

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

MODELO DE SIMULACIÓN QUEBRADA LOS CHOROS

**Evaluación de los Recursos Hídricos
en la Quebrada Los Choros,
IV región de Coquimbo.**

INFORME TÉCNICO

REALIZADO POR:

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

S.I.T. N°96

SEPTIEMBRE 2004

EQUIPO DE TRABAJO

**Dirección General de Aguas
Departamento Estudios y Planificación (DEP)**

Ing. Jefe Depto.: Sr. Carlos Salazar M.

Ing. Jefa Área Modelación: Sra. Ana María Gangas P.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS.....	5
2. ANTECEDENTES GENERALES	7
2.1. HIDROLOGÍA.....	8
Pluviometría.....	8
Fluviometría.....	11
2.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	12
Geomorfología.....	12
Geología.....	12
Geofísica	13
2.3. HIDROGEOLOGÍA	15
Niveles de agua subterránea.....	16
Parámetros elásticos	23
Recargas y Descargas	24
2.4. EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS	25
3. OBSERVACIONES AL ESTUDIO DE GCF	28
4. MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA	29
4.1. Metodología para el Cálculo de Caudales de Recarga.	29
4.2. Datos de Entrada.....	36
4.3. Funcionamiento de la Planilla.....	38
4.4. Escenarios de Simulación	42
4.5. Resultados.....	44
5. CONCLUSIONES.....	51
6. RECOMENDACIONES	52
ANEXOS	53
ANEXO A: Descripción Modelo Pluvial de Generación Sintética de Caudales MPL.	
ANEXO B: Caudales Medios Mensuales Sintéticos para los sectores de Quebrada Los Choros.	
ANEXO C: Caudales de Bombeo Otorgados y Solicitados a diciembre 2003. Ubicados por sector de Modelación.	
ANEXO D: Resultados Gráficos de cada uno de los escenarios de simulación.	

INDICE

TABLAS, FIGURAS y GRÁFICOS

	Pág
Tabla 2.1: Estaciones de medición de niveles DGA.	16
Tabla 2.2: Permeabilidades estimadas por Sector	23
Tabla 2.3: Situación Derechos de Aprovechamientos DARH-DGA.	27
Tabla 4.1: Evaporación mensual (mm)	29
Tabla 4.2: Parámetros utilizados por el Modelo MPL	30
Tabla 4.3: Estadística Pluviométrica Estación Base	31
Tabla 4.4: Factores de Transposición "A" por Sector	32
Tabla 4.5: Resultados balance hidrico Qda Choros.....	33
Tabla 4.6: Valores de los parámetros utilizados en el MPL	33
Tabla 4.7: Resumen caudales generados por MPL.....	33
Tabla 4.8: Cálculo de tasas de infiltración	36
Tabla 4.9: Características Geométricas y Permeabilidades	37
Tabla 4.10: Ejemplo de formato de los valores de Datos de Entrada del Modelo Los Choros.....	40
Tabla 4.11: Ejemplo de formato de los valores de Resultados del Modelo Choros. Hoja "Modelo".....	41
Tabla 4.12: Caudales Otorgados. Escenario 1	43
Tabla 4.13: Caudales Otorgados más solicitados.....	43
Tabla 4.14: Resultados Escenario 1, derechos constituidos a agosto 2002.....	44
Tabla 4.15: Resultados Escenario 2, derechos constituidos y solicitados hasta diciembre 2003.....	46
Tabla 4.16: Resultados Escenario 3. Caudal Sustentable.....	48
Tabla 4.17: Resumen Caudales Factibles de Explotar.	48
Figura 1.1: Mapa de Ubicación Cuenca Quebrada Los Choros.....	6
Figura 2.1: Ajuste precipitación, en función de la altitud.....	8
Figura 2.2: Estaciones Pluviométricas Qda Los Choros	9
Figura 2.3: Geología sector Quebrada Los Choros.	14
Figura 2.4: Puntos de Monitoreo Niveles DGA.	17
Figura 2.5: Situación explotación 1971	25
Figura 2.6: Situación explotación 2004.	26
Figura 4.1: Esquema conceptual para estimación de Recarga.....	34
Gráfico 2.1: Precipitaciones Anuales registradas en cuenca Los Choros	10
Gráfico 2.2: Niveles Observados DGA en sector 2 Choros Bajos.....	18
Gráfico 2.3: Niveles Observados DGA en sector 3 Choros Alto.....	19
Gráfico 2.4: Niveles Observados DGA en sector 3 Choros Alto.....	20
Gráfico 2.5: Niveles Observados DGA en sector 4 Punta Colorada	21
Gráfico 2.6: Niveles Observados DGA en sector 5 Tres Cruces.....	22
Gráfico 4.1: Relación Precipitación-Escorrentía.....	32
Gráfico 4.2: Variación de Niveles Escenario 1	45
Gráfico 4.3: Variación de Niveles Escenario 2	47
Gráfico 4.4: Variación de Niveles Escenario 3	49

1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

El presente informe surge a partir de los requerimientos de análisis efectuados por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) en el mes de marzo del 2004 al Departamento de Estudios y Planificación (DEP) DGA como apoyo para la evaluación del recurso hídrico subterráneo en la Cuenca Quebrada Los Choros, región de Coquimbo, IV región.

El análisis de la situación del recurso tiene directa relación con el informe "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA QUEBRADA LOS CHOROS" presentado por GCF Ingenieros Consultores Ltda. (en adelante informe GCF 2004) y enmarcado en la solicitud de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cuenca de Qda. Los Choros por parte de la empresa Construcciones y Maquinarias BSF Ltda.

El presente Informe técnico, tiene como objetivo principal evaluar el recurso hídrico subterráneo analizando escenarios futuros de explotación utilizando el modelo presentado en dicho informe, incluidas las observaciones efectuadas por la DGA al informe GCF 2004.

Se incluyen los resultados del balance hídrico de la cuenca por sectores, los mismos adoptados por GCF, para lo cual se simularon 3 escenarios:

- Evaluación del efecto de la explotación del acuífero de los derechos de agua actualmente constituidos por la DGA en toda la cuenca de Qda. Los Choros.
- Evaluación del efecto del bombeo de la explotación del acuífero con los derechos otorgados sumados los solicitados o en trámite hasta el 2003.
- Determinación del caudal sustentable máximo admisible por el acuífero de la Qda. Los Choros.

Es importante señalar que el presente informe incluye adicionalmente antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos y geológicos, como parte de los trabajos que están siendo desarrollados por el Depto. Estudios y Planificación, en particular el Área Modelación, Modelación Hidrogeológica en la Cuenca de Quebrada Los Choros, mediante la memoria de Tesis de Ingeniería, Universidad de Concepción, del Alumno Álvaro Chávez.



Figura 1.1: Mapa de Ubicación Cuenca Quebrada Los Choros

2. ANTECEDENTES GENERALES

En la figura 1.1, se puede observar la ubicación espacial de la cuenca Quebrada Los Choros, ubicada entre las coordenadas UTM Norte 6.720.000 y 6.780.000, y UTM Este 360.000 y 270.000, Datum PSAD 56, Huso 19.

El área total de la cuenca Quebrada Los Choros es de 4.058 km².

La precipitación media anual de la cuenca, considerando el Balance Hídrico de Chile 1987 varía entre 50 y 150 mm/año.

La Temperatura media anual en la cuenca, obtenida por interpolación con estaciones vecinas (Balance Hídrico de Chile 1987) y mediante la curva temperatura-elevación, varía en el rango de 0°C a 16°C.

Las principales centro urbanos lo componen los poblados de Punta Colorada, El Trapiche, Choros Bajos y la Higuera, siendo este último el mayor de ellos con una población de aproximadamente de 1100 háb. (Fuente censo 1992). El resto de los poblados son cercanos a los 200 háb.

La principal actividad económica de la cuenca corresponde a la pequeña minería y al riego. Si bien, los grandes yacimientos que alguna vez dieron alta rentabilidad económica al sector de Qda. Choros ya no existen, aun permanecen, pero en menor escala. La Minera el Tofo, la cual capta sus aguas de afloramientos del acuífero en el sector de confluencia de Choros Altos y Qda Choros, transporta permanentemente en camiones el agua al sector de las faenas de la Minera.

2.1. HIDROLOGÍA

Pluviometría

En la cuenca, existen 3 estaciones con control pluviométrico por parte de la DGA, estas son: Incahuasi, El Tofo y El Trapiche. Antiguamente existía una estación en el sector de Tres Cruces, mencionado en el Estudio “Hidrogeología de la Quebrada de Los Choros, CORFO – Peralta, F ; 1971.

En la Figura 2.2, se presenta la ubicación espacial de las estaciones. En los gráficos 2.1 adjuntos, se presentan los rangos de variación para registros anuales de medición.

De manera general se puede señalar que la estación El Tofo tiene un régimen local, con precipitaciones que son mayores que el resto de la cuenca y esto se debe al microclima que existe debido a la morfología del sector. La estación el Tofo no es representativa de la cuenca Los Choros, punto muy importante de considerar al momento de estimar las precipitaciones medias de la cuenca.

Las estaciones Incahuasi y Trapiche, presentan precipitaciones medias anuales menores a los 50 mm/año, con variaciones temporales en años secos y húmedos que tienen un rango de 0 hasta más de 100 mm/año.

La figura 2.1 muestra la variación espacial de las precipitaciones en la cuenca de la Qda. Los Choros en relación con la altitud.

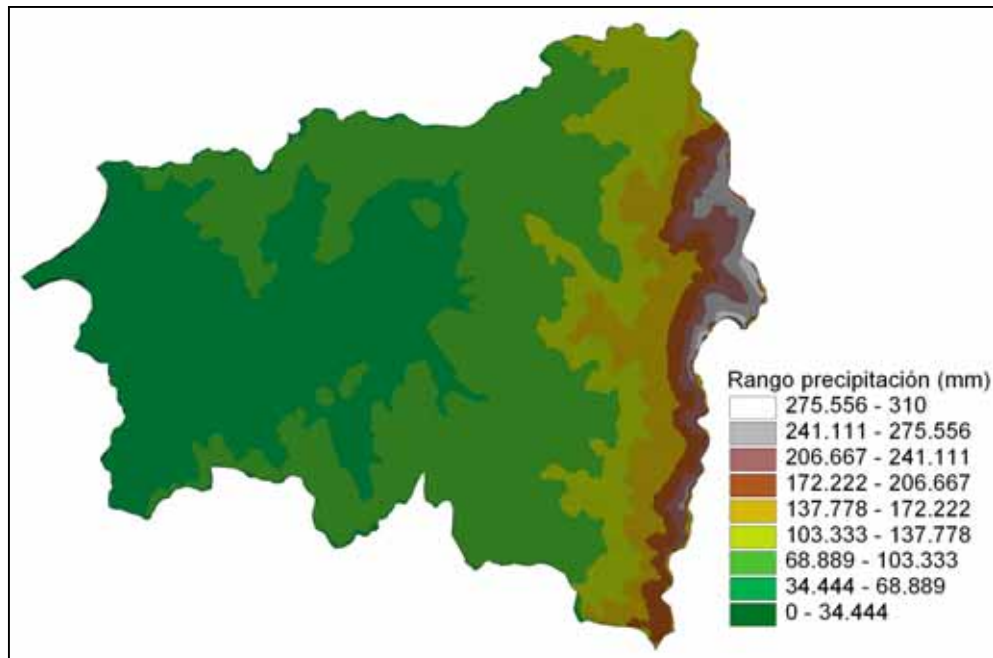


Figura 2.1: Ajuste precipitación, en función de la altitud.

Fuente: Elaboración DEP. (Ing. Civil (E) Álvaro Chávez)

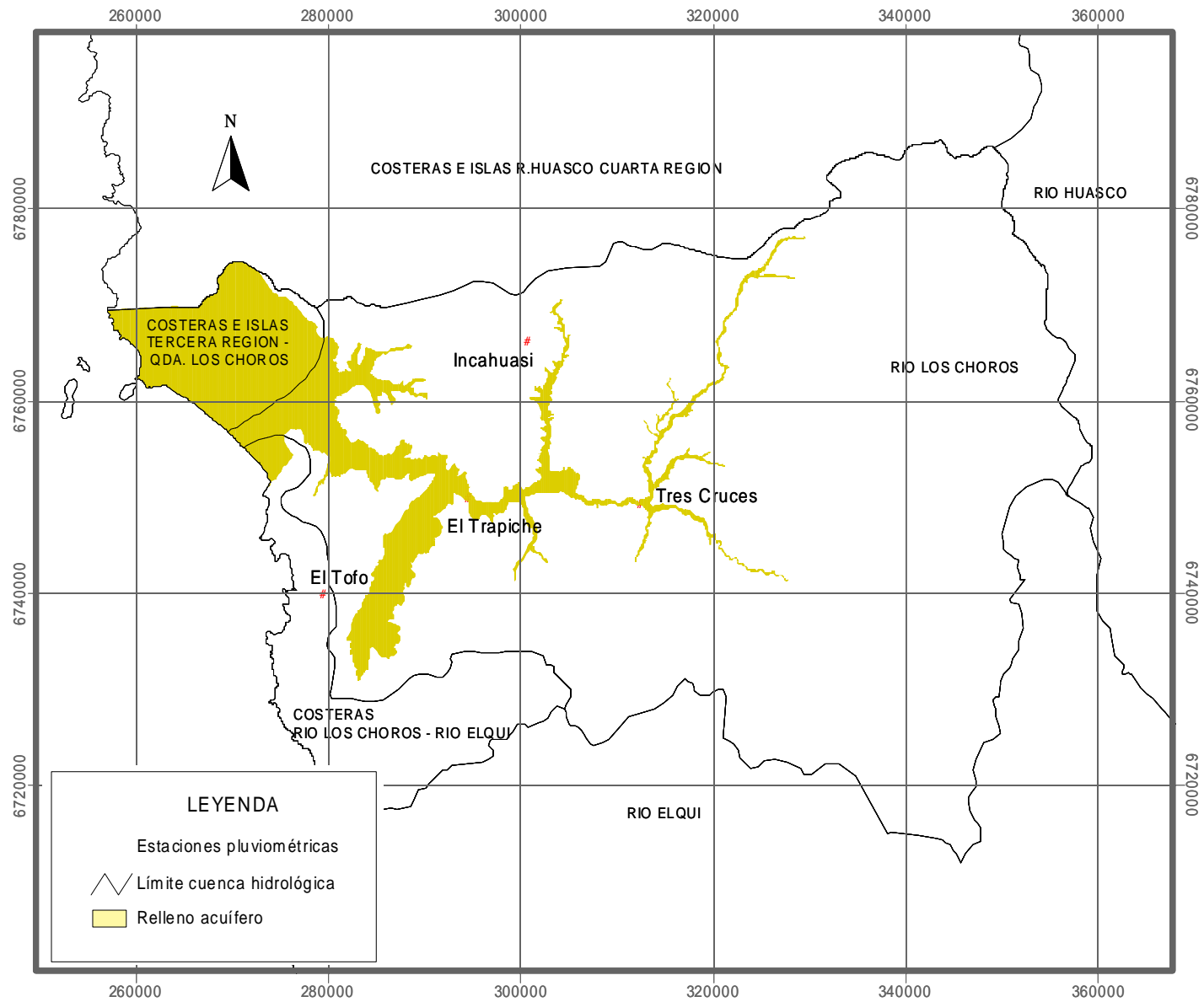
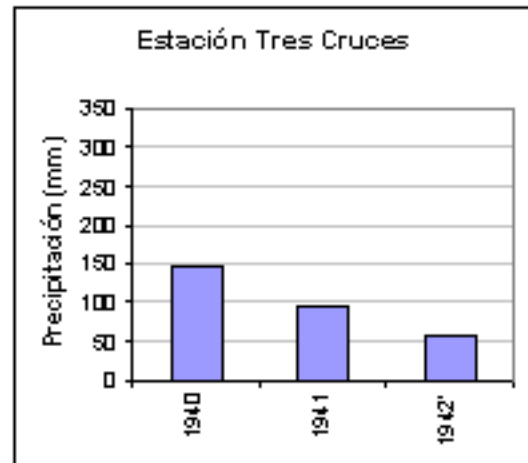
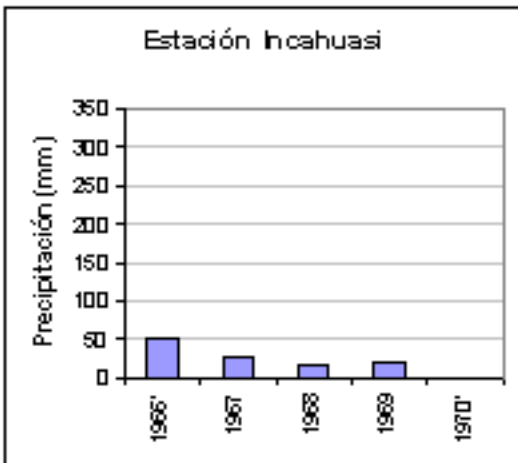
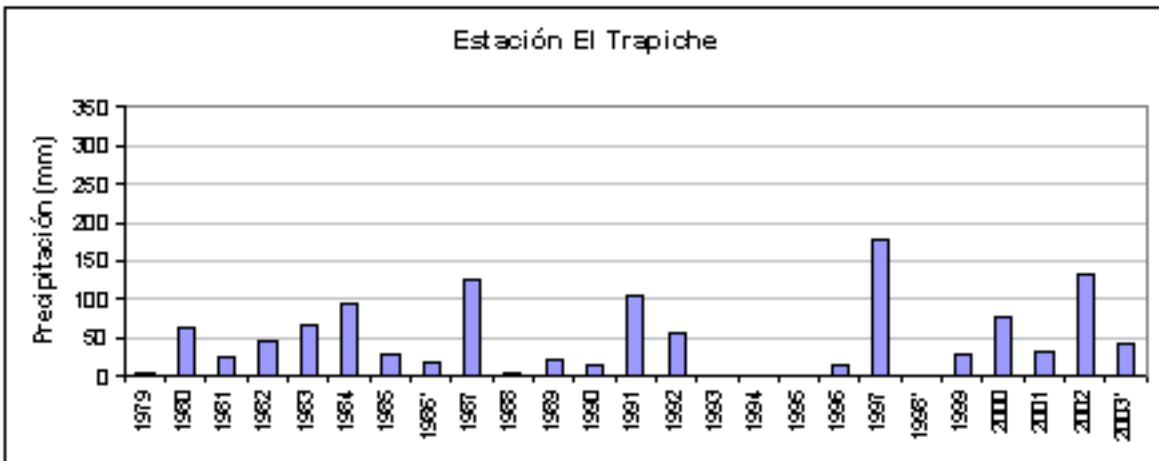
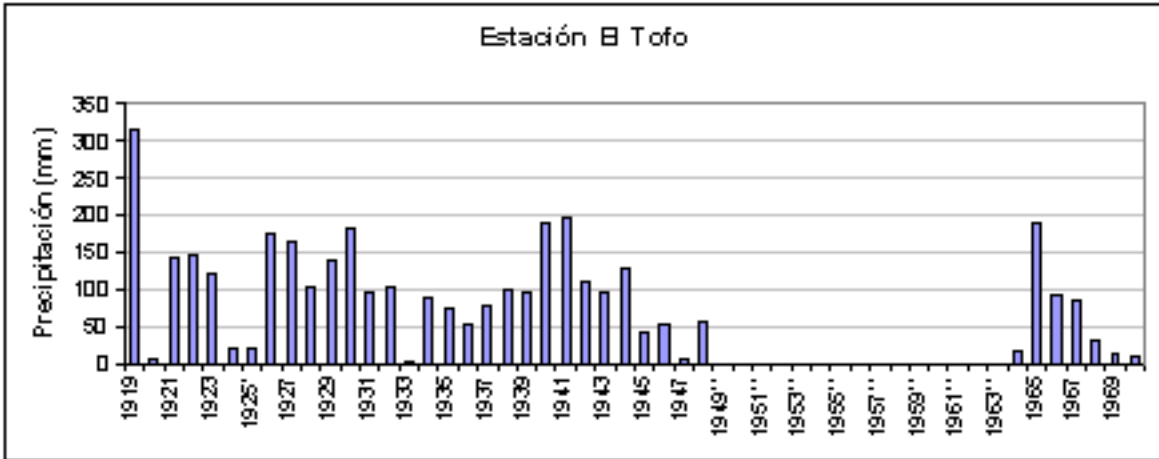


Figura 2.2: Estaciones Pluviométricas Qda Los Choros

Gráfico 2.1: Precipitaciones Anuales registradas en cuenca Los Choros



Fuente: Datos Banco Nacional de Aguas –DGA. Elaboración Ing. Civil (E) Álvaro Chávez.

Fluviometría

No existen escurrimientos superficiales sostenidos en el tiempo a lo largo del cauce de la quebrada, sólo algunos tramos en los que ocurren afloramientos del escurrimiento subterráneo. Estos afloramientos tienen lugar especialmente en la parte alta de la cuenca, sector denominado Junta Chincoles y en la parte media-baja de la confluencia de Choros Altos con la Quebrada principal de Los Choros.

La DGA no posee control fluviométrico en la Quebrada, los únicos registros que existen corresponden a aforos aislados en los sectores mencionados anteriormente realizados en marzo del 2004 con caudales que varían entre los 15 y los 30 l/s.

Para el estudio de GCF 2004, expediente (ND-0401-390), se cuenta con información de aforos para los períodos entre octubre 1999 y noviembre 2000, con caudales que varían entre los 13 y los 28 l/s en el sector de Junta Chincoles.

Estos valores si bien permitirán tener un rango de validación para los caudales en el modelo de flujo, resultan ser insuficientes para poder caracterizar la cuenca en términos de valores medios mensuales.

