de los ríos Maule y Bio-Bio, los caudales derivados son en promedio de un orden de magnitud muy similar al caudal medio afluente. Este resultado se explica por el importante reuso

de las aguas que se observa en determinados meses del año .En este sentido se puede mencionar que estimaciones efectuadas en la década de 1960, demostraban que la recirculación de las aguas era de hasta 4.5 veces.

iii) En relación a la "productividad" por unidad de caudal afluente, como es obvio se observan tendencias similares a las indicadas en ii)(cuadro n 4 ,fig 3 y 4) . De este modo, los valores de la productividad por habitante son extraordinariamente elevados en las fuentes de buena calidad del norte del país, donde se tiene hasta 120 hab./l/s, en el sector intermedio se ubica en un rango de aprox. 20-40 hab./l/s y en las cuencas al sur del río Maipo es inferior a 5 hab./l/s. "

Por su parte, la superficie regada por unidad de caudal no muestra tendencias muy definidas desde la cuenca del Rapel al norte, siendo las diferencias en esa zona consecuencia de la competencia de los usos alternativos, de restricciones originadas por el deterioro de la calidad del agua y de la disponibilidad de suelo.Las cuencas del sector sur (Maule y Bio-Bio) muestran claramente una mayor disponibilidad de recursos hídricos en relación al suelo.

En relación al uso hidroeléctrico se aprecia el aumento de su interés a partir de la cuenca del Maipo hacia el sur. Si se considera que la generación hidroeléctrica en una importante medida se hace modificando el escurrimiento natural al introducir una regulación artificial del caudal, se explica la competencia entre el sector energético y agrícola por los recursos hídricos de esas cuencas.

El análisis de los mismos indicadores en la condición hipotética de que se desarrollen efectivamente los nuevos proyectos propuestos, muestra la agudización de los conflictos entre ambos sectores a partir de la cuenca del río Aconcagua hacia el sur.(cuadro n 4 , fig.3 y 4).

iv)La elevada magnitud de los usos consuntivos que se observa en las cuencas del norte del país va asociada a la generación de residuos y a la disminución de los caudales de dilución. Es así como en la mayoría de esas cuencas se aprecian efectos importantes de salinización y existen riesgos de contaminación asociados a la actividad agrícola y minera.En relación a la contaminación por aguas servidas ,los problemas en la practica son menores de lo que se podría esperar, debido a que las principales ciudades del extremo norte del país vierten sus aguas residuales directamente al océano, con lo cual el impacto no se presenta en el medio fluvial.

v) El índice utilizado para evaluar la importancia del aprovechamiento de las aguas subterráneas (cuadro n 5, fig. 5) , permite distinguir claramente algunos acuíferos que presentan ,al menos potencialmente, un elevado nivel de uso, inclusive con riesgos de sobre-explotación (cuencas de los ríos San José,Pampa del Tamarugal y Copiapó); un segundo grupo de cuencas , que se

ubican al norte del río Maipo, que muestran un grado de explotación moderadamente alto, y finalmente las cuencas al sur de dicho río, en las cuales el aprovechamiento es insignificante

vi) En relación a la influencia de la actividades asociadas al aprovechamiento de los recursos hídricos sobre el uso del territorio (cuadro n 6 ,fig. 6), se puede apreciar la existencia de 2 zonas completamente diferentes . En la primera las áreas regadas resultan insignificantes en relación al tamaño de las cuencas (cuencas de Aconcagua al norte), mientras que en la segunda (del Maipo al sur) ellas representan valores del orden del 20%

5. CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de los resultados, desarrollado en el capítulo anterior, permite deducir algunas conclusiones generales tanto de carácter metodológico como relativas a la situación que se presenta en el país. A continuación se entregan las principales conclusiones obtenidas:

i) La definición de indicadores cuantitativos, constituye una herramienta de análisis que, aplicada con prudencia, permite precisar en forma más rigurosa y objetiva las características de las cuencas desde el punto de vista del aprovechamiento de sus recursos hídricos.

ii) En el caso de las cuencas chilenas incluídas en el informe, ubicadas entre los 18 y 42 lat. S., el análisis permite distinguir 4 zonas :

- Aproximadamente desde los 33 lat. S.(cuenca del río Aconcagua) hacia el norte (con algunas excepciones), donde existe un uso consuntivo de los recursos extraordinariamente intenso, con un elevado grado de competencia entre las demandas domésticas, mineras y agrícolas, y donde los usos hidroeléctricos son poco significativos. La magnitud de las extracciones obliga a efectuar reusos sucesivos del agua ,generando problemas de salinización. La explotación del agua subterránea en esta zona es en general importante ,por su parte el uso agrícola de la tierra representa una porción insignificante del total de la cuenca.