2.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Geomorfología

La cuenca de Quebrada Los Choros, como ya se mencionó anteriormente posee un área de 4.058 km² y se ubica en el extremo norte de la IV región de Coquimbo. (Fig. N°1.1)

La Quebrada Los Choros, se encuentra inserta en un área en la que se destacan tres entidades morfológicas principales: Planicies Costeras, Cordillera de la Costa y Valles Transversales.

El Clima del sector obedece a: Desierto Costero con abundante nubosidad en la zona de la costa, Desértico Transicional y Desértico frío de Montaña, en la parte más alta. La cuenca posee cotas máximas de 4.000 msnm.

Las planicies costeras se desarrollan en el norponiente de la desembocadura y constituyen las terrazas marinas existentes, presentándose casi planas, con alturas de 40 a 50 m sobre el lecho actual de la quebrada. (Niemeyer 1971)

Los altos topográficos de Sierra del Pleito y Cordón del Sarco, al norte y sur de la desembocadura respectivamente, en sentido N-S, corresponden a la Cordillera de la Costa (Börgel 1983) y las cimas varían entre 500 y 1440 m.s.n.m.

Los cordones transversales quedan caracterizados por la cadena de cerros dispuestos hacia el Este de Quebradas de la Higuera y Pajonales, hasta los valles de los ríos Carmen y Turbio, en donde destacan los cordones del Rosario y de las Perdices cuyas alturas varían entre los 400 y 2000 m.s.n.m. El sector más oriental de Quebrada Los Choros, en donde destacan la Cordillera La Punilla, Altos de Peralta y Sierra Cóndor, tienen alturas que alcanzan los 4.000 m.s.n.m. denominados como sector de media montaña, según Paskoff en 1993.

La Quebrada Los Choros no tiene su cabecera en la Cordillera de Los Andes, sino que en la Cordillera de la Punilla, donde las cumbres más altas no superan los 4.000 m.s.n.m., lo que limita el aporte de aguas producto del derretimiento de nieves. Debido a lo anterior, la quebrada de Los Choros no posee un régimen de escurrimientos continuo a lo largo del año, y las precipitaciones normales infiltran rápidamente en el relleno sedimentario, generalmente en el curso superior y medio de la quebrada.

Geología

En base a la Carta Geológica N°55 del Sernageomin, Hoja Vallenar y Parte Norte de La Serena, la cual fuera digitalizada por el Ing. (E) A. Chávez (2004) se presenta, en la Figura 2.3, la configuración regional de la geología de la Cuenca de la Quebrada Los Choros.

Entre las distintas unidades geológicas allí observadas, adquieren mayor importancia del punto de vista hidrogeológico, depósitos del Cuaternario (Qal) correspondientes a depósitos aluviales modernos, compuestos por ripios, gravas, arenas y escombros de falda que conforman el acuífero principal de la Quebrada Los Choros. En menor escala y hacia el sector de la costa, se ubican los depósitos eólicos (Qe) también recientes, compuestos básicamente por arenas modernas.

También adquieren importancia hidrogeológica, el conjunto de sedimentos, medianamente consolidados, de origen fluvio-aluvial Gravas de Atacama (Tega), las cuales incluyen conglomerados de bolones, gravas, arenas y ripios, con intercalaciones limosas, acumulados sobre unidades de roca preexistentes que entregan menores capacidades de transmisibilidad que los menos consolidados. Las Gravas de Atacama corresponden a depósitos que se acumulan en valles y depresiones, como resultados de los procesos de agradación y sedimentación, asociados al último sollevamiento de Los Andes.

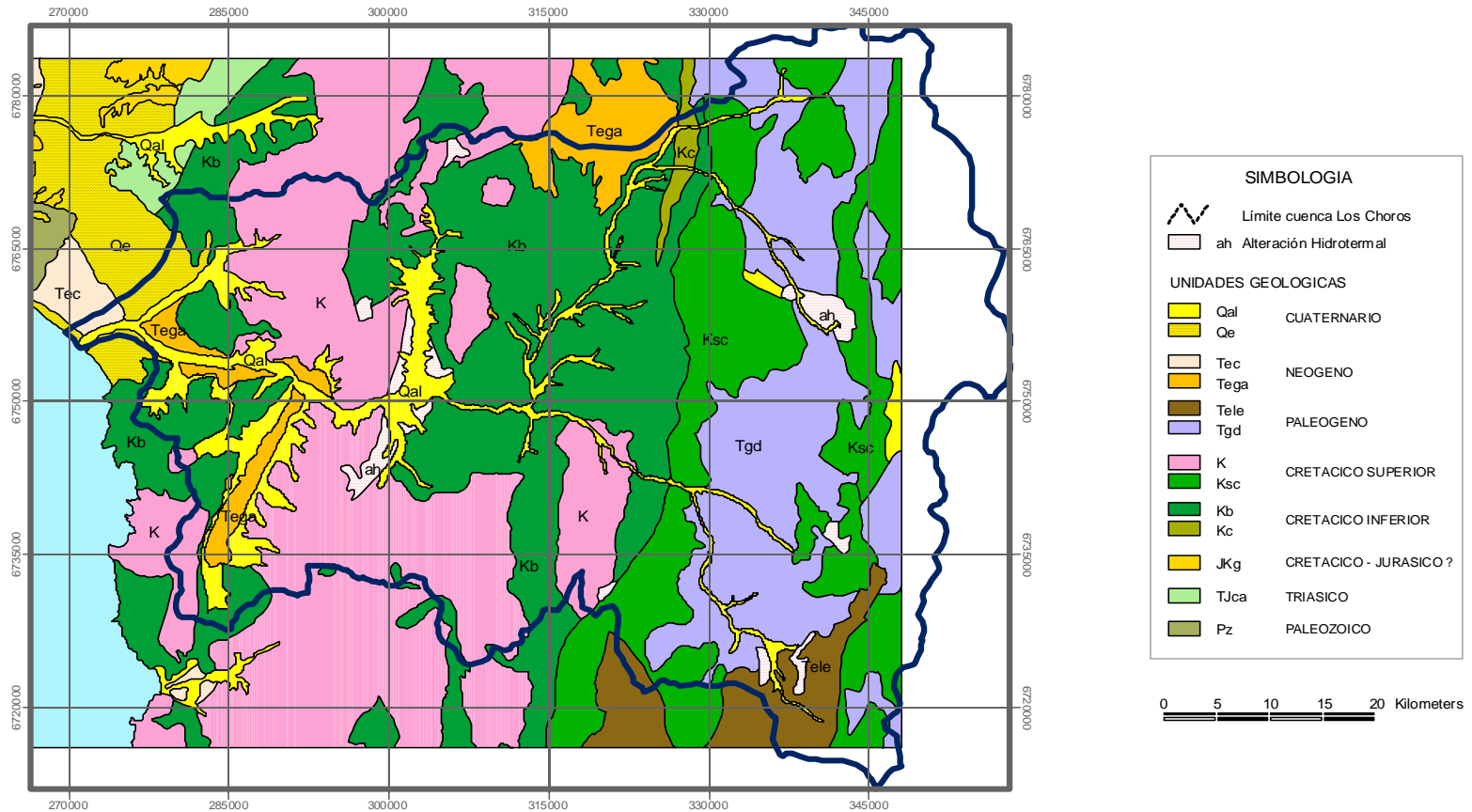
Dentro de las estructuras cabe destacar el sistema de fallas con orientación NS y NNE que pertenecen al sistema de la Falla de Atacama, el cual controla la morfología local y regional, asociada también a los yacimientos de fierro más importantes del país. (Minera el Tofo por ejemplo)

Geofísica

Seis son las fuentes que existen con información geofísica que indican la profundidad donde se ubica el basamento rocoso y por lo tanto, ayudan a estimar rangos de delimitación del espesor del acuífero propiamente tal. Estos estudios corresponden a: Universidad Católica 1968, Geodatos 2003, Geodatos 2004, Serplac 1995, DOH-AC 1998 y Sernageomin-Cazalac-DGA 2004.

De todos los estudios mencionados anteriormente, se puede señalar lo siguiente: (Ver figura 2.4)

- Para el sector alto, de Tres Cruces hacia arriba, la profundidad o potencia del acuífero estaría en rangos que varían desde los 40 hasta los 100 metros, haciéndose menores hacia las laderas del relleno sedimentario.
- Para el sector de Tres Cruces propiamente tal, se encuentran potencias desde los 60 hasta los 150 m.
- Entre Tres Cruces y Choros Altos, los depósitos principales varían su espesor entre 15 y 70 m.
- Choros Altos, si bien posee un mayor ancho del relleno sedimentario, corresponde en gran parte a las gravas de Atacama, con un acuífero más débil y espesores que fluctúan entre los 10 y 90 m.
- El sector occidental, desde Choros Altos hacia la Costa, presenta potencias que varían entre los 70 y los 180 m, considerando el relleno principal.



SIMBOLOGIA

Límite cuenca Los Choros
 ah Alteración Hidrotermal

UNIDADES GEOLOGICAS

	Qal	CUATERNARIO
	Qe	
	Tec	NEOGENO
	Tega	
	Tele	PALEOGENO
	Tgd	
	K	CRETACICO SUPERIOR
	Ksc	
	Kb	CRETACICO INFERIOR
	Kc	
	JKg	CRETACICO - JURASICO ?
	TJca	TRIASICO
	Pz	PALEOZOICO



LEYENDA

<p>Qe : Depósitos eólicos. Arenas modernas.</p> <p>Qal : Depósitos aluviales modernos. Rípios, gravas, arenas, incluyen escombros de falda.</p> <p>Tec : Formación Coquimbo. Sedimentos marinos aterrazados: areniscas, calcarenitas, coquinas y conglomerados; incluyen cubierta cuaternaria de poco espesor. Mioceno-Pleistoceno?</p> <p>Tega: Gravas de Atacama. Gravas, conglomerados poco consolidados, incluyen depósitos aterrazados. Mioceno-Pleistoceno?</p> <p>Tele: Formación Los Elquinos. Volcánica andesítica, con intercalaciones de lavas riolíticas y rocas sedimentarias. Paleógeno.</p>	<p>Tgd: Intrusivos de la Franja Oriental. Granodioritas. Terciario.</p> <p>K : Intrusivos de la Franja Central. Granitos, dioritas y granodioritas. Cretácico Superior-Terciario Inferior.</p> <p>Ksc: Formación Cerrillos. Sedimentos clásticos, continentales, con intercalaciones andesíticas en su sección inferior y andesitas porfíricas con intercalaciones sedimentarias en su sección superior. Cretácico Superior.</p> <p>Kb : Grupo Bandurrias. Rocas volcánicas, andesíticas, con intercalaciones sedimentarias, clásticas y calcáreas. Neocomiano.</p>	<p>Kc : Grupo Chañarillo. Calizas, calcarenitas y margas. Neocomiano.</p> <p>JKg: Intrusivos de la Franja Occidental. Granitos. Jurásico-Cretácico?</p> <p>TJca: Formación Canto del Agua. Sedimentos clásticos marinos. Areniscas y conglomerados cuarcíferos. Anísico-Lias.</p> <p>Pz: Metamorfitas de la costa. Esquistos, filitas, cuarcitas. Paleozoico.</p>
--	---	---

Figura 2.3: Geología sector Quebrada Los Choros.
Fuente: elaboración DEP. por Á. Chávez 2004.

2.3. HIDROGEOLOGÍA

Para la Modelación realizada por GCF y que será la que se utilizará para la evaluación de los recursos hídricos de este estudio, se realizó una sectorización de la cuenca, que es la que se muestra en la Figura 2.4.

Los rellenos cuaternarios que conforman los sedimentos de la cuenca de Quebrada Los Choros, van adquiriendo mayor volumen desde aguas arriba hacia aguas abajo. Este mayor volumen se manifiesta tanto en una potencia creciente como en un mayor ancho de los sedimentos a medida que se avanza hacia el oeste. Sin embargo, asociado a este mayor volumen de rellenos está un empeoramiento de los parámetros elásticos del acuífero. En los sectores más altos de la cuenca (Tres Cruces), los rellenos presentan escaso porcentaje de finos y se muestran como un solo acuífero libre, formado por material relativamente grueso. Hacia aguas abajo aumenta paulatinamente el porcentaje de finos, de modo que en el sector de Punta Colorada aparecen estratos impermeables. Particularmente, para el sector de Choros Alto hay varios acuíferos de escasa potencia (2-6 m) separados por estratos arcillosos. (*Fuente GCF 2004*)

El Sector de Tres Cruces (figura 5), se conforma por la zona de descarga de las Quebradas Pelicano y el Carrizo por el norte y Quebrada Grande por el sur. De acuerdo con los resultados del estudio geofísico realizado por Geodatos en este sector, el relleno cuaternario presenta una potencia media de 60 m. La interpretación de los sondeos mediante transiente electromagnético indicaría un modelo de tres capas o estratos. El superior con espesor variable entre 53 y 138 m con una media de 60 m, fue correlacionado con gravas, ripios y arenas que corresponden a un acuífero que en su extremo superior se encuentra drenado. El segundo estrato presenta un espesor que varía entre 23 m y 48 m, identificado como roca basal alterada, que también podría corresponder a un acuífero. El estrato más profundo se identifica como el basamento rocoso sano. La estratigrafía aportada por los informes de construcción de 9 pozos profundos y 4 norias de Tres Cruces analizadas para el Estudio de GCF 2004 confirmarían este modelo.

El sector de Punta Colorada, situado aguas abajo del Sector de Tres Cruces, presenta rellenos de mayor volumen que el anterior. En este sector el valle se amplía hasta tener un ancho medio de 1500 m. De acuerdo con el estudio geofísico realizado para la DOH en 1998, el basamento rocoso se encontraría a una profundidad máxima de 280 m hacia el eje del cauce, sin embargo, desde el punto de vista estratigráfico, se verifica la presencia de capas con diversos contenidos de arcilla. De acuerdo con el estudio geofísico realizado por el Sernageomin en marzo del 2004, el basamento rocoso estaría ubicado a los 70 m de profundidad, en la parte más oriental del sector.

El sector de Quebrada Choros Altos, abarca tanto la parte principal del valle, como un sector transversal formado principalmente por las Gravas de Atacama. Para el sector del valle principal, entre El Trapiche y Angostura, presenta características similares a las existentes entre Tres Cruces y Punta Colorada, rellenos constituidos por sedimentos cuaternarios gruesos. Para el sector de la Quebrada de Choros Altos, existen varios estratos acuíferos de escaso espesor separados por estratos de arcilla mucho más potentes.

Finalmente, el Sector de Choros Bajos, presenta espesores del relleno acuífero que fluctúan entre los 10 y los 200 m de profundidad, separados internamente por estratos impermeables constituidos principalmente por limo.

Niveles de agua subterránea

La Dirección General de Aguas posee 17 estaciones de monitoreo de niveles de agua subterráneas, las cuales se indican a continuación.

Tabla 2.1: Estaciones de medición de niveles DGA.

N° estación	CODBNA	NOMBRE	ESTE	NORTE	ALTURA	VIGENCIA
1	04100002-3	OBSERVATORIO LA SILLA C-5	324480	6773015	0.0	VIGENTE
2	04100001-5	OBSERVATORIO LA SILLA C-4	323359	6772772	0.0	SUSPENDIDA
3	04120009-K	LOS CHOROS C-1 N° 2	274382	6758398	48.5	VIGENTE
4	04120008-1	PUEBLO LOS CHOROS C-4	276425	6757843	75.0	VIGENTE
5	04120006-5	LOS CHOROS N1	276523	6757610	75.0	VIGENTE
6	04120010-3	QUEBRADA LOS CHOROS C-5	278102	6756015	100.0	VIGENTE
7	04120007-3	EL TOFO N° 5 A-1	291506	6752187	0.0	VIGENTE
8	04120016-2	EL TOFO N° 4 AN-5	291409	6751969	238.7	VIGENTE
9	04120015-4	EL TOFO N°3 AN-4	291231	6751884	240.0	VIGENTE
10	04120002-2	PUNTA COLORADA B-5	304721	6751044	400.0	VIGENTE
11	04120005-7	LOS CHOROS N° 4 B-2	300124	6750296	325.0	SUSPENDIDA
12	04120003-0	LOS CHOROS 3	300099	6750177	325.0	VIGENTE
13	04120013-8	SANTA FE AN-2	294243	6749719	275.0	VIGENTE
14	04120012-K	GUILLERMO CORTES A N - 1	295158	6749686	275.0	VIGENTE
15	04120014-6	El Tofo 2	291319	6751792	241.95	
16	04120004-9	El Tofo 6	291571	6752222	235.5	
17	04120017-0	Los Choros 4B	304321	6751478	400	

En los gráficos adjuntos (Gráfico 2.2 hasta Gráfico 2.6), se puede apreciar la variación de los niveles en el tiempo.

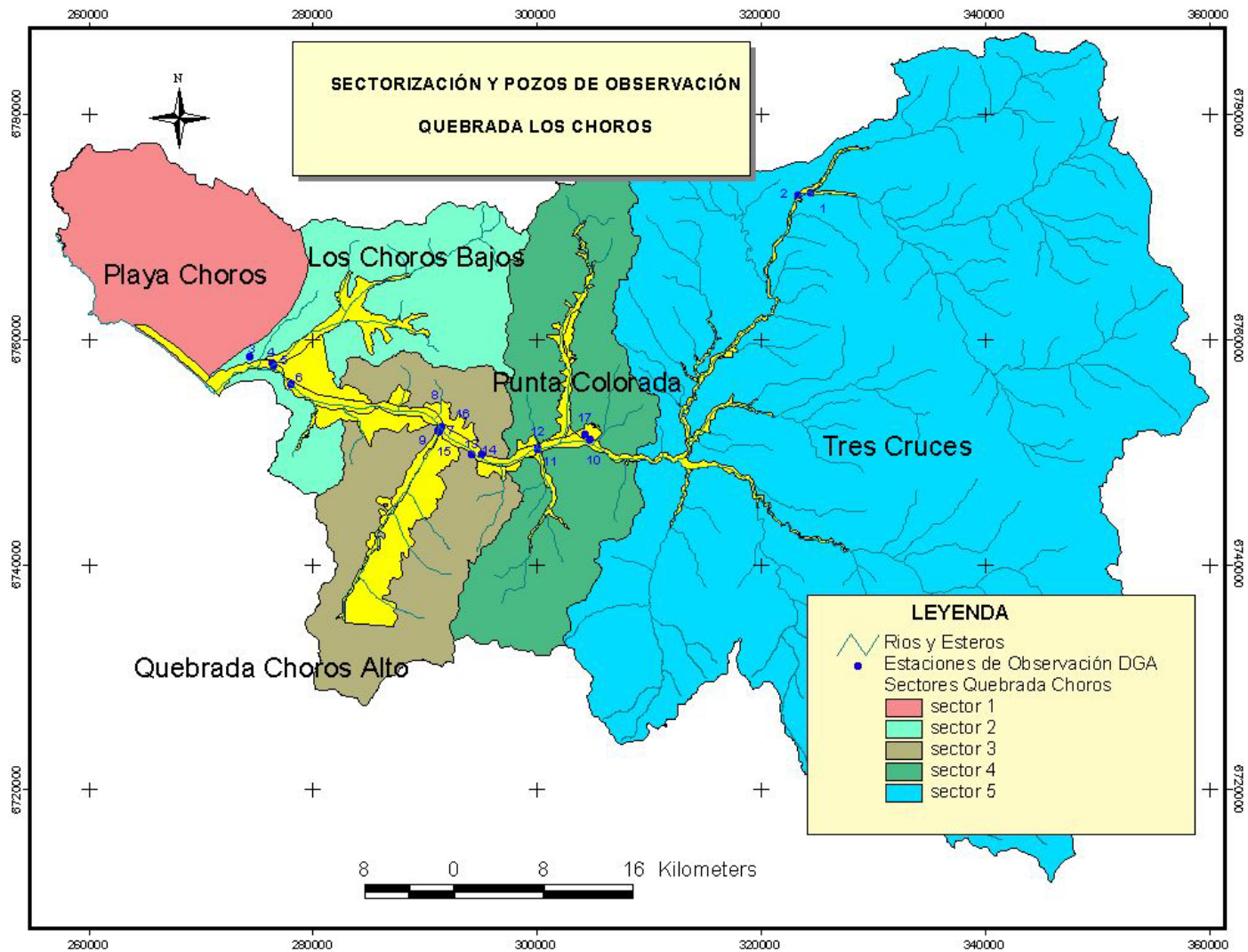


Figura 2.4: Puntos de Monitoreo Niveles DGA.
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 2.2: Niveles Observados DGA en sector 2 Choros Bajos
SECTOR 2: LOS CHOROS BAJOS

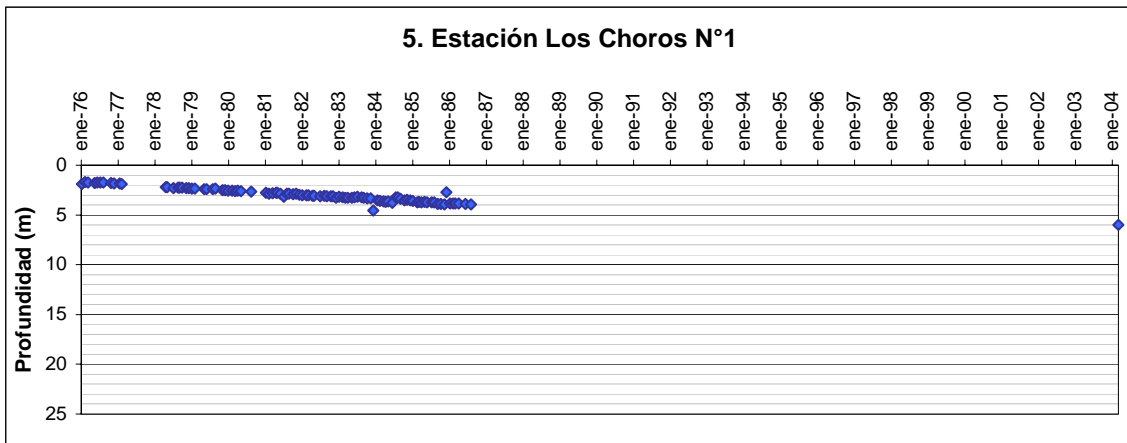
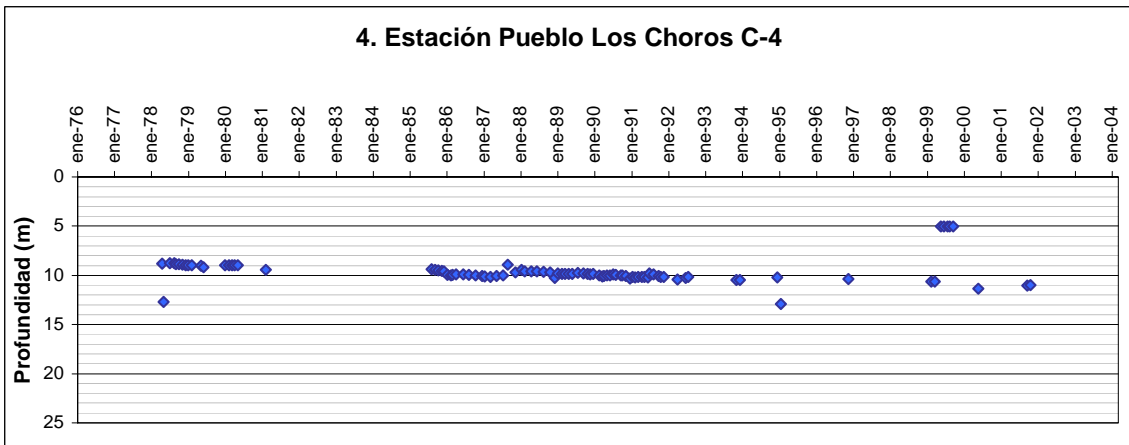
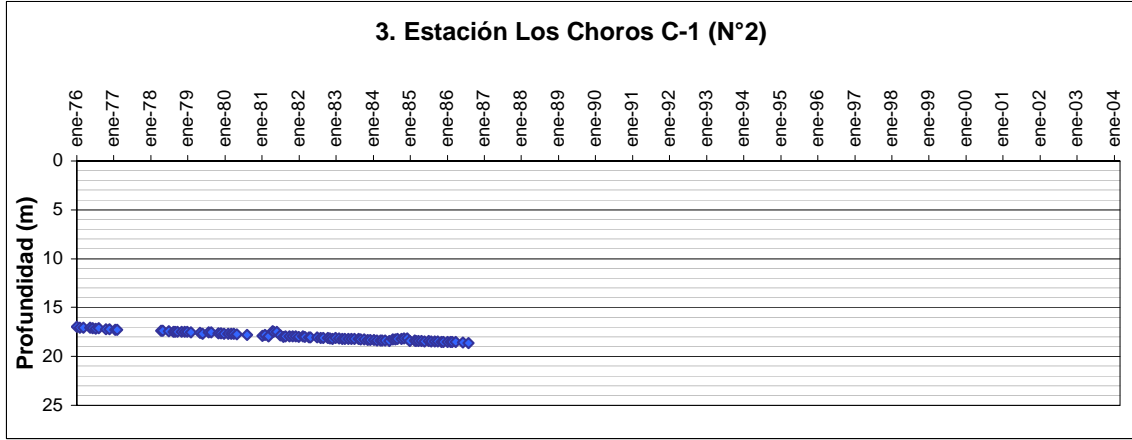


Gráfico 2.3: Niveles Observados DGA en sector 3 Choros Alto
SECTOR 3: LOS CHOROS ALTO

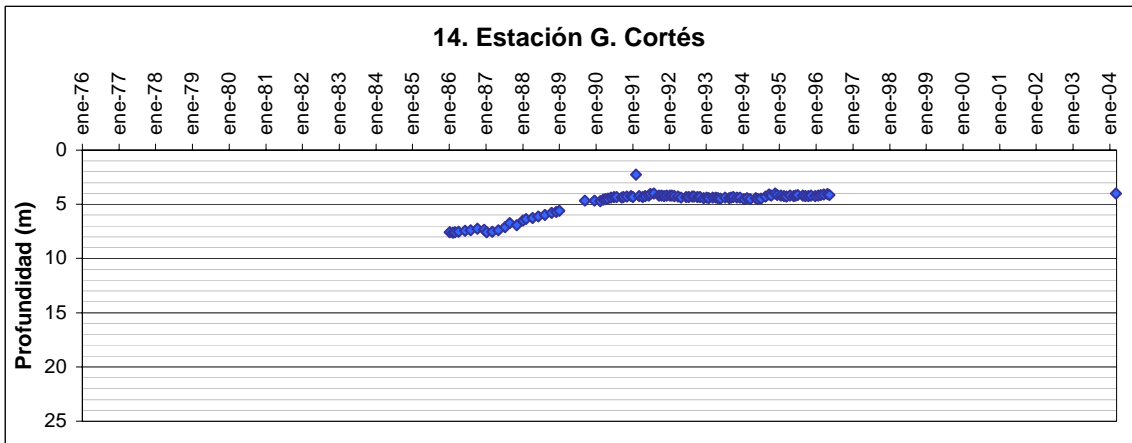
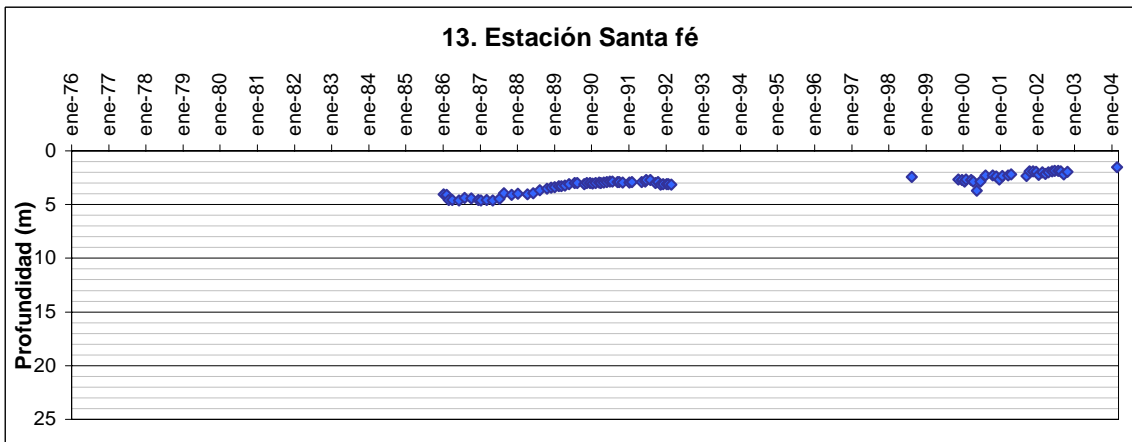
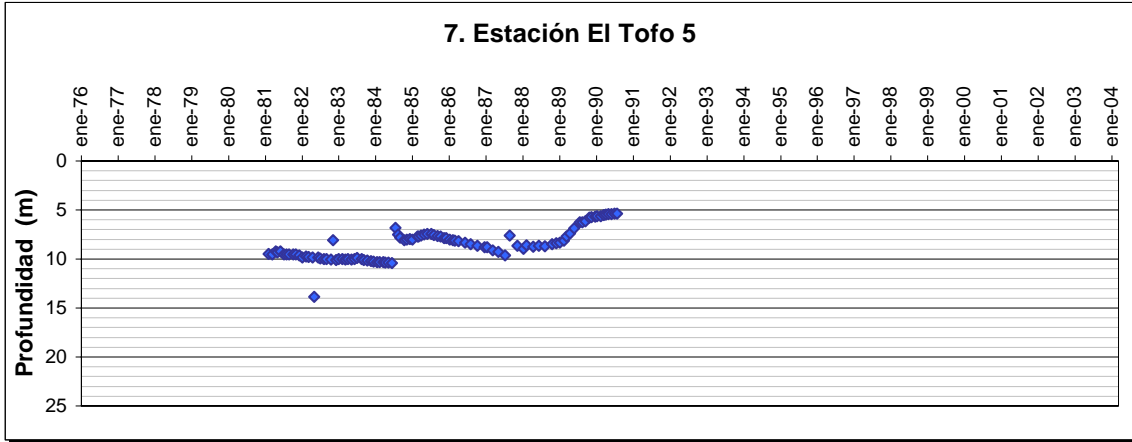


Gráfico 2.4: Niveles Observados DGA en sector 3 Choros Alto

SECTOR 3: LOS CHOROS ALTO

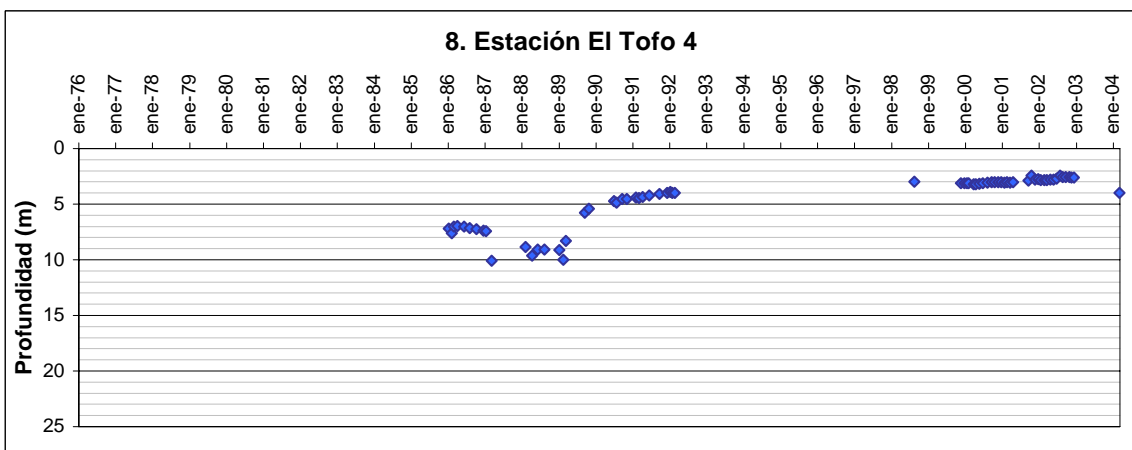
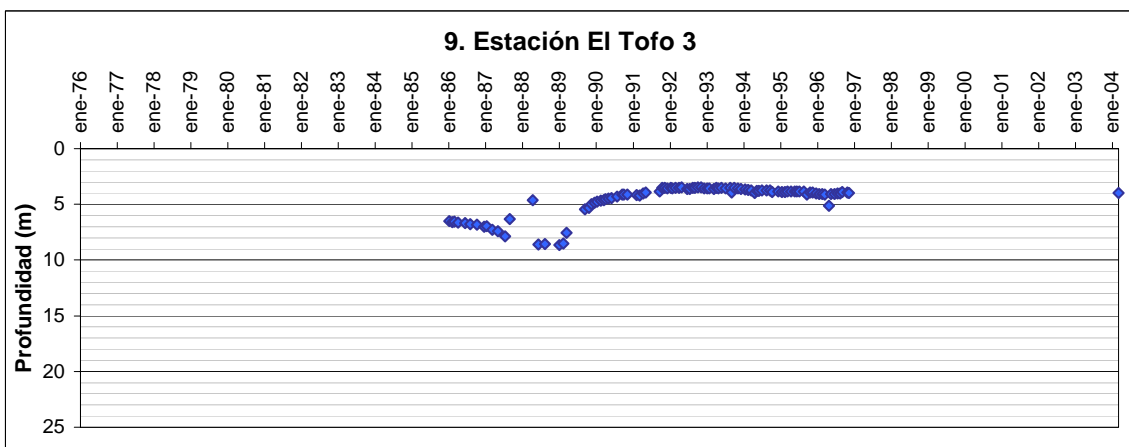
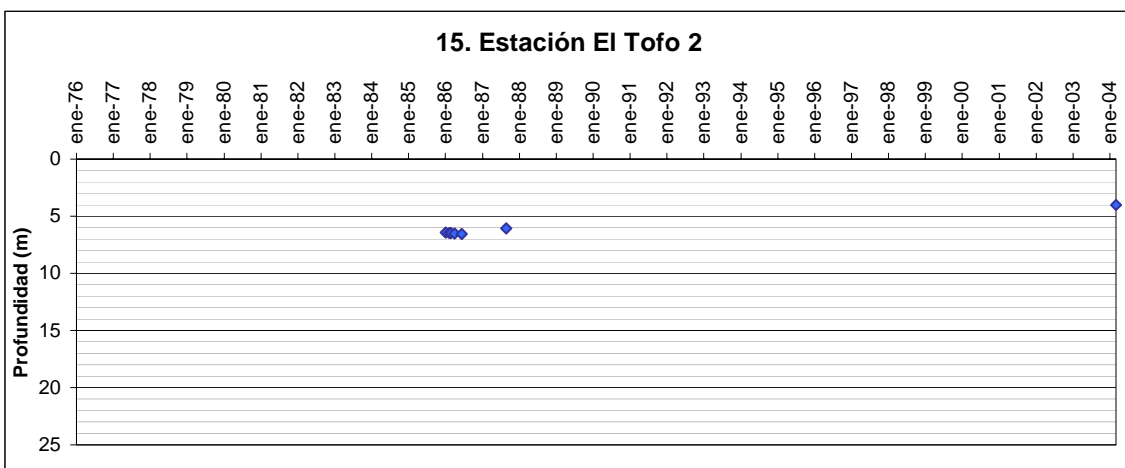


Gráfico 2.5: Niveles Observados DGA en sector 4 Punta Colorada
SECTOR 4: PUNTA COLORADA

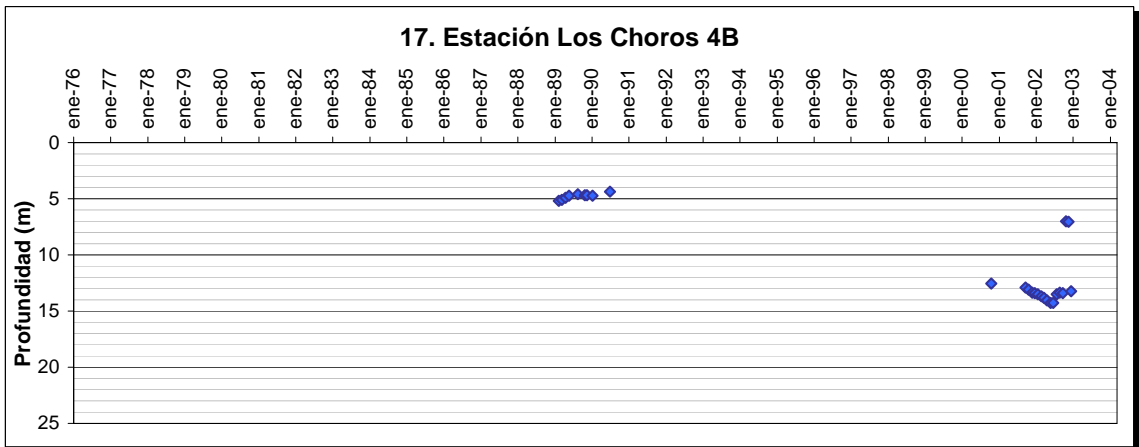
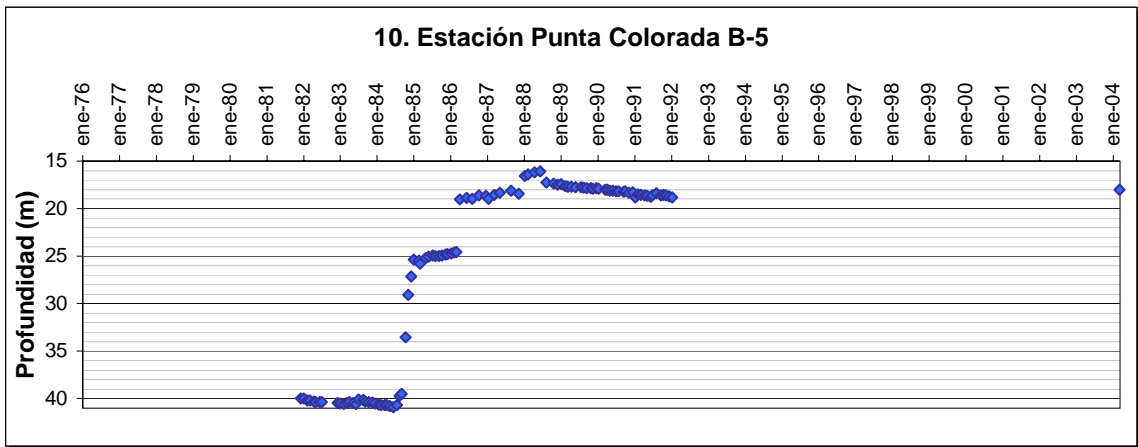
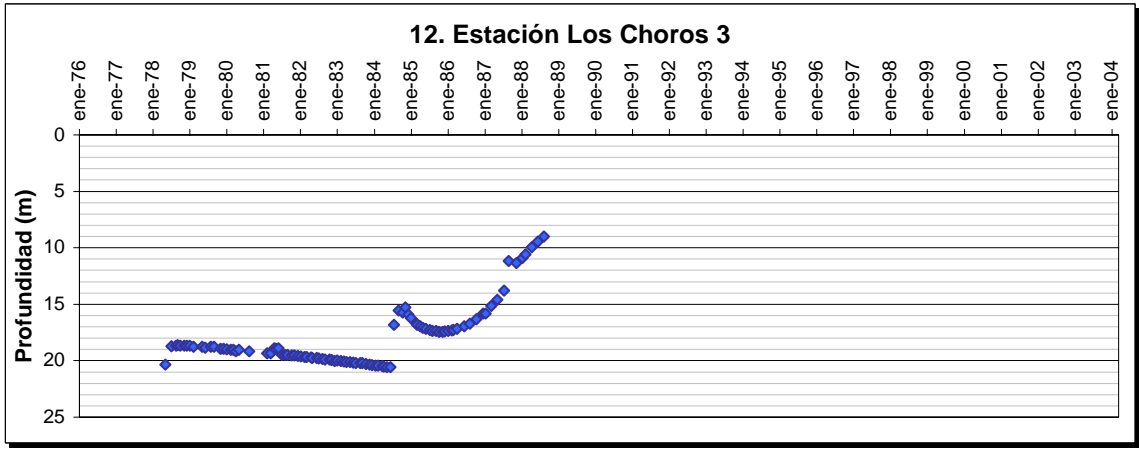
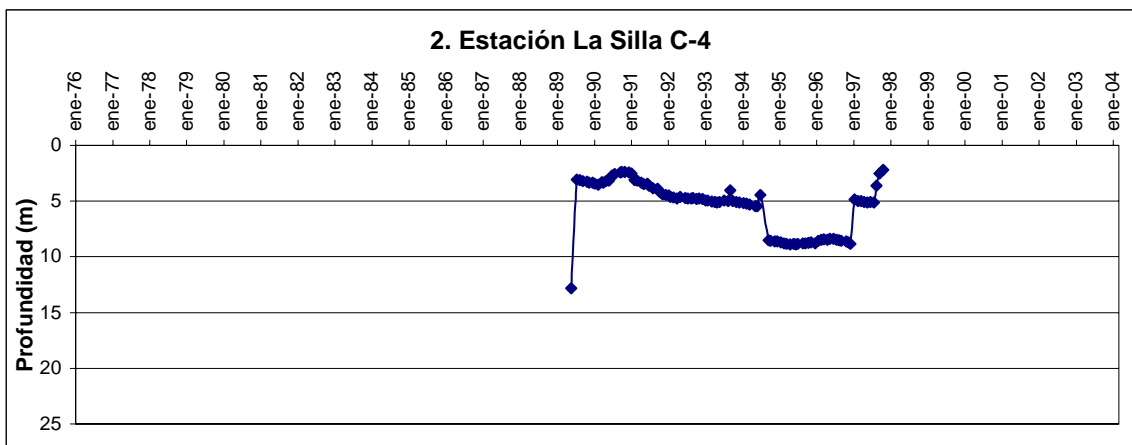
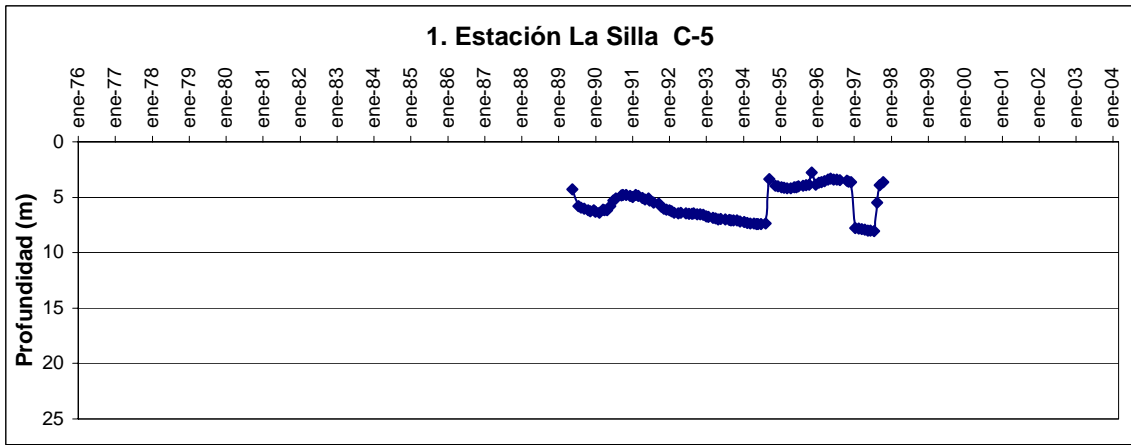


Gráfico 2.6: Niveles Observados DGA en sector 5 Tres Cruces
SECTOR 5: TRES CRUCES (ALTO)



Los niveles de la cuenca Quebrada Los Choros, se presentan sólo para algunas estaciones con datos actuales, y lo que se desprende de ellos es lo siguiente:

- Para el sector 1, no existen registros de niveles, pero seguramente el nivel de la napa está muy cerca del nivel de terreno, al tener en cuenta los niveles del sector 2 y por estar en el sector de la costa.
- Para el sector 2, Choros Bajos - pozos 3,4,5 y 6 – la profundidad de la napa se encuentra entre los 3 a 15 m del nivel de terreno y presenta una leve tendencia al descenso. El pozo 4, indicaría para esta zona una leve recuperación para los años más actuales.