- Desde los 34 lat.S. (cuenca del río Rapel) hacia el sur, donde las limitaciones que introducen los recursos al desarrollo económico se refieren más bien a carencias de infraestructura hidráulica de aprovechamiento, especialmente en lo relativo a sistemas de regulación. En esta zona el uso más importante es el agrícola, el cual entra en conflicto con el desarrollo creciente de la generación hidroeléctrica. En esta zona los usos consuntivos no agrícolas y la explotación del agua subterránea resultan insignificantes.Por su parte, el uso del

suelo que hace la agricultura de riego representa una parte significativa de la superficie de las cuencas .

- La cuenca del río Maipo, (próxima a Santiago) constituye una situación excepcional , ya que en ella confluyen muchos de las características señaladas en las otras 2 zonas, estando además, como en ninguna otra, el problema del agua estrechamente ligado al desarrollo urbano y la consiguiente expansión del terreno edificado, aumento de las demandas de agua y problemas de disposición de aguas servidas.

**CUADRO N 1 CUENCAS ESTUDIADAS
ANTECEDENTES GENERALES**

cuenca	Lat. S.	Sup. km2	Poblac. hab.	pp mm
1 rio Lluta (1)	18	3.450	0	180
2 rio San Jose	18,5	3.070	145.000	79
3 Pampa del Tamar	20	33.900	121.000	48
4 rio Loa	22	18.000	330.000	40
5 rio Copiapo	28	18.800	84.000	94
6 rio Huasco	29	9.860	60.000	175
7 rio Elqui	30	9.650	224.000	179
8 rio Aconcagua	33	7.580	1.050.000	529
9 rio Maipo	33,5	15.200	4.390.000	663
10 rio Rapel	34	13.700	585.000	960
11 rio Maule	36	20.900	505.000	1470
12 rio Bio-Bio	37,5	24.800	1.000.000	1890

Observaciones:

Poblacion segun censo de 1982
Superficie y precipitacion segun Balance Hidrico de Chile (D.G.A.,1987)
(1): No se considera poblacion abastecida por deficiente calidad de las aguas

CUADRO N 2 CAUDALES AFLUENTES Y SOBRAINTES

cuenca	Qa m3/s	Qs m3/s	Qms m3/s	Qs/Qa %	Qms/Qa %
1 rio Lluta	2,3	1,4	0,09	60,9	3,9
2 rio San Jose	1,5	0,0	0,00	0,0	0,0
3 Pampa del Tamarugal	1,0	0,0	0,00	0,0	0,0
4 rio Loa	2,8	0,6	0,04	21,4	1,4
5 rio Copiapo	2,9	0,1	0,04	3,4	1,4
6 rio Huasco	3,5	1,7	0,30	48,6	8,6
7 rio Elqui	8,1	1,0	0,15	12,3	1,9
8 rio Aconcagua	38,0	30,0	0,00	78,9	0,0
9 rio Maipo	116,0	100,0	1,00	86,2	0,9
10 rio Rapel	130,0	174,0	1,00	133,8	0,8
11 rio Maule	257,0	569,0	58,00	221,4	22,6
12 rio Bio-Bio	639,0	1000,0	120,00	156,5	18,8

Observaciones:

Qa, Qs caudales medios. Fuente Balance Hidrico de Chile (D.G.A.,1987)
Qms: caudal minimo diario segun registro estadistico (periodo de control variable)

**CUADRO N 3 IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS DISTINTOS
APROVECHAMIENTOS**

cuenca	Rap	Rr	Rpt	Qap/Qa	Qr/Qa	Qmi/Qa
	hab/l/s	ha/l/s	mw/m3/s	%	%	%
1 rio Lluta	0	0,73	0,0	0,0	27,6	0,00
2 rio San Jose	97	2,67	6,8	28,0	101,5	0,00
3 Pampa del Tamarugal	121	0,11	0,0	35,0	4,2	0,00
4 rio Loa	118	0,51	0,0	34,1	19,6	45,00
5 rio Copiapo	29	2,73	0,0	8,4	104,1	7,24
6 rio Huasco	17	1,94	0,0	5,0	73,9	2,86
7 rio Elqui	28	2,47	0,0	8,0	94,0	6,17
8 rio Aconcagua	28	1,50	0,5	8,0	57,1	4,74
9 rio Maipo	38	1,72	2,2	11,0	65,6	3,45
10 rio Rapel	5	2,08	3,8	1,3	79,0	1,23
11 rio Maule	2	1,11	4,5	0,6	42,2	0,00
12 rio Bio-Bio	2	0,30	1,3	0,5	11,3	0,00