- El sector 3, Choros Alto –pozos 7,8,9,13,14,15,16- presentan una profundidad del nivel freático que varía entre los 3 y 10 m de profundidad. Los niveles indican que ha habido una tendencia a la recuperación para los años más actuales, dejando la profundidad al borde de los 5 metros solamente.
- El sector 4, Punta Colorada –pozos 10, 11, 12 y 17- presentaban profundidades de alrededor de los 20 a 40 a mediados de los 80s, sin embargo, los niveles se han recuperado sustancialmente llegando en la actualidad a rangos que varían entre los 5 y 15 m.
- Para el sector 5, Tres Cruces, lamentablemente se tienen sólo 2 pozos de observación, y en la parte alta de la subcuenca, La Silla 1 y La Silla 2, que estando ubicados muy cerca presentan una inconsistencia en sus niveles observados, ya que cuando para La Silla 1 los niveles suben, en ese mismo período para La Silla 2, los niveles bajan. El rango en que se mueven los niveles freáticos es de 2 a 10 m.

Parámetros elásticos

Del análisis de 37 sondajes y norias existentes en la cuenca de Los Choros realizados por GCF –2004- se obtuvieron los valores medios de los parámetros elásticos de transmisividad y permeabilidad. Este último, fue trabajado y estimado espacialmente con el fin de lograr una mejor representación del valor medio de la permeabilidad por sector.

Tabla 2.2: Permeabilidades estimadas por Sector

SECTOR	Permeabilidad (m/s)
Tres Cruces	$8,6 \times 10^{-5}$
Punta Colorada	$4,2 \times 10^{-5}$
Quebrada Choros Altos	$1,3 \times 10^{-4}$
Choros Bajos	$5,0 \times 10^{-5}$
Playa Los Choros	$5,0 \times 10^{-5}$

Recargas y Descargas

Dado que la cuenca de la quebrada Los Choros no tiene su límite oriental en la Cordillera de los Andes, sino en cadenas montañosas de menor altura, como es la Cordillera de La Punilla cuyas cumbres más altas no superan los 4.000 m.s.n.m., el aporte de aguas provenientes del derretimiento de nieves es muy limitado. Por lo tanto, la casi exclusiva recarga actual de los acuíferos proviene de las percolaciones producto de las precipitaciones.

Dado que el área cubierta por sedimentos (212 km²) representa sólo un 5,2% del área total de la cuenca de la quebrada Los Choros, que alcanza a 4.058 km², y considerando que en general los acuíferos existentes son libres, las ocasionales precipitaciones ocurridas sobre la cuenca escurren sobre las zonas montañosas impermeables para infiltrarse en la zona de rellenos y recargar los acuíferos. Sólo con ocasión de lluvias especialmente intensas la quebrada Los Choros presenta escurrimientos superficiales. (*Fuente GCF 2004*)

Asimismo, la casi exclusiva descarga de los acuíferos de la quebrada Los Choros corresponde a la explotación de las captaciones existentes. Éstas se describen a continuación.

2.4. EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

Las extracciones del recurso hídrico en la cuenca de la quebrada Los Choros, con fines de satisfacer las necesidades de alguna actividad económica en particular, ocurren únicamente como explotación de aguas subterráneas mediante pozos o norias; no existen infraestructura alguna para el riego superficial (canales ni embalses). No existen escurrimientos superficiales sostenidos en el tiempo a lo largo del cauce de la quebrada, sólo algunos tramos en los que ocurren alumbramientos del escurrimiento subterráneo. Estos alumbramientos tienen lugar especialmente en la parte alta de la cuenca, sector denominado Junta Chincoles y en la parte media-baja de la confluencia de Choros Altos con la Quebrada principal de los Choros.

Históricamente, el uso del recurso queda determinado considerando como fuente el Estudio (REF 3) “*Mejoramiento del riego en Choros Bajos (Niemeyer, 1971)*” en donde se señala que el uso en riego para esa época ascendía tan sólo a 73 l/s de un total de 103 l/s utilizados para éste y otros fines, como doméstico y minero.

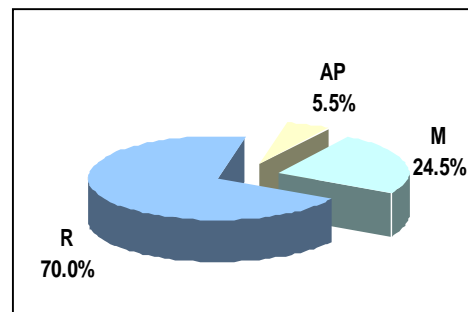


Figura 2.5: Situación explotación 1971

Fuente: Niemeyer 1971.

La situación actual 2004, no está tan alejada de la realidad de 1971. En marzo del 2004, este Departamento llevó a cabo una campaña de terreno en la Qda. Los Choros, enmarcada dentro del Estudio “*Modelación Hidrogeológica de la Quebrada Los Choros*” desarrollada como parte de una Tesis de Grado de Ingeniería Civil de la Universidad de Concepción, en la cual se hizo un completo catastro de la situación actual de pozos y riego de la cuenca. Este catastro arroja una situación mucho más marcada de riego, con un total de 120 pozos en la cuenca, de los cuales realmente sólo 60 están en uso, con exclusividad de riego y uso doméstico la mayoría. El caudal en uso equivale a 66l/s. En la figura 2.6 se puede apreciar gráficamente esta situación.

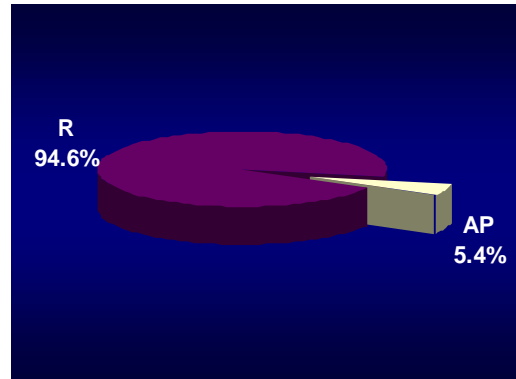


Figura 2.6: Situación explotación 2004.
Fuente DEP-DGA 2004

Un marco general de la situación de la Quebrada Los Choros, en relación con el tema de derechos de aprovechamientos subterráneos actualmente es, que la cuenca se encuentra con derechos otorgados hasta agosto del año 2002 por un caudal de 1,596 m³/s, destacándose el uso en riego con un 81% del total de usos los derechos otorgados en la cuenca.

Existen derechos solicitados y en trámite posterior a agosto del año 2002, por un caudal que asciende a 950 l/s, hasta diciembre del 2003. En la Tabla 2.3 adjunta, se muestran los derechos comprometidos y en trámite para Qda. Los Choros.

Tabla 2.3: Situación Derechos de Aprovechamientos DARH-DGA.
Fuente DARH 2004

Nº de Pozos	Expediente	Fecha de Ingreso	Peticionario	Caudal Solicitado (Rs/seg)	Caudal Otorgado (Rs/seg)	Uso	UTM Norte 56	UTM Este 56	Sit. Actual	Nº Res.	Fecha Res.
1	M-4-6		ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA INVESTIGACION ASTRONAUTICA		1.25	AP	6773000	324000	A	48	20-11-67
2	M-4-6		ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA INVESTIGACION ASTRONAUTICA		1.25	AP	6773000	324000	A	48	20-11-67
3	M-4-6		ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA INVESTIGACION ASTRONAUTICA		1.25	AP	6773000	324000	A	48	20-11-67
4	M-4-6		ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA INVESTIGACION ASTRONAUTICA		1.25	AP	6773000	324000	A	48	20-11-67
5	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
6	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
7	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
8	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
9	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
10	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
11	3-0-194		THE BETHLEHEM CHILE IRON MINES COMPANY		14.29	I	6752000	292000	A	2155	25-09-62
12	M-4-76		OLBERTO HARTLEY URQUETA	3.00	3.00	I	6741143	326225	A	16	14-01-80
13	3-0-218	25-05-61	CIA MINERA SANTA FE	2.31	2.31	M	6749700	294400	A	387	19-02-63
14	M-4-87	24-07-70	CARNegie INSTITUTION OF WASHINGTON	3.33	3.33	AP	6779700	336500	A	201	17-12-70
15	M-4-287	15-04-80	SENDOS	1.20	1.20	AP	6759000	277000	A	228	20-07-84
16	M-4-256	15-04-80	SENDOS	5.00	1.00	AP	6734000	287000	A	246	06-06-85
17	M-4-256	15-04-80	SENDOS	5.00	5.00	AP	6750000	294000	A	246	06-06-85
18	ND-4-1-164	25-11-91	NICOLAS YABER TRASLAVINA	25.00	5.10	M	6750740	304026	A	616	30-12-92
19	ND-4-1-342	07-05-87	SOC CONSTRUCTORA CARANDAY LTDA	19.00	17.00	R	6751552	303224	A	889	17-03-88
20	ND-4-1-348	23-06-87	SOC CONSTRUCTORA CARANDAY LTDA	30.00	30.00	R	6751173	304470	A	1182	16-12-98
21	ND-4-1-349	23-06-87	SOC CONSTRUCTORA CARANDAY LTDA	30.00	27.00	R	6750679	304657	A	1235	28-12-98
22	ND-4-1-352	04-09-97	SANTIAGO LORCA GONZALEZ	33.00	33.00	R	6751500	302900	A	1015	29-10-98
23	ND-4-1-353	04-09-97	SANTIAGO LORCA GONZALEZ	48.00	48.00	R	6750700	301700	A	1199	16-12-98
24	NR-4-1-71	05-06-98	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LOS CHOROS	6.00	6.00	AP	6757975	276450	A	352	26-04-99
25	ND-4-1-395	01-06-99	CIA MINERA DEL PACIFICO S.A.	40.00	40.00	M	6750343	300091	A	155	27-02-02
26	ND-4-1-403	14-09-99	I. MUNICIPALIDAD DE LA HIGUERA	50.00	35.00	R	6751087	304709	A	304	10-07-03
27	ND-4-1-442	18-07-01	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	77.00	77.00	R	6750088	290134	A	816	16-09-02
28	ND-4-1-442	18-07-01	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	142.00	142.00	R	6750320	290395	A	816	16-09-02
29	ND-4-1-442	18-07-01	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	121.00	121.00	R	6750760	292580	A	816	16-09-02
30	ND-4-1-442	18-07-01	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	131.00	131.00	R	6751020	290824	A	816	16-09-02
31	ND-4-1-442	18-07-01	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	55.00	55.00	R	6751385	291006	A	816	16-09-02
32	ND-4-1-443	10-10-01	GERARDO FINDEL WESTERMEIER	22.00	22.00	R	6750397	298611	A	815	16-09-02
33	ND-4-1-450	10-12-01	EMP DE TRANSPORTE FERROVIARIO S.A.	44.60	44.60	I	6751470	304326	A	883	23-10-02
34	ND-4-1-447	10-12-01	EMP DE TRANSPORTE FERROVIARIO S.A.	1.40	1.40	I	6737275	310223	A	893	23-10-02
35	ND-4-1-457	09-05-02	FELIPE BALBONTIN ANAIS	75.00	68.00	R	6748804	306308	A	894	23-10-02
36	ND-4-1-484	05-07-02	CONSTRUCCIONES Y MAQUINARIAS DSF	72.00	72.00	I	6749032	313104	A	850	30-09-02
37	ND-4-1-485	05-07-02	CONSTRUCCIONES Y MAQUINARIAS DSF	15.00	15.00	I	6748327	312580	A	852	30-09-02
38	ND-4-1-470	26-08-02	COMUNIDAD AGR LOS CHOROS	15.00	15.00	R	6753500	288200	A	315	15-07-03
39	ND-4-1-471	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	20.00	20.00	R	6751526	291943	A	421	26-08-03
40	ND-4-1-471	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	50.00	50.00	R	6748893	289754	A	421	26-08-03
41	ND-4-1-471	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	140.00	140.00	R	6750766	290767	A	421	26-08-03
42	ND-4-1-471	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	76.00	76.00	R	6751651	291400	A	421	26-08-03
43	ND-4-1-472	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	95.00	95.00	R	6750105	290406	A	424	26-08-03
44	ND-4-1-472	28-08-02	AGR E INM AGUA GRANDE S.A.	95.00	95.00	R	6750332	290579	A	424	26-08-03
45	ND-4-1-478	11-10-02	FRANCISCO AGUIRRE ESCUDERO	90.00		R	6749173	313100	P-DARH		
46	ND-4-1-479	11-10-02	JOSE MARTINEZ MERY	33.00		R	6749136	312801	P-DARH		
47	ND-4-1-480	11-10-02	MARIA MERY BARRIOS	60.00		R	6748830	313330	P-DARH		
48	ND-4-1-481	16-10-02	FELIPE BALBONTIN ANAIS	86.00		R	6748329	306959	P-DARH		
49	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	6.00		R	6774446	325793	P-DARH		
50	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	6.00		R	6774535	325559	P-DARH		
51	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	5.00		R	6774660	325782	P-DARH		
52	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	4.00		R	6774388	325795	P-DARH		
53	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	4.00		R	6774375	325877	P-DARH		
54	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	6.00		R	6773150	324027	P-DARH		
55	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	16.00		R	6773138	324154	P-DARH		
56	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	16.00		R	6772984	324089	P-DARH		
57	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	2.50		R	6773032	323837	P-DARH		
58	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	6.00		R	6774589	325733	P-DARH		
59	ND-4-1-482	11-11-02	ANA FLORES ANDRONICO	12.00		R	6777455	330234	P-DARH		
60	ND-4-1-488	03-01-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	8.00		R	6748278	312810	P_REG		
61	ND-4-1-489	03-01-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	27.00		R	6749132	312391	P_REG		
62	ND-4-1-490	03-01-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	27.00		R	6749147	312356	P_REG		
63	ND-4-1-491	03-01-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	13.00		R	6749211	312376	P_REG		
64	ND-4-1-507	18-02-03	HUGO BRTO CORTES	30.00	0.00	R	6750850	293090	P-DARH		
65	ND-4-1-510	24-03-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	45.00		R	6749264	312443	P_REG		
66	ND-4-1-511	24-03-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	70.00		R	6749431	312523	P_REG		
67	ND-4-1-512	24-03-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	90.00		R	6749077	313345	P_REG		
68	ND-4-1-514	24-03-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	95.00		R	6748984	313478	P_REG		
69	ND-4-1-515	24-03-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	95.00		R	6749069	312900	P_REG		
70	ND-4-1-522	03-06-03	ANA BUSTAMANTE SCHMEDE	97.00		R	6749329	312972	P_REG		
total				950	1602						
solicitados + otorgados				2551							

3. OBSERVACIONES AL ESTUDIO DE GCF

Como parte del trabajo de análisis que efectúa la DGA en relación con solicitudes de derechos de aprovechamiento correspondió efectuar una revisión de los antecedentes aportados para sustentar las solicitudes de aguas subterráneas en esta cuenca.

En su primera etapa, el informe presentado por GCF Ingenieros Consultores en marzo del 2004, en representación de la empresa constructora “Construcciones y Maquinarias BSF Ltda.” tuvo observaciones por parte de la DGA las cuales principalmente fueron del tipo: (1) la elección de la curva que caracteriza la relación precipitación escorrentía, la cual se consideraba sobreestimada para los valores de precipitación que ocurren en la cuenca; (2) Mayor definición de los datos y parámetros usados en el modelo de generación pluvial MPL; (3) Mala ubicación de pozos según la base de datos que el consultor poseía; (4) Mayores antecedentes de los resultados de las salidas gráficas que el modelo entrega; (5) Contar con el modelo para poder manipularlo y chequear datos y resultados.

En una segunda revisión del Informe corregido, en mayo del 2004, las observaciones se concentraron básicamente en: (1) Simular los escenarios con valores de los derechos nominales y no efectivos; (2) Cálculo de la recarga máxima admisible debía ser obtenida de una manera apropiada, utilizando ecuaciones que se manejaran bajo los mismos conceptos que trabaja el modelo pluvial –MPL; (3) Los acuíferos debían estar conectados hidráulicamente mediante un flujo subterráneo pasante.

Las últimas observaciones, efectuadas en septiembre 2004, apuntaron principalmente a la elección de la estación base escogida para la generación de caudales de escorrentía MPL, la cual consideraba la estación La Serena (89.5 mm/año) y que se considera muy alta para los regímenes que debiera tener la cuenca Qda Los Choros (Trapiche 43.2 mm/año y Incahuasi 50.6 mm/año), según la precipitación media anual registrada por el Balance Hídrico de Chile- DGA 1987). Para estos cálculos, se escogió la estación Junta el Carmen como estación base, de la III región, con una precipitación media anual de 55.4 mm/año. (Tabla 4.2)

Los caudales de bombeo, si bien el consultor en una última etapa intentó representar fielmente la realidad con extracciones variables en el tiempo, la DGA considera necesario para fines administrativos de simulación, la opción de simular los bombeos de manera permanente y constante en el tiempo, que se asemeja mucho más a los objetivos legales del Servicio.

Se cuenta entonces, con un modelo de balance para la Cuenca Quebrada Los Choros, el cual ha sido testeado y comprobado su validez, el que es descrito en el Capítulo 4 de este informe y usado para la evaluación del recurso hídrico subterráneo Quebrada Los Choros, como una primera aproximación del acuífero del sector.

4. MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA

El Modelo de Simulación para la Quebrada Los Choros, se encuentra diseñado en ambiente Excel, desarrollado por GCF. El Modelo es un modelo de balance, que trabaja con sectores los cuales tienen: caudales de entrada, caudales de salida, propiedades hidráulicas, recargas y descargas asociadas a cada uno de ellos, un caudal de bombeo asociado al sector, etc. No considera evapotranspiración de sectores de riego, pues son despreciables y la evapotranspiración natural ya está considerada en el cálculo de la recarga en base a la escorrentía que entrega el modelo pluvial MPL.

La mayoría de las explicaciones y metodologías que a continuación se detallan fueron obtenidas del Informe de GCF Ingenieros Consultores 2004

4.1. Metodología para el Cálculo de Caudales de Recarga.

La recarga del sistema acuífero se estima en función de los caudales de escorrentía superficial. Éstos fueron generados mediante el modelo pluvial de generación de escorrentía para cuencas no controladas MPL, cuyo autor intelectual es el Ing. Sr. Pablo Isensee. El detalle del Modelo MPL se explica en el Anexo A de este Informe.

Para el modelo MPL, se necesitan como base datos de evaporación media mensual, precipitación a escala mensual y una serie de parámetros que se describen en Anexo A.

La evaporación se estimó con el método de Turc, corregido según los resultados obtenidos en el estudio (REF 4) "Hidrogeología de la Quebrada Los Choros, Corfo, 1971". Debido a que el método de Turc sobreestima la evapotranspiración real, ésta fue corregida en un 22,9%. Este porcentaje se definió en función de la relación EVTP/PP (Evapotranspiración real/ precipitación) obtenida del estudio antes mencionado (REF 4) equivalente a 0,84.

En la tabla 4.1, se muestran los valores de evaporación mensual adoptados para la modelación.

Tabla 4.1: Evaporación mensual (mm)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
98,5	60,7	33,1	23	33,1	60,8	98,5	136,3	163,9	174	163,9	136,2

La estación pluviométrica base utilizada para el cálculo de los caudales fue la estación Junta del Carmen, con una precipitación media anual de 55.4 mm/año en el período comprendido entre abril de 1965 y marzo 2004. Tabla 4.3.

En GCF 2004, se correlacionaron las estaciones: La Serena Aeropuerto, Vicuña, Rivadavia y Junta de El Carmen con El Trapiche, ubicada en la zona de estudio, pero con un registro limitado. Los resultados más favorables de ese proceso, se obtuvieron con Vicuña y Junta del Carmen, pero se eligió esta última porque cubre un extenso período de tiempo que incluye hasta el presente año, se ubica al norte del área de estudio (condición más desfavorable) y se encuentra en una elevación semejante a la del valle de la Quebrada Los Choros en el sector Tres Cruces. El ajuste de la correlación lineal entregó un coeficiente de correlación igual a 0.8445.

El modelo MPL requiere además de una serie de otros parámetros, que se describen a continuación, en la tabla 4.2:

Tabla 4.2: Parámetros utilizados por el Modelo MPL

Parámetro	Descripción
AREA	Area de la cuenca o subcuenca, en Km ²
Si	Grado de humedad inicial, condición inicial de modelación = 0,01
Ezi	Escorrentia subterránea inicial, condición inicial de modelación =0,001 m ³ /s
A	coeficiente de precipitación. (adimensional), Factor de transposición. Multiplica el dato de lluvia de la estación base o patrón , con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca o sector
B	coeficiente de evapotranspiración (adimensional) Cuociente entre la evapotranspiración potencial de la sub cuenca o sector y la Evaporación media del evaporímetro (base o patron representativa de toda la cuenca)
FC	Tasa de infiltración correspondiente a suelo saturado (s=1) (mm/día)
ALFA	Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad
Smin	Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente
Scrit	Grado de humedad crítico bajo el cual se restringe la evapotranspiración
Secc	Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo
Hmáx	Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado (mm)
K	Constante de tiempo del embalse subterráneo (días)
Pmín	Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata

*Los valores con **negrita** son parámetros de calibración*

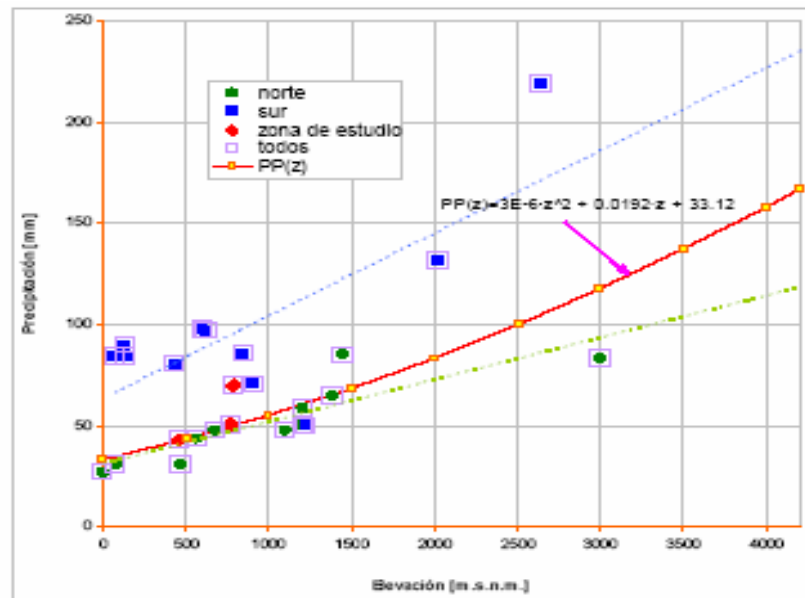
El valor del Área es estimado a partir de medición directa desde la cobertura de los sectores en Arcview.

El valor del coeficiente A, se calcula para cada sector como el cuociente entre la precipitación media mensual al sector y la precipitación media de la estación base. El cálculo de la precipitación media mensual del sector se estimó en base a una relación precipitación elevación, desarrollada por GCF 2004 y que consiste en definir un perfil de precipitaciones medias mensuales considerando 24 estaciones pluviométricas que abarcan desde la III a IV regiones. El gráfico 4.1 muestra el ajuste de la curva.

Tabla 4.3: Estadística Pluviométrica Estación Base
ESTADÍSTICA DE PRECIPITACIONES MENSUALES [mm]
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA DGA---JUNTA EL CARMEN

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
65/66	1	11	5,1	80,1	16,9	0	0	0	0	0	0	0	114,1
66/67	0	0	22,5	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0	27
67/68	0	0	30,3	0	0,8	11,5	0	0	0	0	0	0	42,6
68/69	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5
69/70	0	0	2,5	0	20,8	0	0	0	0	0	0	0	23,3
70/71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71/72	0	0	4,5	0	31,3	25,7	0	0	0	0	0	0	61,5
72/73	0	0	12	32	34	0	0	0	0	0	0	0	78
73/74	9,5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	12,5
74/75	0	0	6,5	0	0	10	0	0	0	0	0	0	16,5
75/76	0	32	12	0	4,5	0	0	0	0	0	3	0	51,5
76/77	0	38	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	62
77/78	2,5	0	2	27	16	0	0	0	0	0	0	0	47,5
78/79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79/80	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	1,5
80/81	31,9	0	1,5	58	10,5	0	0	0	0	0	0	0	101,9
81/82	0	0	0	5,5	7	3	0	0	0	0	0	0	15,5
82/83	0	11,5	11,5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	34
83/84	1	0	27	50	23	6	1,5	0	0	0	0	33	141,5
84/85	0	0	6	164,5	0	0	0	0	0	0	0	0	170,5
85/86	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	27
86/87	0	17,5	0	4	26	0	2,6	0	0	0	0	0	50,1
87/88	0	36	0	125,4	4	0	1,5	0	0	0	0	0	166,9
88/89	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	4,5
89/90	1	1	0	4,7	31	0	0	0	0	0	0	0	37,7
90/91	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14
91/92	0	0	129,5	23,5	0	0	0	0	6,9	0	0	65	224,9
92/93	8	19,4	42	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	70,9
93/94	0	0	0	0	12,5	0	0	0	0	0	0	0	12,5
94/95	0	0	0,3	3	1,5	0	0	0	0	0	0	0	4,8
95/96	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
96/97	0	0	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	1,5
97/98	0	0	87,5	0	147	0	0	0	0	0	0	0	234,5
98/99	0	0	26	14	0	0	0	0	0	0	0	0	40
99/00	0,1	0	4	0	0	5,4	5,5	0	0	0	0	0	15
00/01	0	23,5	48	32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	104
00/02	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4
00/03	4,5	53,5	13,7	42,5	27	0	0	0	0	0	0	0	141,2
00/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	2,1
PROMEDIO	1,5	6,2	12,7	18,6	11,5	1,7	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	2,6	55,4

Gráfico 4.1: Relación Precipitación-Escorrentía



Así entonces, se estima el factor de transposición (A) para asociar la estadística base a cada sector de interés.

Tabla 4.4: Factores de Transposición "A" por Sector

SECTOR	PP(z) (mm)	Factor Transposición A
Playa Los Choros	36.1	0.652
Choros Bajos	47.9	0.865
Quebrada Choros Altos	36.1	0.652
Punta Colorada	51.6	0.932
Tres Cruces	49.4	0.891

El resto de los parámetros son asumidos en base a la experiencia de aplicación del modelo MPL en otras cuencas y corresponden a parámetros calibrables. La forma de validar dichos parámetros es en base a la metodología de cálculo de escorrentía usada en el Balance Hídrico de Chile - DGA 1987, y que ha sido desarrollada por GCF Ingenieros Consultores. Allí se determinan la evapotranspiración, mediante un perfil de temperaturas, antecedentes morfométricos de la cuenca, y todos los cálculos se desarrollan en función de la altura. A continuación se presenta un cuadro resumen con los valores medios obtenidos para cada sector.

Tabla 4.5: Resultados balance hídrico Qda Los Choros.
Fuente GCF 2004

Sector	Elev Prom (m.sn.m.)	Area Total (Km2)	Temp °C	Precipit. mm	EVPT. mm	VPT cor mm	Esc mm	Qesc l/s	Qesc (mm) (m3/s)
S1-Playa Los Choros	150	302.5	15.9	36	40	30.9	5.2	50	0.050
S2-Los Choros Bajos	673	332	15.9	48	53	40.9	7	74	0.074
S3-Quebrada Choros Alto	545	398.8	15.9	45	49	38.1	6.5	82.4	0.082
S4-Punta Colorada	843	450.7	15.9	51.6	57.2	44.1	7.6	108	0.108
S5-Tres Cruces	1817	2688	14.4	79.6	87	66.9	12.7	1082	1.082
							Total	1396.4	1.40
<i>Elev Prom Elevacion Promedio</i> <i>EVPT. Evapotranspiración</i> <i>EVPT corr Evapotranspiración corregida</i> <i>Esc Escorrentia Total</i> <i>Qesc Caudal de Escorrentia Total</i> <i>Qesc (mm) Caudal de Escorrentia media mensual (promedio)</i>									

A continuación, en la Tabla 4.6, se presenta el resumen de los parámetros utilizados por sector para la obtención de los caudales generados por el Modelo MPL.

Tabla 4.6: Valores de los parámetros utilizados en el MPL

Sector	AREA	Si	Ezi	A	B	Pmin	Hmax	K	FC	ALFA	Smin	Scrit	Sec
	Km2	%	m3/s	adim	adim	%	mm	días	mm/día	adim	%	%	%
1	302.5	0.01	0.01	0.652	0.5	0.142	250	18	0.7	35.0	0.3	0.8	0.9
2	332.0	0.01	0.01	0.865	0.5	0.143	250	18	0.7	35.0	0.3	0.8	0.9
3	302.5	0.01	0.01	0.652	0.5	0.142	250	18	0.7	35.0	0.3	0.8	0.9
4	450.7	0.01	0.01	0.932	0.5	0.143	250	18	0.7	35.0	0.3	0.8	0.9
5	2668.0	0.01	0.01	0.891	0.5	0.255	250	18	0.7	35.0	0.3	0.8	0.9

En el Anexo B, se presentan los valores a escala mensual de los caudales generados sintéticamente por el Modelo MPL, que se resumen como sigue:

Tabla 4.7: Resumen caudales generados por MPL

Sector	Qesc (prom) Balance Hidrico (m3/s)	MPL		
		Volumenes totales	Volumenes Promedio	Q promedio
		[Mm3]	[Mm3]	(m3/s)
S1-Playa Los Choros	0.050	1341	0.13	0.050
S2-Los Choros Bajos	0.074	134	0.19	0.073
S3-Quebrada Choros Alto	0.082	62	0.13	0.050
S4-Punta Colorada	0.108	91	0.29	0.108
S5-Tres Cruces	1.082	62	2.87	1.080
	1.396	1690	3.61	1.361

La forma de validar el modelo de generación de caudales de escorrentía MPL, y de calibrar los parámetros al no contar con estaciones fluviométricas en toda la cuenca, se realiza en base a los caudales de escorrentía obtenidos mediante la metodología del Balance Hídrico, cuyos resultados se presentaron en la tabla 4.5. y tabla 4.7. Así se puede ver que los valores medios por sector tienen un buen ajuste.

Los caudales de recarga asociados a cada sector dependen de las características hidrogeológicas de cada uno y del escenario de explotación supuesto. La regla de extracción adoptada influye en la cuantía de la recarga, dado que el bombeo produce un vaciamiento del volumen almacenado y por consiguiente, genera una disponibilidad espacial para admitir flujos de recarga.

Considerando las capacidades de conducción e infiltración del acuífero, la escorrentía superficial y los caudales de bombeo, se elaboró en el Informe de GCF 2004, la metodología que se expone a continuación.

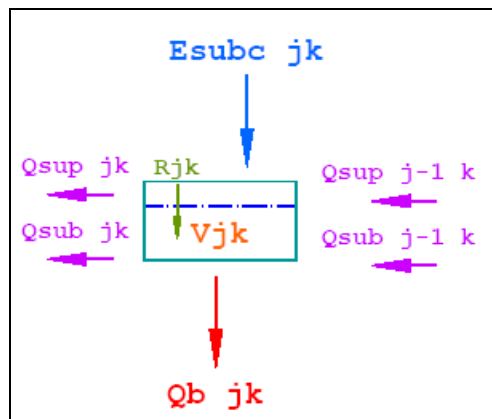


Figura 4.1: Esquema conceptual para estimación de Recarga

En la Figura 4.1 se muestra un diagrama de flujo representativo de cada sector. La recarga se calculó según el siguiente algoritmo válido para los meses $k = 1, \dots, 480$ y los sectores $j = 1, 2, 3, 4$ y 5 .

Volumen de escorrentía Total Sector j:

$$(E)_{jk} = (E_{subc})_{jk} + (Q_{sub})_{j-1k} + (Q_{sup})_{j-1k}$$

con:

- $(E_{subc})_{jk}$: Volumen de escorrentía generada en el tramo j
 $(Q_{sub})_{j-1k}$: Volumen de escorrentía subterránea saliente generada el tramo j-1 (tramo de aguas arriba)
 $(Q_{sup})_{j-1k}$: Volumen de escorrentía superficial saliente generada el tramo j-1 (tramo de aguas arriba)

Volumen inicial para admitir recarga en mes k:

$$\text{Si } [V_{jk-1} - (Q_b)_{jk} - (V_{coe})_{jk}] > (V_j)_{\min} \rightarrow V'_{jk} = [V_{jk-1} - (Q_b)_{jk} - (V_{coe})_{jk}]$$

$$\text{y } (Q_b)_{jk} = (Q_b)'_{jk}; \text{ si no } \rightarrow V'_{jk} = [(V_j)_{\min}] \text{ y } (Q_b)_{jk} = V_{jk-1} - (V_j)_{\min}$$

con

- V_{jk-1} : Volumen final mes k-1 (mes anterior)
 $(Q_b)_{jk}$: Volumen de bombeo en sector j y mes k
 $(V_{coe})_{jk}$: Volumen asociado a la capacidad de retención de agua del suelo en sector j y mes k (ver más adelante)
 $(Q_b)_{jk}$: Volumen de bombeo factible en sector j y mes k

Volumen de recarga al sector j en mes k:

$$\text{Si } (E)_{jk} > \min \{ (R_j)_{\max}; (V_{j\max} - V'_{jk}) \} \rightarrow R_{jk} = \min \{ (R_j)_{\max}; (V_{j\max} - V'_{jk}) \}$$

$$\text{si no } \rightarrow R_{jk} = (E)_{jk}$$

con

- R_{jk} : Volumen de recarga hidrológica al sector j en mes k
 $(R_j)_{\max}$: Volumen asociado a capacidad de conducción vertical máxima del tramo de acuífero correspondiente al sector j
 $V_{j\max}$: Volumen del acuífero a plena capacidad
 V'_{jk} : Volumen inicial para admitir recarga en mes k
 $(E)_{jk}$: Escorrentía Total Sector j

Debido a la extracción de aguas por el bombeo desde los pozos, se induce una recarga por recuperación que vuelve a la napa (recarga inducida). Es decir, la recarga total final se calcula como la suma de la recarga hidrológica y la recarga inducida. Por lo tanto:

$$(R_{jk})_{\text{total}} = R_{jk} + (R_{jk})_{\text{ind}}$$

con

- $(R_{jk})_{\text{total}}$: Volumen de recarga total al sector j en mes k
 R_{jk} : Volumen de recarga hidrológica al sector j en mes k
 $(R_{jk})_{\text{ind}}$: Volumen de recarga inducida al sector j en mes k

Volumen final mes k

$$V_{jk} = (R_{jk})_{\text{total}} + V'_{jk}$$

con

- $(R_{jk})_{\text{total}}$: Volumen de recarga total al sector j en mes k
 V'_{jk} : Volumen inicial para admitir recarga en mes k

Se consideró la capacidad de retención de agua del suelo (S_{oc}) igual a un 5% del volumen no saturado de cada sector. Aquel valor corresponde a un porcentaje intermedio entre los valores asociados a suelos arenosos (2%) y suelos arcillosos (9%)[†]. El volumen de capacidad de retención se calculó según la siguiente función:

$$\text{Si } (R_{jk-1}) > (V_{cop})_{jk-1} \rightarrow (V_{coe})_{jk} = 0; \text{ si no } \rightarrow (V_{coe})_{jk} = (V_{cop})_{jk-1} - R_{jk-1}$$

con

- $(V_{cop})_{jk-1} = S_{oc} \cdot (V_{stot} - V'_{jk})$
 $(V_{cop})_{jk-1}$: Volumen de capacidad de retención máxima del sector j en mes k-1
 V_{stot} : Volumen saturado total (volumen de relleno · almacenamiento)
 V'_{jk} : Volumen inicial para admitir recarga en mes k
 $(V_{coe})_{jk}$: Volumen asociado a la capacidad de retención del sector j en mes k

4.2. Datos de Entrada

Los datos base utilizados en la estimación de las recargas se definieron en función de los antecedentes disponibles y siguiendo criterios conservadores. (Fuente GCF 2004)

El relleno fluvial del área es bastante grueso, luego la porosidad efectiva puede alcanzar valores de hasta un 13%; conservadoramente se adoptó un valor de un 10 %, para ese parámetro, para todos los sectores.

Porosidad efectiva (coeficiente de almacenamiento): **S = 0.10**

La permeabilidad vertical no debería diferir demasiado de la permeabilidad horizontal, dado que el relleno no ha sufrido procesos de estratificación importantes que hayan alterado su isotropismo. A pesar de ello, se optó por utilizar una permeabilidad vertical equivalente al 10 % de la permeabilidad horizontal.

Factor para relacionar Kh con Kv: Fk = 0.10

$$K_v = 0.1 \cdot K_h$$

La capacidad de conducción vertical del medio se calculó en función de tasas de infiltración estimadas utilizando el método de Green-Ampt. En la tabla 4.8 se muestran las tasas obtenidas.

Tabla 4.8: Cálculo de tasas de infiltración
CALCULADAS CON EL MÉTODO DE GREEN AMPT

$$f = k_v \cdot F_0 / ((F_0 - S_f \cdot (\Phi - \theta_i)) \cdot \ln(1 + F_0 / [S_f \cdot (\Phi - \theta_i)]))$$

Green Ampt Model

Sector	k_h [m/s]	k_v [m/s]	F_0 [m]	S_f [1]	Φ [1]	θ_i [1]	f_p [m/s]	[l/s/Ha]
Tres Cruces	8.6E-05	8.599E-06	1.7	0.0495	0.1	0.05	8.681E-06	87
Punta Colorada	4.2E-05	4.167E-06	2.7	0.0495	0.1	0.05	4.194E-06	42
Qda. Choros Altos	1.3E-04	1.273E-05	7.9	0.0495	0.1	0.05	1.276E-05	128
Choros Bajos	5.0E-05	5.000E-06	5.3	0.0495	0.1	0.05	5.018E-06	50
Playa Los Choros	5.0E-05	5.000E-06	3.6	0.0495	0.1	0.05	5.025E-06	50

Nota: Los valores de F_0 se estimaron de manera iterativa de utilizando los resultados del modelo y varían para cada escenario.

k_h : permeabilidad horizontal	S_f : succión efectiva
k_v : permeabilidad vertical	Φ : porosidad efectiva
F_0 : longitud media entre nivel de terreno y nivel freático	θ_i : humedad inicial
$f = k_v \cdot F_0 / ((F_0 - S_f \cdot (\Phi - \theta_i)) \cdot \ln(1 + F_0 / [S_f \cdot (\Phi - \theta_i)]))$	

§ Expresión y valores de parámetros obtenidos de "Handbook of Hydrology, David R. Maidment, 1993"

** S_f : succión efectiva = 0.0495, corresponde a un valor medio del rango asociado a la succión en terrenos arenosos (entre 0.0097 y 0.2536 m), obtenido de referencia 1. La succión en arena es menor que la se produciría en terrenos con más arcilla, por lo tanto, el asumir un relleno arenoso es más conservador.

Para realizar una **calibración** del modelo se necesita contar con un registro histórico de niveles, desagregados por sector y con una distribución histórica mensual durante los años 1965 hasta 2004. Como ello no se cuenta, lo que se hizo para verificar que la variación del volumen almacenado fuese realista, se utilizó como referencia el limnigrama registrado en un pozo de control de niveles de la D.G.A., ubicado en Punta Colorada B-5 Estación N°10.

Del gráfico, considerado como referencia, se puede concluir que la máxima variación de nivel en ese pozo es de 25 m y el nivel freático más superficial alcanza los 15 m de profundidad. El relleno en ese sector tiene un espesor del orden de 100 m; por lo tanto, el volumen almacenado ha variado entre un 60% (40 m de profundidad) y un 85% (15 de profundidad) del volumen total, en el período de medición.

Dado que el sistema modelado será sometido a una extracción más intensa que la verificada históricamente en Punta Colorada, se ha adoptado como límite inferior un 35% de volumen almacenado (en vez de un 60%) y se ha mantenido el 85%, como límite superior. Es decir, el acuífero, según la representación elaborada, se puede deprimir hasta un 35% de su volumen total y se puede llenar hasta un 85% de éste. Por lo tanto, los escenarios evaluados consideran entre los aportes que sustentan la extracción, parte del volumen almacenado en cada sector.

Porcentaje mínimo de saturación (c/r al volumen máximo disponible): PSmin = 35 [%]

Porcentaje máximo de saturación (c/r al volumen máximo disponible): PSmax = 85 [%]

Se estimó la geometría y la permeabilidad del relleno existente en cada sector. Las extensiones de las superficies de relleno consideradas, se limitaron de manera conservadora, para no sobreestimar el área de relleno. Las permeabilidades horizontales se adoptaron en función de los valores obtenidos de los datos registrados en las pruebas de bombeo realizadas en los pozos existentes en el área. Los parámetros asociados a cada sector se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Características Geométricas y Permeabilidades

Sector	Kh [m/s]	i [1]	L [Km]	S [1]	H [m]	NEi [m]	Ar [m2]
S5-Tres Cruces	8.6E-05	0.019	44.60	0.10	35	5	2.29E+07
S4-Punta Colorada	4.2E-05	0.010	12.98	0.10	60	9	1.66E+07
S3-Quebrada Choros Alto	1.3E-04	0.010	16.61	0.10	55	8	2.70E+07
S2-Los Choros Bajos	5.0E-05	0.010	9.16	0.10	40	6	4.09E+07
S1-Playa Los Choros	5.0E-05	0.010	11.31	0.10	25	4	1.05E+08

Kh [m/s] Coeficiente de permeabilidad horizontal

i [1] Gradiente flujo subterráneo

L [Km] Largo del cauce principal

S [1] Coeficiente de almacenamiento

H [m] Espesor medio de relleno

NEi [m] Nivel estático inicial (actual)

Ar [m2] Área de relleno (planta)

4.3. Funcionamiento de la Planilla

El modelo desarrollado en ambiente Excel, tiene incorporado 8 hojas de cálculo, las cuales corresponden a:

- Hoja 1: Modelo. Detalle de los cálculos de la Modelación
- Hoja 2: Tasas de Infiltración. Obtención de las infiltraciones máx.
- Hoja 3: Q generado. Detalle de los Caudales y Volúmenes Generados con el MPL
- Hoja 4: Data. Datos de resultados por sector ordenados vectorialmente para facilitar la obtención de gráficos, referenciados a la hoja Modelo.
- Hoja 5: Gráficos Recarga
- Hoja 6: Gráficos Escorrentía
- Hoja 7: Gráficos Niveles
- Hoja 8: Gráficos Bombeo

La Hoja 1: Modelo, que es la hoja principal para la modelación, resulta ser muy explicativa para el usuario, pues se encuentra desarrollada de tal manera que están separados los datos de entrada básicos de los resultados directos, y de los procesos a nivel mensual, tal como se muestra de ejemplo en la tabla 4.10.