Observaciones:

Simbologia y antecedentes en relacion a informacion
basica utilizada se entrega en el texto

**CUADRO N 4 APROVECHAMIENTOS AGRICOLAS E HIDROELECTRICOS
SITUACION ACTUAL Y DESARROLLOS PROPUESTOS**

cuenca	Rr(a)	Rpt(a)	Rr(f)	Rpt(f)	
	ha/l/s	mw/m3/s	ha/l/s	mwt/m3/s	
1 rio Lluta	0,73	0,0	0,73	0,0	
2 rio San Jose	2,67	6,8	2,67	6,8	
3 Pampa del Tamarugal	0,11	0,0	0,11	0,0	(1)
4 rio Loa	0,51	0,0	0,51	0,0	
5 rio Copiapo	2,73	0,0	2,73	0,0	
6 rio Huasco	1,94	0,0	2,43	0,6	
7 rio Elqui	2,47	0,0	3,05	0,0	
8 rio Aconcagua	1,50	0,5	2,38	4,4	
9 rio Maipo	1,72	2,2	2,89	8,3	
10 rio Rapel	2,08	3,8	2,50	6,1	
11 rio Maule	1,11	4,5	1,56	7,6	
12 rio Bio-Bio	0,30	1,3	0,37	5,2	

Observaciones:

Desarrollos agricolas segun proyectos estudiados por
Com. Nac. de Riego, hidroelectricos de distintas fuentes
(1): No considera consumo de tamarugos

CUADRO N 5 APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

cuenca	Qa m3/s	Qsb m3/s	Qsb/Qa %	
1 rio Lluta	2,3	0,08	3,5	
2 rio San Jose	1,5	0,73	48,7	
3 Pampa del Tamarugal	1,0	1,94	194,0	
4 rio Loa	2,8	0,40	14,3	
5 rio Copiapo	2,9	3,42	117,9	(1)
6 rio Huasco	3,5	0,42	12,0	
7 rio Elqui	8,1	1,04	12,8	
8 rio Aconcagua	38,0	6,00	15,8	
9 rio Maipo	116,0	34,20	29,5	
10 rio Rapel	130,0	5,45	4,2	
11 rio Maule	257,0	1,95	0,8	
12 rio Bio-Bio	639,0	2,43	0,4	

Observaciones:

Datos de Qsb se refieren a capacidad de pozos profundos con bomba instalada, segun Celedon (1978)

(1): En la actualidad la capacidad instalada es 5 veces mayor

CUADRO N 6 USO DEL SUELO POR APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

cuenca	Sup.Tot. km2	Sup.riego ha	Sr/St %	
1 rio Lluta	3.450	1.670	0,5	
2 rio San Jose	3.070	4.000	1,3	
3 Pampa del Tamarugal	33.900	110	0,0	
4 rio Loa	18.000	1.440	0,1	
5 rio Copiapo	18.800	7.930	0,4	
6 rio Huasco	9.860	6.800	0,7	
7 rio Elqui	9.650	20.000	2,1	
8 rio Aconcagua	7.580	57.000	7,5	
9 rio Maipo	15.200	200.000	13,2	(1)
10 rio Rapel	13.700	270.000	19,7	
11 rio Maule	20.900	285.000	13,6	
12 rio Bio-Bio	24.800	190.000	7,7	

Observaciones:

Antecedentes de Balance Hidrico de Chile (DGA,1987); Comision Nacional de Riego y otras fuentes.

(1): Se debe agregar el uso urbano, que representa un 4 % de la cuenca.