Así mismo, en la misma hoja de cálculo se encuentran descritos el significado de cada uno de los parámetros, como los cálculos a nivel promedio por sector. Tabla 4.11.

Para los datos de entrada, hay algunos que son independientes y otros que son función de los demás valores de entrada. Existe un análisis más detallado para el Sector de Tres Cruces y se debe a que por un lado existe mayor interés, el cual fue el motivo del estudio de GCF y por otro lado porque el sector es mucho más grande que el resto.

En la misma hoja, se encuentran los cálculos de los procesos mensuales de:

- Volumen de escorrentía total en tramo [Mm3]
- Volúmen en tramo (sin recarga) [Mm3]
- Volumen de Capacidad de Campo Potencial [Mm3]
- Volumen de Capacidad de Campo Efectiva [Mm3]
- Volúmen de extracción efectiva [Mm3]
- Volumen de recarga máxima admisible [Mm3]
- Volumen de recarga efectiva [Mm3]
- Volumen final (sin descontar caudal pasante) [Mm3]
- Volumen Pasante Subterráneo [Mm3]
- Volumen final [Mm3]

Todos los cálculos se encuentran para cada uno de los sectores a nivel mensual, para luego ser traspasados a caudal y como valores promedios, tal como se presentan en la figura 4.3.

El “Volumen de escorrentía total en tramo [Mm³]” corresponden a los valores entregados por el MPL pero en términos de volumen, que los obtiene mediante una fórmula de referencia con la Hoja 3: Qgenerado.

Todos los cálculos de los volúmenes y estados de los sectores acuíferos, se encuentran hidráulicamente conectados tanto superficial como subterráneamente, por lo que, cualquier efecto en un sector aguas arriba, tendrá implicancias en el sector de aguas abajo.

El cálculo del “Volumen de recarga máxima admisible [Mm³]”, se encuentra en parte de su metodología de cálculo, referenciado a la “Hoja 2:Tasas de Infiltración”, la cual tiene explicado completamente en forma muy didáctica cada uno de los datos, ecuaciones y resultados utilizados para la modelación.

El “Volumen de recarga efectiva [Mm³]” corresponde al menor valor entre el “Volumen de escorrentía total en tramo [Mm³]” y “Volumen de recarga máxima admisible [Mm³]”. Así la recarga efectiva mensual de cada sector, dependerá del caudal disponible y del bombeo que en la zona se haya impuesto.

El volumen de escorrentía total que llega al sector, corresponde a lo que hay disponible en el sector con sus propios recursos y el volumen sobrante del sector de aguas arriba.

El “Volumen final mensual” corresponde a el “Volumen en tramo” más “Volumen de recarga efectiva” menos “Volumen Pasante Subterráneo”.

Dentro de las hojas se encuentran de manera muy ordenada los gráficos de: recargas, escorrentía, niveles y bombeos. Para el fin de este estudio, de evaluar la sustentabilidad de los acuíferos de quebrada Los Choros, el que más interesa considerar son los gráficos de los niveles y que ellos no sobrepasen el umbral definido como aceptable. (Item 4.2)

Los bombeos se consideraran bombeando todos los meses el caudal otorgado o solicitado total por sector.

En la metodología de evaluar los recursos hídricos, en el modelo sólo se debe indicar el **Caudal Demandado Inicial “Qd [m³/s]”** y este debe ser comparado con el **Caudal Demandado Factible “Qd-f [m³/s]”** calculado inmediatamente en las celdas conjuntas. Para que el caudal **Qd** sea factible de explotar, **Qd-f** no debe ser nunca menor que el valor impuesto en **Qd**, en caso contrario se debe intentar con un bombeo demandado inicial menor.

Tabla 4.10: Ejemplo de formato de los valores de Datos de Entrada del Modelo Los Choros.

Model de generación de caudales de recarga		Parámetros Bases								
		Factor para relacionar Kh con permeabilidad vertical ($F_k=K_v/K_h$)							0.10	
		Porcentaje mínimo de saturación							0.35	
		Porcentaje máximo de saturación							0.85	
Datos de Entrada Distribución de Relleno en sector Tres Cruces	ZONA	AREA [m2]	PROF [m]	NE [m]	k [m/s]	Zmin [m.s.n.m.]	Zmax [m.s.n.m.]	DL [m]	L [m]	i [1]
	Los Choros	7212824	25	10	0.00010	600	1150	19294	20615	0.02851
	Pelicano-Carrizo	8034358	30	12	0.00005	525	650	9246	9800	0.01352
	Quebrada Grande	2043890	25	15	0.00003	525	600	4680	5250	0.01603
	Tres Cruces	5600018	60	18	0.00014	450	575	7980	8930	0.01566
Datos de Entrada	Sector	Kh [m/s]	i [1]	L [Km]	S [1]	H [m]	NEi [m]	Ar [m2]	T [m2/s]	
	S5-Tres Cruces	8.6E-05	0.019	44.60	0.10	35	5	2.29E+07		
	S4-Punta Colorada	4.2E-05	0.010	12.98	0.10	60	9	1.66E+07	0.0025	
	S3-Quebrada Choros Alto	1.3E-04	0.010	16.61	0.10	55	8	2.70E+07	0.0070	
	S2-Los Choros Bajos	5.0E-05	0.010	9.16	0.10	40	6	4.09E+07		
	S1-Playa Los Choros	5.0E-05	0.010	11.31	0.10	25	4	1.05E+08		
Resultados directos en función de datos de entrada	Sector	Vrt [m3]	Vrsi [m3]	Vsi [m3]	Ars [m2]	Vsmin [Mm3]	Vsmax [Mm3]			
	S5-Tres Cruces	8.1E+08	6.9E+08	68.7	15409	28.3	68.7			
	S4-Punta Colorada	1.0E+09	8.5E+08	84.7	65247	34.9	84.7			
	S3-Quebrada Choros Alto	1.5E+09	1.3E+09	126.2	75947	52.0	126.2			
	S2-Los Choros Bajos	1.6E+09	1.4E+09	137.9	150561	57.3	139.1			
	S1-Playa Los Choros	2.6E+09	2.2E+09	219.5	194051	91.5	222.1			

Hoja "Modelo"

Tabla 4.11: Ejemplo de formato de los valores de Resultados del Modelo Choros. Hoja "Modelo"

Sector	Vol. de esc. tot. gen. en cuenca aport. a sector [Mm3]	Vol. de Esc. total que llega a sector [Mm3]	Vol. de Esc. tot. de salida del sector [Mm3]	Vol. de Esc. sub. de salida del sec. [Mm3]	Vol. de Esc. sup. de salida del sector [Mm3]	Volumen de bombeo ef. del sector [Mm3]	Volumen de rec. ef. del sector [Mm3]	Volumen final en sector [Mm3]	Volumen inicial en sector [Mm3]
S5-Tres Cruces	1341	1341	1225	11	1214	121	127	64	69
S4-Punta Colorada	134	1359	1191	12	1179	175	180	77	85
S3-Quebrada Choros Alto	62	1253	881	41	840	390	413	109	126
S2-Los Choros Bajos	91	972	965	35	930	6	41	138	138
S1-Playa Los Choros	62	1027	1027	45	982	0	46	220	220
Total	1690							608	637

Sector	Qbi [m3/s]	Qb-f [m3/s]	Et [m3/s]	Rind [m3/s]	R [m3/s]	Rtot [m3/s]	Qsubt [m3/s]	Balance (m3/s)
S5-Tres Cruces	0.100	0.100	1.089	0.002	0.103	0.105	0.009	0.100
S4-Punta Colorada	0.365	0.365	1.104	0.223	0.146	0.369	0.010	0.140
S3-Quebrada Choros Al	1.130	1.130	1.018	0.814	0.336	1.150	0.033	0.322
S2-Los Choros Bajos	0.007	0.007	0.789	0.002	0.034	0.035	0.029	0.034
S1-Playa Los Choros	0.000	0.000	0.835	0.000	0.037	0.037	0.037	0.037
Total	1.602	1.602	4.836	1.040	0.656	1.697	0.118	0.633

Sector	Qd [m3/s]	Qd-f [m3/s]
S5-Tres Cruces	0.098	0.098
S4-Punta Colorada	0.143	0.143
S3-Quebrada Choros Al	0.317	0.317
S2-Los Choros Bajos	0.005	0.005
S1-Playa Los Choros	0.000	0.000
Total	0.562	0.562

Datos de entrada			
Qbi [m3/s]	Caudal de bombeo inicial		
Qd [m3/s]	Caudal demandado inicial		

Qb-f [m3/s]	Caudal de bombeo factible	S [1]	Coefficiente de almacenamiento
Qd-f [m3/s]	Caudal demandado factible	H [m]	Espesor medio de relleno
Et [m3/s]	Escorrentía total que llega al sector	NEi [m]	Nivel estático inicial (actual)
Rind [m3/s]	Caudal de recarga Inducida	Ar [m2]	Área de relleno (planta)
R [m3/s]	Caudal de recarga hidrológica	T [m2/s]	Coefficiente de transmisibilidad horizontal
Rtot [m3/s]	Caudal de recarga total	Vrt [m3]	Volumen total (relleno): $Vrt = Ar \cdot H$
Qsubt [m3/s]	Caudal subterráneo saliente del sector	Vrsi [m3]	Volumen saturado inicial (agua almacenada): $Vrsi = (H-NE) \cdot Ar \cdot S$
Qsup [m3/s]	Caudal superficial saliente del sector	Vsi [m3]	Volumen saturado inicial (relleno): $Vsi = (H-NE) \cdot Ar$
Kh [m/s]	Coefficiente de permeabilidad horizontal	Ars [m2]	Área sección transversal saturada inicial (relleno): $Ars = (H-NE) \cdot Ar / (L \cdot 100)$
i [1]	Gradiente flujo subterráneo	Vsmin [Mm3]	Volumen saturado mínimo (agua almacenada): $Vsmin = Ar \cdot H \cdot S \cdot P_{Smin} / 10$
L [Km]	Largo del cauce principal	Vsmax [Mm3]	Vol. máx. disp. (agua alm., acuífero lleno hasta nivel de terr.): $Vsmax = Ar$

Calibración

De la forma en que está conceptualizado el modelo, y la manera en que opera, se considera que la calibración no tiene mucho sentido, debido a la escasa información histórica de bombeos y debido a que la sectorización es demasiado grande como para intentar reproducir los niveles observados en los pozos de observación que controla la DGA, los cuales se concentran básicamente en el lecho del río. (Ver figura 2.4)

Si obtenemos niveles, a partir de los volúmenes finales de los sectores (dividiéndolo por su área respectiva y restándolo a los espesores determinados en los parámetros de entrada), tendríamos niveles que representan un nivel promedio de todo el sector acuífero, para cada uno de los sectores. Sin embargo, la poca variabilidad que existe en los pozos de observación de la DGA (5 metros la media para casi todos los acuíferos, con una excepción de máximo de 20 mts de máxima variabilidad), no podría ser comparable ciento por ciento, con una variabilidad casi nula obtenida con el modelo para cada uno de los sectores a nivel mensual, debido al escaso bombeo histórico de uso en la cuenca (66 l/s, reales en uso, según catastro marzo 2004-DGA) y debido a la variable de espacialidad, la cual no es considerada en el modelo.

Debido a lo anteriormente expuesto, el modelo no fue calibrado, sino tan sólo ajustado y restringido al uso de un porcentaje del volumen acuífero (explicación en página 37) y considerando que los volúmenes del balance hídrico realizado para este estudio fuesen del orden de magnitud de los volúmenes entregados por el modelo pluvial de generación de escorrentía para cada uno de los sectores. (Tabla 4.7)

4.4. Escenarios de Simulación

El período de simulación corresponde a los mismos que tiene la estación base Junta el Carmen , equivalente a 39 años de simulación, período abril 1965- abril 2004.

Los escenarios a simular corresponden a:

1. Escenario de Derechos Constituidos (hasta agosto 2002)
2. Escenario de Derechos Constituidos y Solicitados hasta diciembre 2003.
3. Escenario Sustentable de explotación futura.

En Anexo C, se ha realizado un resumen con los derechos otorgados y solicitados ubicados según el sector de Modelación, para facilitar la comprensión de los escenarios de Modelación.

Escenario 1: Bombeo de los Derechos actualmente Constituidos. De fecha Agosto 2002.

En la planilla de Cálculo, se impone el bombeo de los derechos otorgados.

Tabla 4.12: Caudales Otorgados. Escenario 1

Sector	Nombre	Q otorgado (l/s)
S1	Playa Choros	0
S2	Los Choros Bajos	7
S3	Quebrada Choros Altos	1130
S4	Punta Colorada	365
S5	Tres Cruces	100
Total		1602

Escenario 2: Explotación con los bombes de Derechos Constituidos. Y solicitados a diciembre del 2003.

Tabla 4.13: Caudales Otorgados más solicitados.

Sector	Nombre	Q otorgado más solicitado (l/s)
S1	Playa Choros	0
S2	Los Choros Bajos	7
S3	Quebrada Choros Altos	1160
S4	Punta Colorada	451
S5	Tres Cruces	933
Total		2551

Escenario 3: Explotación máxima sustentable.

En este escenario se intenta estimar el caudal máximo de bombeo por sector que es factible de bombear, sustentables en el tiempo.

4.5. Resultados

Escenario 1: Bombeo de los Derechos actualmente Constituidos. De fecha Agosto 2002.

Los resultados del escenario 1 resumen se muestran en la tabla 4.14.

Los resultados gráficos de este escenario se muestran en el Anexo D.

Tabla 4.14: Resultados Escenario 1, derechos constituidos a agosto 2002.

Sector	Vol. de esc. tot. gen. en cuenca aport. a sector [Mm3]	Vol. de Esc. total que llega a sector [Mm3]	Vol. de Esc. tot. de salida del sector [Mm3]	Vol. de Esc. subt. de salida del sec. [Mm3]	Vol. de Esc. sup. de salida del sector [Mm3]	Volumen de bombeo ef. del sector [Mm3]	Volumen de recarga. ef. del sector [Mm3]	Volumen final en sector [Mm3]	Volumen inicial en sector [Mm3]
5-Tres Cruces	1341	1341	1225	11	1214	121	127	64	69
4-Punta Colorada	134	1359	1191	12	1179	175	180	77	85
3-Quebrada Choros Alto	62	1253	881	41	840	390	413	109	126
2-Los Choros Bajos	91	972	965	35	930	6	41	138	138
1-Playa Los Choros	62	1027	1027	45	982	0	46	220	220
	1690							608	637

Sector / m3/s	Bombeo Inicial	Bombeo factible	Esc Total en el sector	Recarga Inducida	Recarga Hidrológica	Recarga Total	Qsubt saliente	Qsup saliente	Balance
S5-Tres Cruces	0.100	0.100	1.089	0.002	0.103	0.105	0.009	0.986	0.100
S4-Punta Colorada	0.365	0.365	1.104	0.223	0.146	0.369	0.010	0.958	0.140
S3-Qda. Choros Alto	1.130	1.130	1.018	0.814	0.336	1.150	0.033	0.682	0.322
S2-Los Choros Bajos	0.007	0.007	0.789	0.002	0.034	0.035	0.029	0.756	0.034
S1-Playa Los Choros	0.000	0.000	0.835	0.000	0.037	0.037	0.037	0.798	0.037
Total	1.602	1.602	4.836	1.040	0.656	1.697	0.118	4.180	0.633

Para el escenario de derechos constituidos la situación se presenta bien para el estado de los acuíferos. Ver Gráfico 4.2. Los niveles logran recuperarse, siendo el acuífero más explotado a agosto del 2002, el del sector de Choros Alto.

De los resultados de la tabla 4.14 se puede señalar que la recarga hidrológica asciende a 656 l/s para toda la cuenca de Qda Los Choros, con un cierre del balance positivo, para todos los sectores.

El uso bajo estas condiciones, presenta desembalses cíclicos, que luego vuelven a recuperarse producto de las recargas. La estabilización de niveles da cada uno de los sectores, es aceptable.

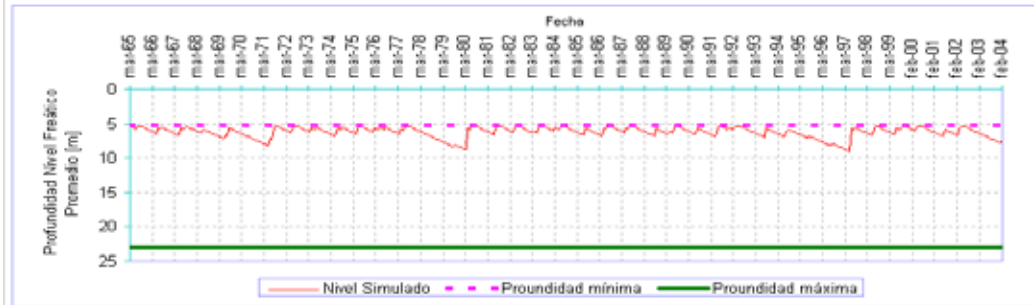
De los gráficos presentados en el Anexo D, se puede señalar que la variación de la recarga efectiva es mucho mayor en los sectores 3, 4 y 5, mostrando ciertas épocas con recarga nula, debido a la señal de precipitaciones de la estación base escogida. Esta señal se considera realista si se toma en cuenta que en Qda. Los Choros la lluvia es escasa y cuando la hay tiene carácter torrencial.

La escorrentía total entrante a cada uno de los sectores, permite que si exista caudal disponibles para los sectores de más abajo, que corresponde al caudal sobrante desde aguas arriba.

La señal de bombeo es pareja en todo el tiempo de simulación, considerando que los derechos son continuos y permanentes.

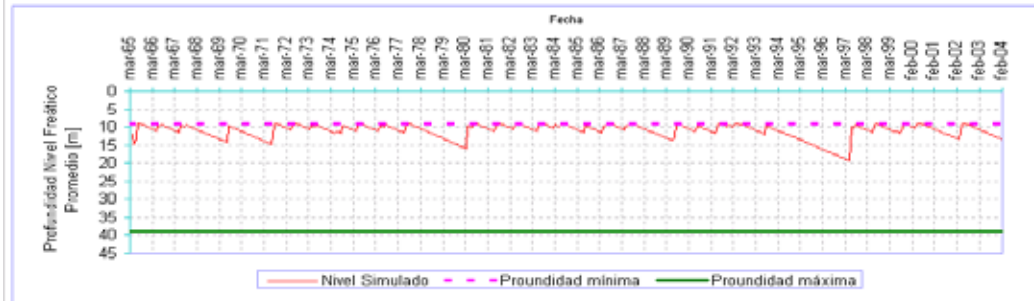
Gráfico 4.2: Variación de Niveles Escenario 1

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



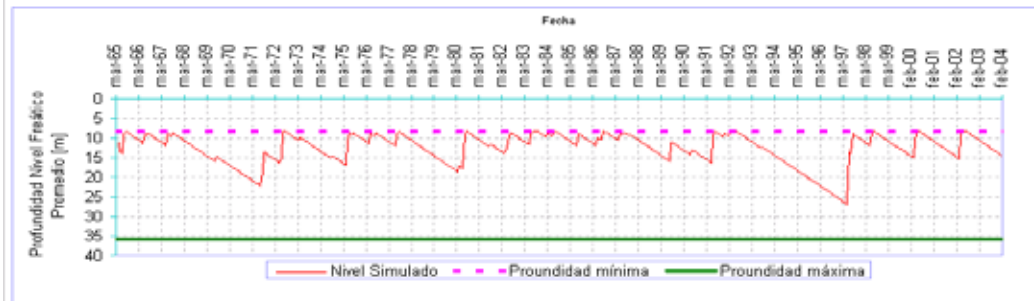
Q
(m³/s)
0.1

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



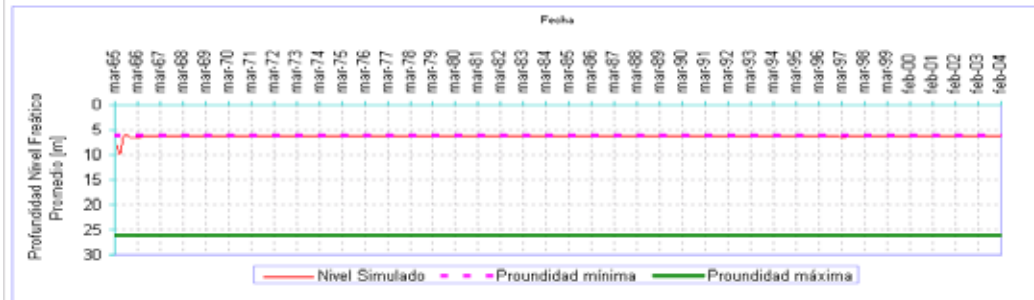
Q
(m³/s)
0.365

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



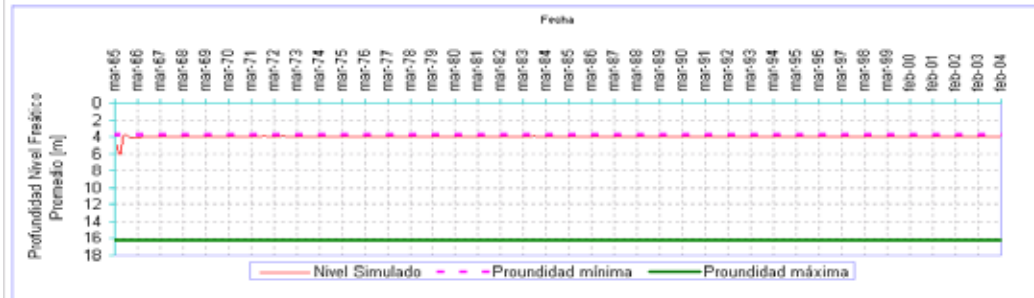
Q
(m³/s)
1.130

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos



Q
(m³/s)
0.007

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros



Q
(m³/s)
0.000

Escenario 2: Explotación con los bombeos de Derechos Constituidos y solicitados a diciembre del 2003.

Los resultados del escenario 2 resumen se muestran en la tabla 4.15.
Los resultados gráficos de este escenario se muestran en el Anexo D.

Tabla 4.15: Resultados Escenario 2, derechos constituidos y solicitados hasta diciembre 2003.

Sector	Vol. de esc. tot. gen. en cuenca aport. a sector [Mm3]	Vol. de Esc. total que llega a sector [Mm3]	Vol. de Esc. tot. de salida del sector [Mm3]	Vol. de Esc. sub. de salida del sec. [Mm3]	Vol. de Esc. sup. de salida del sector [Mm3]	Volumen de bombeo ef. del sector [Mm3]	Volumen de recarga. ef. del sector [Mm3]	Volumen final en sector [Mm3]	Volumen inicial en sector [Mm3]
5-Tres Cruces	1341	1341	1031	11	1021	322	320	57	69
4-Punta Colorada	134	1165	979	12	967	194	198	77	85
3-Quebrada Choros Al	62	1041	659	40	619	400	422	109	126
2-Los Choros Bajos	91	750	744	35	709	6	41	138	138
1-Playa Los Choros	62	806	806	45	760	0	46	220	220
	1690							599	637
Sector / m3/s	Bombeo Inicial	Bombeo factible	Esc Total en el sector	Recarga Inducida	Recarga Hidrológica	Recarga Total	Qsubt saliente	Qsup saliente	Balance Total
S5-Tres Cruces	0.933	0.933	1.089	0.672	0.260	0.932	0.009	0.829	0.250
S4-Punta Colorada	0.451	0.451	0.947	0.293	0.161	0.455	0.010	0.786	0.154
S3-Qda. Choros Alto	1.160	1.160	0.846	0.835	0.343	1.178	0.032	0.503	0.328
S2-Los Choros Bajos	0.007	0.007	0.609	0.002	0.034	0.035	0.029	0.576	0.034
S1-Playa Los Choros	0.000	0.000	0.655	0.000	0.037	0.037	0.037	0.618	0.037
Total	2.551	2.551	4.146	1.802	0.835	2.637	0.116	3.312	0.804

Para el escenario de derechos constituidos más los solicitados hasta diciembre del 2003 la situación se presenta aceptable desde el punto de vista de la evolución de los niveles de los acuíferos y también desde el punto de vista de los caudales iniciales y los factibles a explotar. Ver Gráfico 4.3. Los niveles logran recuperarse, siendo el acuífero más explotado también el del sector de Choros Alto.

De los resultados de la tabla 4.15 se puede señalar que la recarga hidrológica asciende a 835 l/s para toda la cuenca de Qda. Los Choros, la cual depende de los bombeos impuestos dejando un delta de recarga mayor que el escenario anterior.

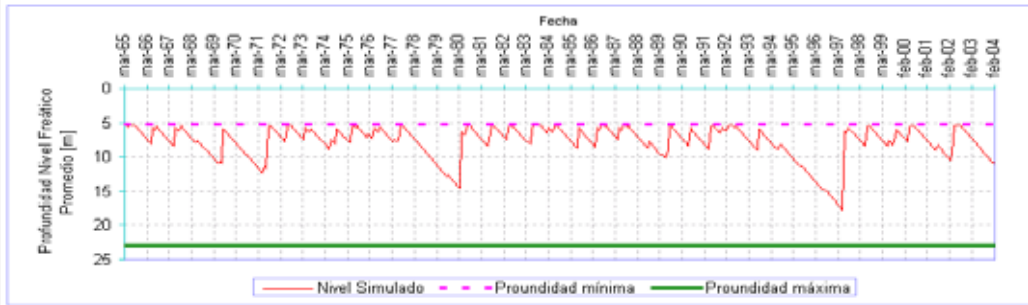
De los gráficos presentados en el Anexo D, la variación de la recarga efectiva es similar al caso anterior.

La escorrentía total entrante a cada uno de los sectores, permite que si exista caudal disponibles para los sectores de más abajo, que corresponde al caudal sobrante desde aguas arriba.

El volumen de escorrentía que llega a cada uno de los sectores disminuye para este escenario, con respecto al escenario 1, debido fundamentalmente que la mayor explotación hace que recargue más al acuífero y deje pasar menos escorrentía superficial.

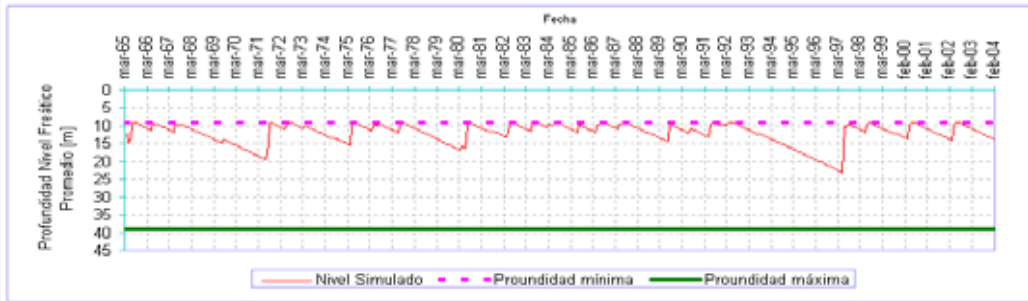
Gráfico 4.3: Variación de Niveles Escenario 2

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



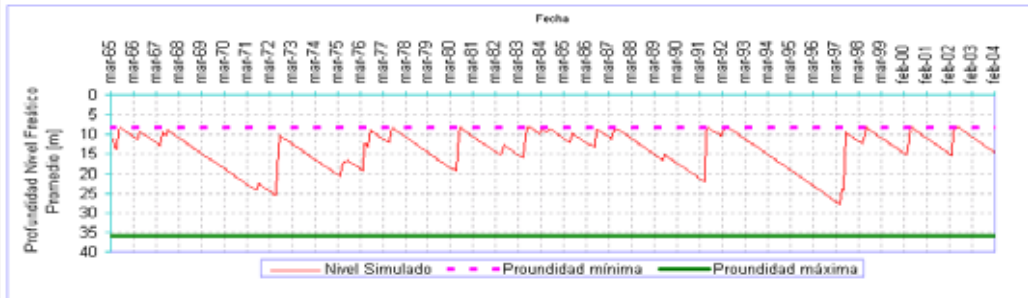
Q
(m3/s)
0.933

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



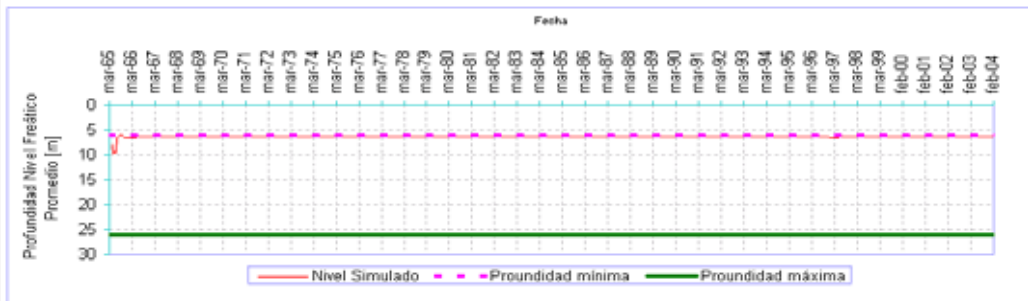
Q
(m3/s)
0.451

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



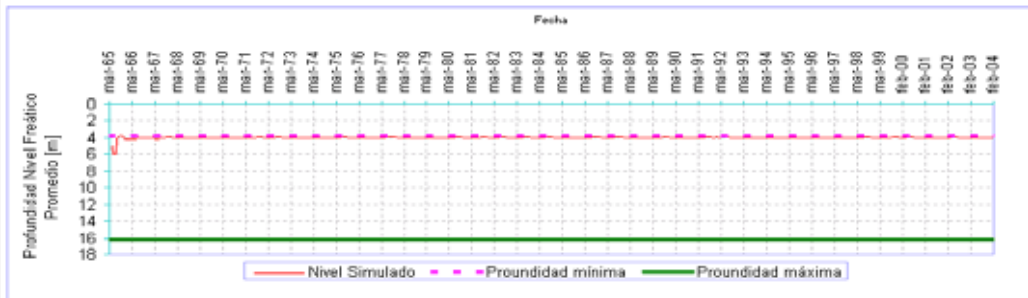
Q
(m3/s)
1.160

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos



Q
(m3/s)
0.007

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros



Q
(m3/s)
0.000

Escenario 3: Explotación máxima sustentable.

Los resultados del escenario 2 resumen se muestran en la tabla 4.16.
Los resultados gráficos de este escenario se muestran en el Anexo D.

Tabla 4.16: Resultados Escenario 3. Caudal Sustentable.

Sector	Vol. de esc. tot. gen. en cuenca aport. a sector [Mm3]	Vol. de Esc. total que llega a sector [Mm3]	Vol. de Esc. tot. de salida del sector [Mm3]	Vol. de Esc. sub. de salida del sec. [Mm3]	Vol. de Esc. sup. de salida del sector [Mm3]	Volumen de bombeo ef. del sector [Mm3]	Volumen de recarga. ef. del sector [Mm3]	Volumen final en sector [Mm3]	Volumen inicial en sector [Mm3]
5-Tres Cruces	1341	1341	1009	11	999	345	342	56	69
4-Punta Colorada	134	1143	854	11	843	302	301	72	85
3-Quebrada Choros Al	62	916	534	36	498	400	418	109	126
2-Los Choros Bajos	91	625	447	31	416	185	209	131	138
1-Playa Los Choros	62	508	331	41	290	185	218	212	220
	1690							581	637
Sector / m3/s	Bombeo Inicial	Bombeo factible	Esc Total en el sector	Recarga Inducida	Recarga Hidrológica	Recarga Total	Qsubt saliente	Qsup saliente	Balance Total
S5-Tres Cruces	1.000	1.000	1.089	0.720	0.278	0.998	0.009	0.811	0.267
S4-Punta Colorada	0.700	0.700	0.929	0.455	0.244	0.699	0.009	0.685	0.234
S3-Qda. Choros Alto	1.160	1.160	0.744	0.835	0.339	1.175	0.029	0.405	0.325
S2-Los Choros Bajos	0.200	0.200	0.508	0.050	0.170	0.220	0.025	0.338	0.164
S1-Playa Los Choros	0.500	0.500	0.413	0.350	0.177	0.527	0.033	0.236	0.172
Total	3.560	3.560	3.684	2.410	1.209	3.619	0.105	2.475	1.163

Para el escenario sustentable se busca satisfacer 3 cosas: (1) que los caudales de bombeo impuestos fueran factibles de explotar; (2) que los niveles se estabilizaran en el tiempo y que no alcanzaran el límite inferior de profundidad máxima aceptable; y (3) que la explotación de los sectores aguas arriba no afectaran los derechos que ya han sido otorgados, principalmente para el sector 3 de Choros Alto.

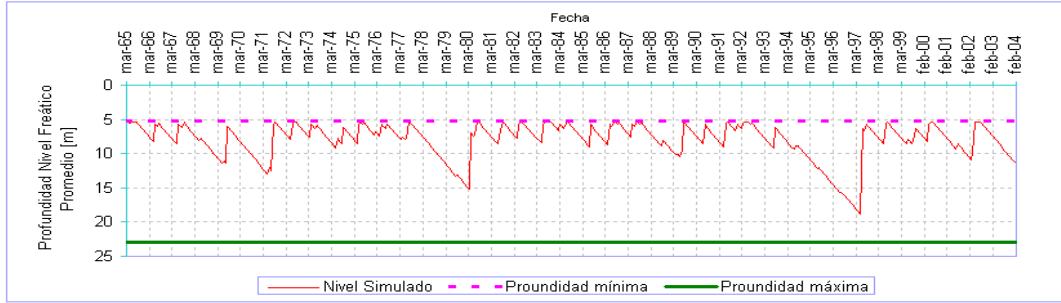
1.- Para el primer punto, el escenario escogido como sustentable permite explotar un bombeo factible en m3/s como se resumen a continuación:

Tabla 4.17: Resumen Caudales Factibles de Explotar.

Sector / m3/s	Bombeo factible
S5-Tres Cruces	1.000
S4-Punta Colorada	0.700
S3-Qda. Choros Alto	1.160
S2-Los Choros Bajos	0.200
S1-Playa Los Choros	0.500
Total	3.560

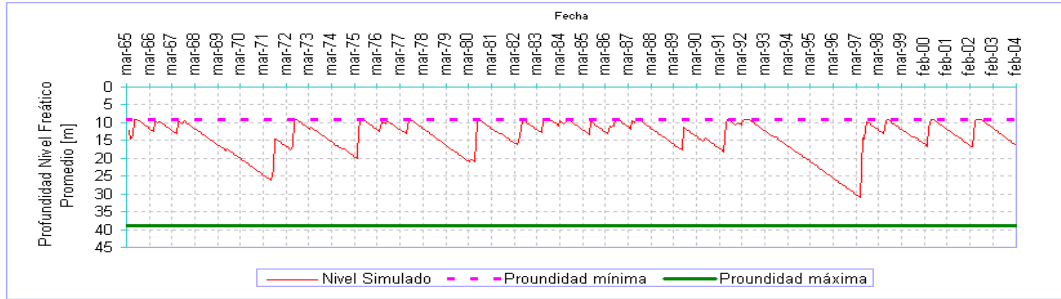
Gráfico 4.4: Variación de Niveles Escenario 3

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



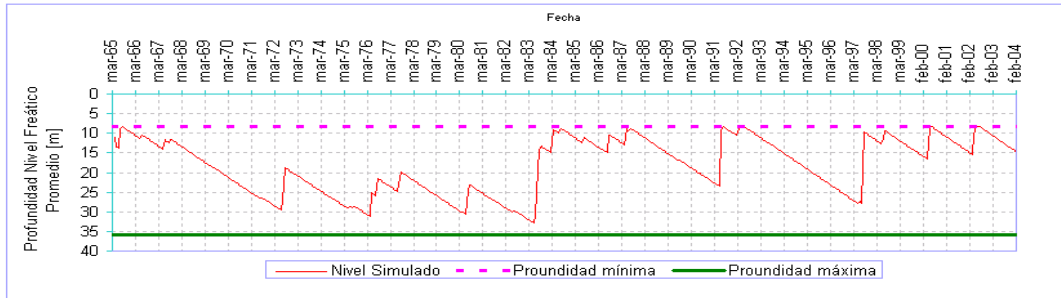
Q
(m³/s)
1.000

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



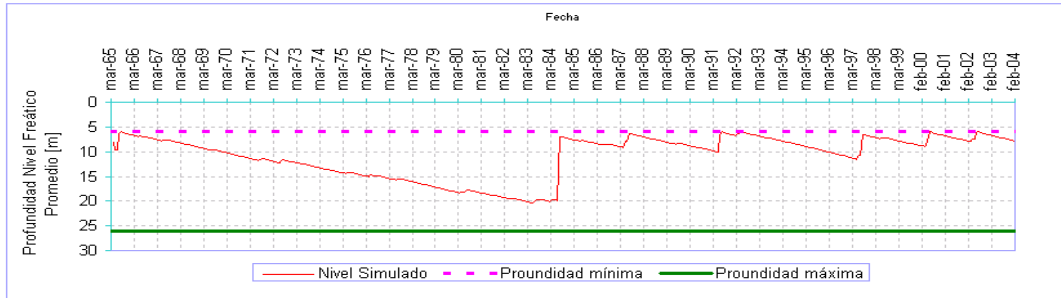
Q
(m³/s)
0.700

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



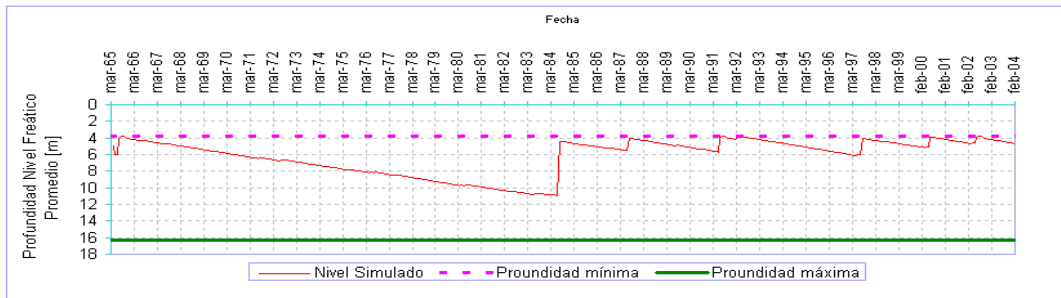
Q
(m³/s)
1.160

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos



Q
(m³/s)
0.200

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros



Q
(m³/s)
0.500

- 2.- Para la segunda consideración, los niveles presentados en el gráfico 4.4 indican una perfecta estabilización de los niveles, cuya señal depende directamente de la señal de precipitación de la Estación Junta el Carmen.
- 3.- En la obtención del escenario sustentable, la estabilización de los niveles de aguas abajo depende directamente de la explotación aguas arriba, por lo que el sector 3 de Choros Alto, fue la limitante para seguir explotando los sectores de Punta Colorada y de Tres Cruces. Los sectores de Choros Bajos y Playa Choros a pesar de ser más pequeños, mostraron ser un poco independientes de la explotación que ocurría aguas arriba.

De los gráficos presentados en el Anexo D, la variación de la recarga efectiva es similar al caso anterior.

La escorrentía total entrante a cada uno de los sectores, permite que si exista caudal disponibles para los sectores de más abajo, que corresponde al caudal sobrante desde aguas arriba.

Si se analizan los resultados de los flujos pasantes subterráneos y superficiales en comparación con los del escenario 1, se puede decir que se aprovechan un total de 569 l/s que no descargan al mar y se utilizan al interior de la cuenca, esto considerando solamente los flujos del sector de desembocadura, sector Playa Choros. ($Q_{sup} \text{ saliente}: 798 \text{ l/s} + Q_{subt} \text{ saliente}: 371 \text{ l/s}$ del esc 1 versus $Q_{sup} \text{ saliente}: 233 \text{ l/s} + Q_{subt} \text{ saliente}: 331 \text{ l/s}$ del esc 3)

5. CONCLUSIONES

1. El modelo de simulación realizado por GCF Ingenieros Consultores, resulta ser una herramienta útil y permite evaluar el recurso hídrico con el fin de visualizar la situación tanto para el escenario de derechos constituidos, como para los escenarios futuros de explotación.
2. En escenario 1, de derechos otorgados, demuestra que el acuífero es capaz de sostener una estabilización en el tiempo de los niveles y que el acuífero de Qda. Los Choros no estaría siendo actualmente sobreexplotado, del punto de vista legal del uso.
3. El escenario 2, de derechos constituidos y solicitados, permite clarificar que la aprobación de los derechos en trámite desde agosto 2002 hasta diciembre 2003, no perjudicaría el estado del acuífero de Qda. Los Choros, en comparación con lo ya otorgado.
4. El escenario sustentable permite explotar un bombeo factible en m³/s como se resumen a continuación

Sector / m ³ /s	Bombeo factible
S5-Tres Cruces	1.000
S4-Punta Colorada	0.700
S3-Qda. Choros Alto	1.160
S2-Los Choros Bajos	0.200
S1-Playa Los Choros	0.500
Total	3.560

5. El escenario se considera sustentable del punto de vista de los niveles del acuífero, pues ellos siempre logran la recuperación a través del tiempo.
6. Es importante señalar que, debido a la conceptualización del modelo, los pozos de bombeo han sido agrupados por sector y los resultados de modelación aquí presentados podrían variar en el caso que se contase con un modelo hidrogeológico de más detalle, como lo son los modelos desarrollados en diferencias finitas (como Visual Modflow), en donde la coordenada de ubicación de los pozos adquiere vital importancia del punto de vista del funcionamiento local y regional.
7. El modelo aquí desarrollado y utilizado es una primera aproximación a la respuesta del acuífero de manera global.

8. Se espera, a fines del 2004, contar con un modelo hidrogeológico en ambiente Visual Modflow 4.0, para la Quebrada de Los Choros, trabajo que está siendo desarrollado por el Depto. de Estudios y Planificación. En él, se contará con los valores de recarga que entregue el modelo Los Choros en ambiente Excel, trabajo que servirá para validar cada uno de los pasos adoptados para el presente trabajo. Además, este modelo permitirá poder representar espacialmente y temporalmente los niveles en el acuífero de la Quebrada Los Choros.