**FIG.1 CAUDAL SOBRENTE MEDIO Y MINIMO
EN FUNCION DE CAUDAL MEDIO AFLUENTE**



**FIG.2 APROVECHAMIENTOS EN FUNCION
CAUDAL MEDIO AFLUENTE**

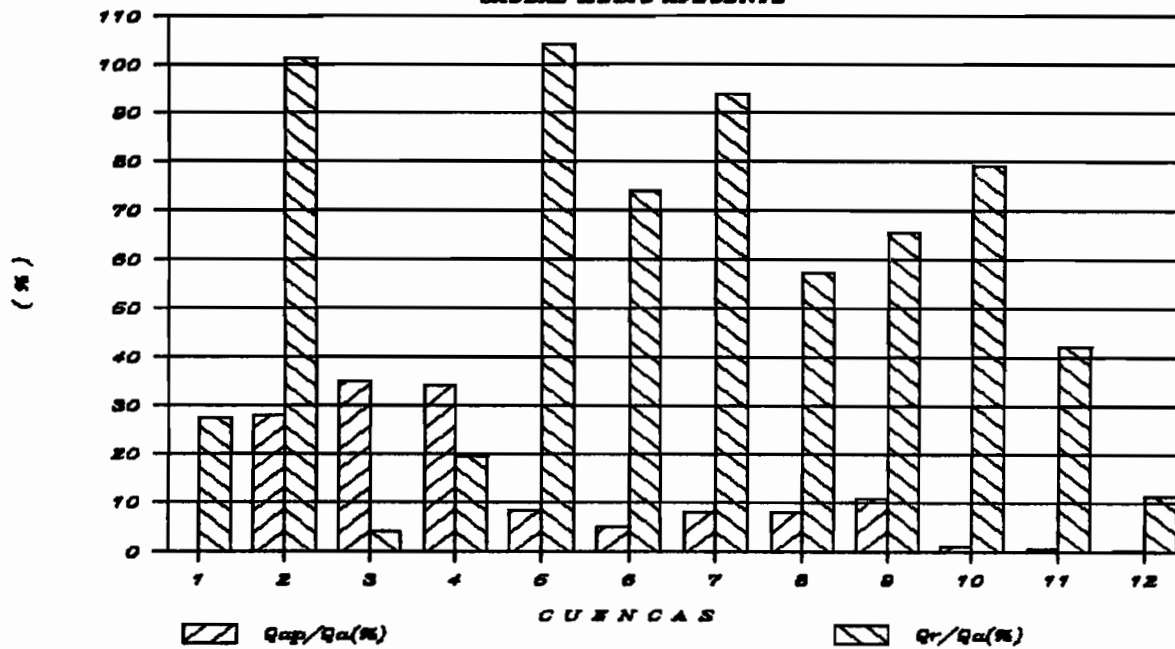


FIG.3 Sup.regada por unidad de caudal
actual y propuesta

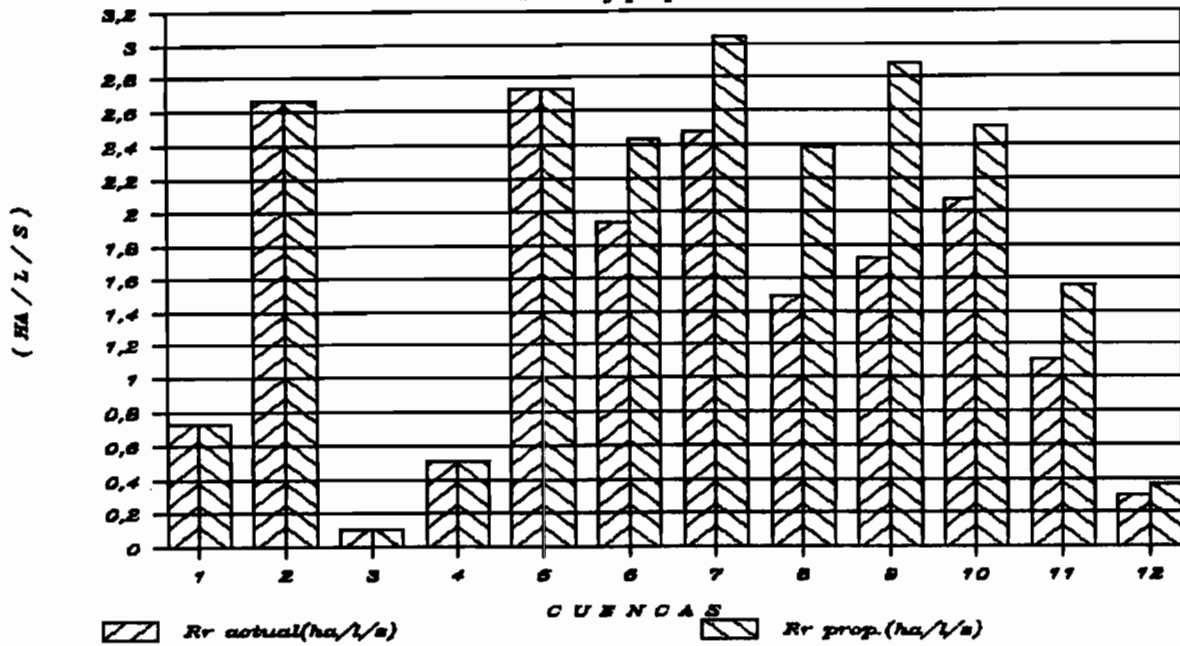
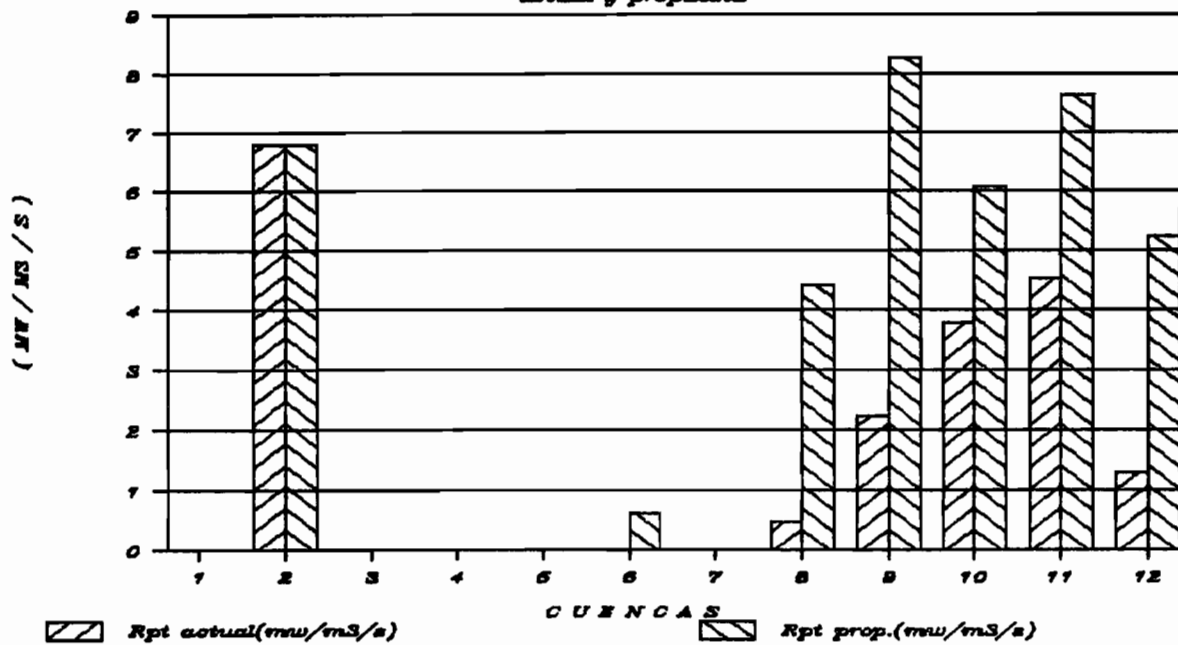
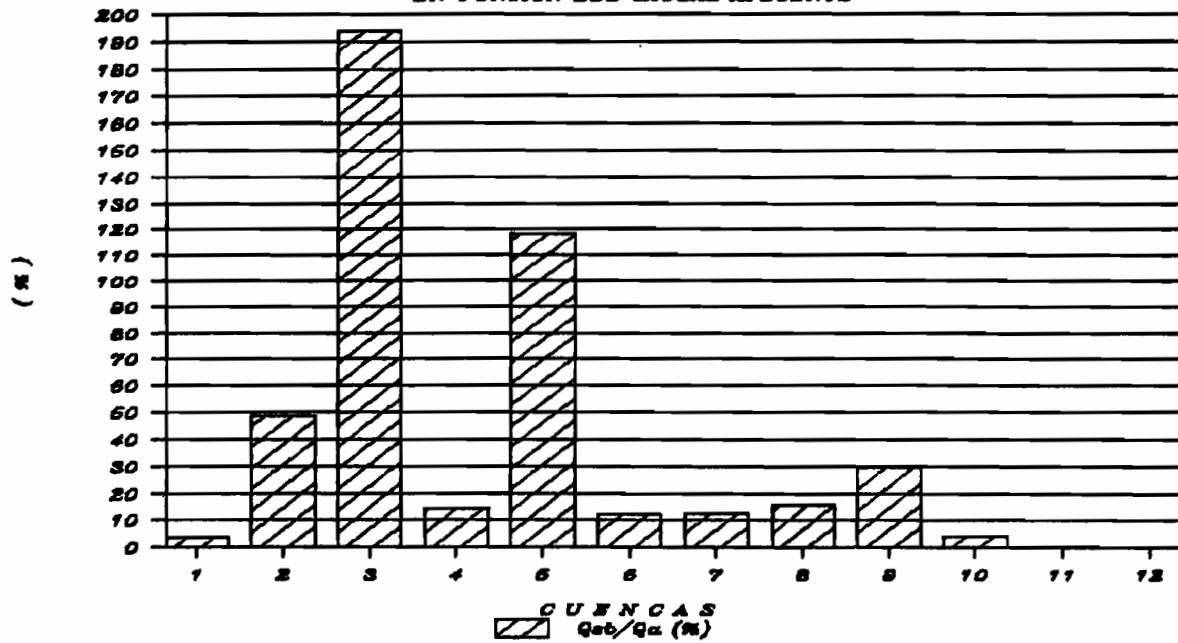


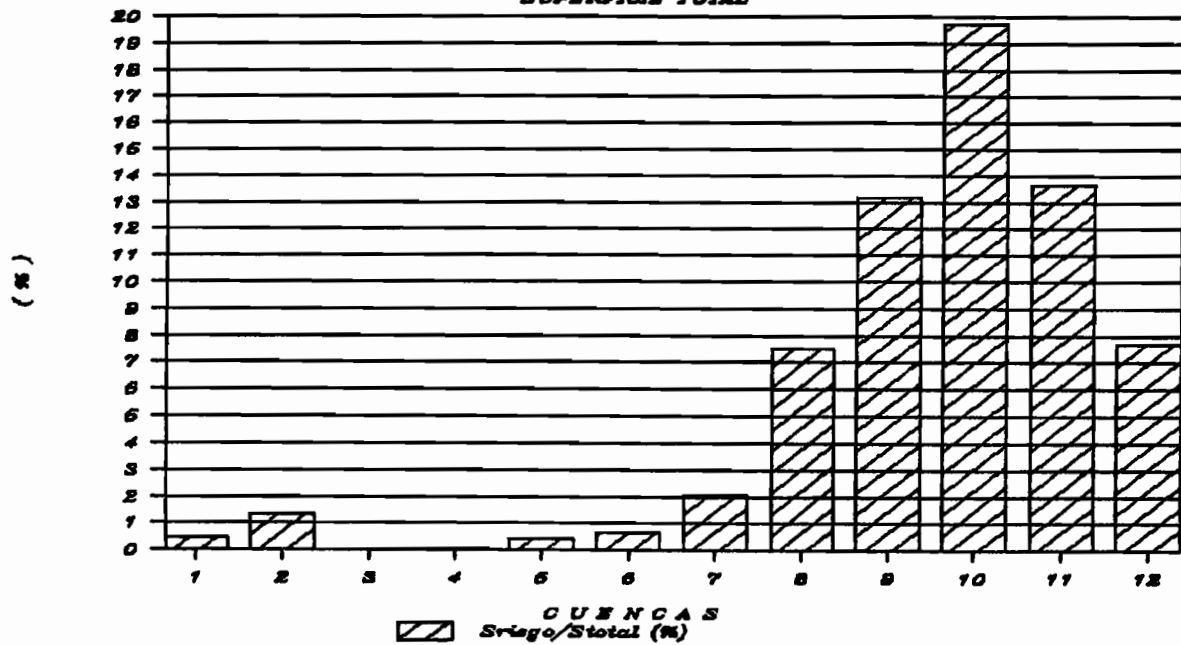
FIG.4 Pot.instal. por unidad de caudal
actual y propuesta



**FIG.5 USO DEL AGUA SUBTERRANEA
EN FUNCION DEL CAUDAL AFLUENTE**



**FIG.6 SUPERFICIE REGADA VS
SUPERFICIE TOTAL**



CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00007 3643