6. RECOMENDACIONES

1. Es conveniente desarrollar un plan de aforos sistemáticos en el cauce principal con el fin de conocer de mejor forma los flujos superficiales.
2. Es recomendable efectuar estimaciones de los caudales máximos producidos en la Quebrada de los Choros. En época invernal a partir de métodos indirectos de forma de contar con mayores antecedentes para ajustar la simulación de la esorrentía.
3. Se considera necesario contar con un modelo mas detallado para la modelación hidrogeológica de la cuenca, en términos de representatividad espacial de los pozos de bombeo.

ANEXOS

ANEXO A

**DESCRIPCIÓN MODELO PLUVIAL
DE GENERACIÓN DE CAUDALES SINTÉTICOS
MPL**

1.1.1 MODELO PLUVIAL (MPL)

El MPL corresponde a un modelo hidrológico de generación de caudales que simula el ciclo de escorrentía de una cuenca pluvial aplicando la ecuación de continuidad sobre un elemento de área y/o volumen de control en la cuenca.

Este modelo, que se ilustra en la FIGURA 1.1.1-1, considera que existen dos elementos de embalse de agua:

- Un volumen de almacenamiento cercano a la superficie del suelo, cuya magnitud representa la capacidad media de retención de agua en la cuenca y desde el cual se extrae agua para satisfacer la demanda evapotranspirativa.
- Un volumen subterráneo que retiene el agua que percola y que al vaciarse en forma lenta, contribuye al escurrimiento subsuperficial y subterráneo. Este almacenamiento es el que produce la escorrentía en los períodos de estiaje.

El modelo usa la ecuación de continuidad aplicada sobre un área unitaria en la zona no saturada del suelo:

$$I - O = \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

donde:

- I : flujo de entrada al volumen de control e igual a la tasa de infiltración desde la superficie
- O : flujo de salida al volumen de control e igual a la evapotranspiración más la percolación profunda.
- dH/dt: variación en el tiempo de la lámina de agua H almacenada en forma de humedad del suelo.

La lámina de agua almacenada en el suelo en un instante dado, se puede expresar como:

$$H = s \cdot n \cdot D \quad (2)$$

donde:

- D : profundidad total del suelo
- n : porosidad del suelo; cuociente entre el volumen de poros V_p y el volumen total V_t .
- s : grado de saturación del suelo; cuociente entre el volumen de líquido V_l y el volumen de poros V_p .

FIGURA 1.1.1-1
Esquema Conceptual del MPL

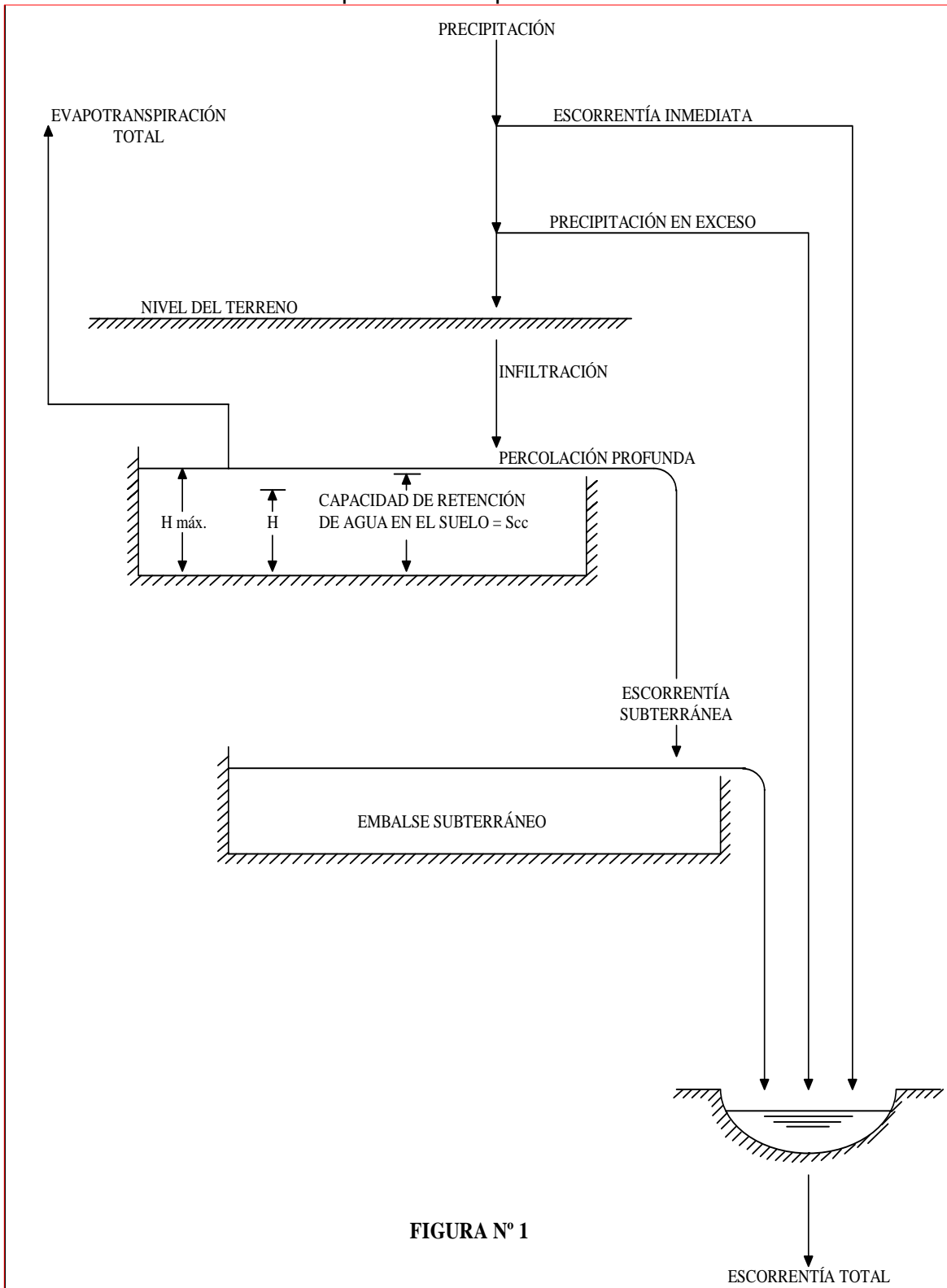


FIGURA N° 1

En igual forma la humedad almacenada en el suelo se puede expresar como:

$$H = s \cdot H_{\max} \quad (3)$$

donde:

H_{\max} : Lámina de agua correspondiente al estado de saturación y es uno de los parámetros del modelo.

De este modo, la ecuación (1) puede expresarse sin dimensiones de la forma:

$$\frac{1}{H_{\max}} (1 - 0) = \frac{ds}{dt} \quad (4)$$

A continuación se describe la forma en que se estiman las distintas componentes que integran el proceso modelado:

a) Estimación de la Infiltración

La tasa de infiltración I queda dada por la expresión:

$$I = \begin{cases} T_p & T_p < f \\ f & T_p > f \end{cases} \quad (5)$$

donde:

f : Capacidad de infiltración del suelo. Se supone que varía en forma lineal con el grado de saturación de acuerdo a la relación:

$$f = FC + ALFA(1 - s) [\text{mm/dia}] \quad (6)$$

con ALFA y FC (la capacidad de infiltración del suelo saturado) como parámetros del modelo.

T_p : Intensidad media diaria de las precipitaciones, supuesta constante dentro del mes y evaluada como:

$$T_p = \frac{P}{\text{Dias Mes}} [\text{mm/dia}] \quad (7)$$

donde:

P : Precipitación mensual
 DiasMes : Número de días del mes adoptando el valor de 30 para todos los meses.

ALFA y FC son parámetros del modelo, que deben ser calibrados, en cambio P es dato de entrada al modelo.

b) Estimación de la Evapotranspiración

La evapotranspiración ET se estima a partir del grado de saturación del suelo, para lo cual se supone una tasa de evapotranspiración igual a la potencial para humedades mayores a SCRIT y una tasa de evapotranspiración decreciente en forma lineal hasta anularse, para una humedad equivalente al punto de marchitez permanente SMIN.

Por lo tanto:

$$ET = \begin{cases} 0 & s < SMIN \\ ETP \cdot \frac{s - SMIN}{SCRIT - SMIN} & SMIN < s < SCRIT \\ ETP & SCRIT < s \end{cases} \quad (8)$$

donde SMIN y SCRIT son parámetros de calibración del modelo y ETP es dato de entrada.

c) Estimación de la Percolación Profunda

Para evaluar la percolación profunda PP se supone que ésta ocurre sólo para humedades mayores a un nivel umbral equivalente a la capacidad de campo SCC, y que aumenta en relación cúbica con la humedad, hasta alcanzar en estado de saturación en equilibrio con la tasa de infiltración FC.

$$PP = \begin{cases} 0 & s < SCC \\ FC \cdot \left[\frac{s - SCC}{1 - SCC} \right]^3 & s > SCC \end{cases} \quad (9)$$

d) Cálculo de la Escorrentía Total

La escorrentía mensual E_{MES} se calcula como la suma de las escorrentías sintetizadas diarias E_{DÍA}:

$$E_{MES} = \sum_1^{DiasMes} E_{DIA} [\text{mm/dia}] \quad (10)$$

La escorrentía diaria se calcula como la suma de la escorrentía superficial media diaria E_{SUP} más la escorrentía subterránea E_{SUB} :

$$E_{DIA} = E_{SUP} + E_{SUB} [\text{mm/dia}] \quad (11)$$

e) Cálculo de la Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial diaria E_{SUP} se estima igual a la precipitación en exceso más la precipitación inmediata:

$$E_{SUP} = P_{INMEDIATA} + E_{EXCESO} [\text{mm/dia}] \quad (12)$$

La precipitación diaria en exceso P_{EXCESO} corresponde a la diferencia entre la intensidad media diaria de la precipitación y la infiltración total en el día.

La precipitación inmediata $P_{INMEDIATA}$ corresponde a una parte de la precipitación total que se manifiesta rápidamente como escorrentía durante la lluvia:

$$P_{INMEDIATA} = P_{MIN} \cdot T_p [\text{mm/dia}] \quad (13)$$

donde P_{MIN} es un parámetro de calibración del modelo.

f) Cálculo de la Escorrentía Subterránea

Para evaluar la escorrentía subterránea se supone que el embalse subterráneo recibe una recarga constante durante el día, igual a la percolación profunda PP , y que descarga un flujo EZ (escorrentía subterránea) proporcional al volumen embalsado en él.

Aplicando la ecuación de continuidad se tiene:

$$PP - EZ = \frac{dV}{dt} \quad (14)$$

Si se tiene que:

$$EZ = \frac{V}{k} \quad (15)$$

la ecuación anterior se modifica a:

$$PP - EZ = k \frac{dEZ}{dt} \tag{16}$$

Separando variables e integrando, la escorrentía subterránea instantánea vale:

$$EZ (t) = PP + (EZ_0 - PP) e^{-\frac{t}{k}} \text{ [mm]} \tag{17}$$

donde:

- EZ₀ : Escorrentía subterránea al inicio del día
- k : Constante de tiempo

La escorrentía subterránea al final del día (t=1) e inicial del día siguiente EZ_f, vale:

$$EZ_f = PP + (EZ_0 - PP) e^{-\frac{1}{k}} \text{ [mm]} \tag{18}$$

La escorrentía subterránea media diaria es:

$$E_{SUB} = \int_0^1 EZ (t) dt \tag{19}$$

y luego de integrar se llega a:

$$E_{SUB} = PP + k (EZ_0 - PP) (1 - e^{-\frac{1}{k}}) \tag{20}$$

De acuerdo con lo expuesto, en el CUADRO 1.1.1-1 siguiente, se resumen los parámetros que deben ser ajustados en el proceso de calibración para el modelo pluvial.

CUADRO 1.1.1-1
Parámetros de Calibración del MPL

Parámetro	Descripción
FC	Tasa de infiltración correspondiente a suelo saturado (s=1) (mm/día)
ALFA	Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad
Smin	Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente
Scrit	Grado de humedad crítico bajo el cual se restringe la evapotranspiración
Sc	Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo
Hmáx	Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado (mm)
K	Constante de tiempo del embalse subterráneo (días)
Pmín	Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata

Por su parte, los datos de entrada que requiere el modelo corresponden básicamente a las estadísticas de precipitación y de evaporación de alguna estación base, además del área de la cuenca y los factores de precipitación y evaporación que multiplican a las estadísticas base para obtener los valores asociados a la cuenca en análisis.

ANEXO B

**CAUDALES SINTÉTICOS GENERADOS CON
MODELO PLUVIAL MPL
EN LA CUENCA QUEBRADA LOS CHOROS**

SECTOR 1: Playa Choros

Caudales de escorrentía total generada con MPL (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
65/66	0.016	0.120	0.055	0.866	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66/67	0.000	0.000	0.243	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67/68	0.000	0.000	0.327	0.000	0.009	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
68/69	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69/70	0.000	0.000	0.027	0.000	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70/71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
71/72	0.000	0.000	0.049	0.000	0.338	0.278	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72/73	0.000	0.000	0.130	0.346	0.367	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
73/74	0.103	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74/75	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75/76	0.000	0.346	0.130	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000
76/77	0.000	0.411	0.000	0.000	0.259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
77/78	0.027	0.000	0.022	0.292	0.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
78/79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
79/80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80/81	0.345	0.000	0.016	0.627	0.113	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81/82	0.000	0.000	0.000	0.059	0.076	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82/83	0.000	0.124	0.124	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
83/84	0.011	0.000	0.292	0.540	0.249	0.065	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.357
84/85	0.000	0.000	0.065	1.777	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85/86	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86/87	0.000	0.189	0.000	0.043	0.281	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
87/88	0.000	0.389	0.000	1.355	0.043	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
88/89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
89/90	0.011	0.011	0.000	0.051	0.335	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90/91	0.000	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
91/92	0.000	0.000	1.399	0.254	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.702
92/93	0.086	0.210	0.454	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
93/94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
94/95	0.000	0.000	0.003	0.032	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95/96	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96/97	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
97/98	0.000	0.000	0.945	0.000	1.588	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
98/99	0.000	0.000	0.281	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99/00	0.001	0.000	0.043	0.000	0.000	0.058	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00/01	0.000	0.254	0.519	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02/03	0.049	0.578	0.148	0.459	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03/04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
promedio												0.05

SECTOR 2: Choros Bajo

Caudales de escorrentía total generada con MPL (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
65/66	0.021	0.175	0.081	1.269	0.268	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66/67	0.000	0.000	0.356	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67/68	0.000	0.000	0.480	0.000	0.013	0.182	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
68/69	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69/70	0.000	0.000	0.040	0.000	0.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70/71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
71/72	0.000	0.000	0.071	0.000	0.496	0.407	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72/73	0.000	0.000	0.190	0.507	0.539	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
73/74	0.151	0.000	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74/75	0.000	0.000	0.103	0.000	0.000	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75/76	0.000	0.507	0.190	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048	0.000
76/77	0.000	0.602	0.000	0.000	0.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
77/78	0.040	0.000	0.032	0.428	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
78/79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
79/80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80/81	0.505	0.000	0.024	0.919	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81/82	0.000	0.000	0.000	0.087	0.111	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82/83	0.000	0.182	0.182	0.174	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
83/84	0.016	0.000	0.428	0.792	0.364	0.095	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.523
84/85	0.000	0.000	0.095	2.606	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85/86	0.000	0.000	0.000	0.428	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86/87	0.000	0.277	0.000	0.063	0.412	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
87/88	0.000	0.570	0.000	1.987	0.063	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
88/89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
89/90	0.016	0.016	0.000	0.074	0.491	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90/91	0.000	0.000	0.000	0.222	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
91/92	0.000	0.000	2.052	0.372	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.000	0.000	1.030
92/93	0.127	0.307	0.665	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
93/94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.198	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
94/95	0.000	0.000	0.005	0.048	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95/96	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96/97	0.000	0.000	0.000	0.008	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
97/98	0.000	0.000	1.386	0.000	2.329	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
98/99	0.000	0.000	0.412	0.222	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99/00	0.002	0.000	0.063	0.000	0.000	0.086	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00/01	0.000	0.372	0.760	0.515	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02/03	0.071	0.848	0.217	0.673	0.428	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03/04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033
promedio												0.07

SECTOR 3: Choros Alto

Caudales de escorrentía total generada con MPL (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
65/66	0.016	0.120	0.055	0.866	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66/67	0.000	0.000	0.243	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67/68	0.000	0.000	0.327	0.000	0.009	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
68/69	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69/70	0.000	0.000	0.027	0.000	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70/71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
71/72	0.000	0.000	0.049	0.000	0.338	0.278	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72/73	0.000	0.000	0.130	0.346	0.367	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
73/74	0.103	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74/75	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75/76	0.000	0.346	0.130	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000
76/77	0.000	0.411	0.000	0.000	0.259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
77/78	0.027	0.000	0.022	0.292	0.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
78/79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
79/80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80/81	0.345	0.000	0.016	0.627	0.113	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81/82	0.000	0.000	0.000	0.059	0.076	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82/83	0.000	0.124	0.124	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
83/84	0.011	0.000	0.292	0.540	0.249	0.065	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.357
84/85	0.000	0.000	0.065	1.777	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85/86	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86/87	0.000	0.189	0.000	0.043	0.281	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
87/88	0.000	0.389	0.000	1.355	0.043	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
88/89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
89/90	0.011	0.011	0.000	0.051	0.335	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90/91	0.000	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
91/92	0.000	0.000	1.399	0.254	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.702
92/93	0.086	0.210	0.454	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
93/94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
94/95	0.000	0.000	0.003	0.032	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95/96	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96/97	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
97/98	0.000	0.000	0.945	0.000	1.588	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
98/99	0.000	0.000	0.281	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99/00	0.001	0.000	0.043	0.000	0.000	0.058	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00/01	0.000	0.254	0.519	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02/03	0.049	0.578	0.148	0.459	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03/04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
promedio												0.05

SECTOR 4: Punta Colorada

Caudales de escorrentía total generada con MPL (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
65/66	0.028	0.256	0.118	1.856	0.392	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66/67	0.000	0.000	0.521	0.000	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67/68	0.000	0.000	0.702	0.000	0.019	0.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
68/69	0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69/70	0.000	0.000	0.058	0.000	0.482	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70/71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
71/72	0.000	0.000	0.104	0.000	0.725	0.596	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72/73	0.000	0.000	0.278	0.742	0.788	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
73/74	0.220	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74/75	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.232	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75/76	0.000	0.742	0.278	0.000	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.000
76/77	0.000	0.881	0.000	0.000	0.556	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
77/78	0.058	0.000	0.046	0.626	0.371	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
78/79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
79/80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80/81	0.739	0.000	0.035	1.344	0.243	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81/82	0.000	0.000	0.000	0.127	0.162	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82/83	0.000	0.267	0.267	0.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
83/84	0.023	0.000	0.626	1.159	0.533	0.139	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.765
84/85	0.000	0.000	0.139	3.812	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85/86	0.000	0.000	0.000	0.626	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86/87	0.000	0.406	0.000	0.093	0.603	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
87/88	0.000	0.834	0.000	2.906	0.093	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
88/89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
89/90	0.023	0.023	0.000	0.109	0.718	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90/91	0.000	0.000	0.000	0.324	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
91/92	0.000	0.000	3.001	0.545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.000	0.000	1.506
92/93	0.185	0.450	0.973	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
93/94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
94/95	0.000	0.000	0.007	0.070	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95/96	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96/97	0.000	0.000	0.000	0.012	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
97/98	0.000	0.000	2.028	0.000	3.797	0.030	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
98/99	0.000	0.000	0.603	0.324	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99/00	0.002	0.000	0.093	0.000	0.000	0.125	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00/01	0.000	0.545	1.112	0.753	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02/03	0.104	1.240	0.317	0.985	0.626	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03/04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049
promedio												0.11

SECTOR 5: Tres Cruces

Caudales de escorrentía total generada con MPL (m³/s)

ANO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
65/66	0.239	2.573	1.193	18.733	3.952	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66/67	0.000	0.000	5.262	0.000	1.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67/68	0.000	0.000	7.086	0.000	0.187	2.689	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
68/69	0.000	0.000	0.585	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69/70	0.000	0.000	0.585	0.000	4.864	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70/71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
71/72	0.000	0.000	1.052	0.000	7.320	6.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72/73	0.000	0.000	2.806	7.484	7.951	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
73/74	2.222	0.000	0.000	0.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74/75	0.000	0.000	1.520	0.000	0.000	2.339	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75/76	0.000	7.484	2.806	0.000	1.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.702	0.000
76/77	0.000	8.887	0.000	0.000	5.613	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
77/78	0.585	0.000	0.468	6.314	3.742	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
78/79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
79/80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80/81	7.460	0.000	0.351	13.564	2.456	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81/82	0.000	0.000	0.000	1.286	1.637	0.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82/83	0.000	2.689	2.689	2.573	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
83/84	0.234	0.000	6.314	11.693	5.379	1.403	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	7.718
84/85	0.000	0.000	1.403	38.471	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85/86	0.000	0.000	0.000	6.314	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86/87	0.000	4.093	0.000	0.935	6.081	0.000	0.608	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
87/88	0.000	8.419	0.000	29.327	0.935	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
88/89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
89/90	0.234	0.234	0.000	1.099	7.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90/91	0.000	0.000	0.000	3.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
91/92	0.000	0.000	30.286	5.496	0.000	0.000	0.000	0.000	1.614	0.000	0.000	15.201
92/93	1.871	4.537	9.822	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
93/94	0.000	0.000	0.000	0.000	2.923	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
94/95	0.000	0.000	0.070	0.702	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95/96	0.000	0.000	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96/97	0.000	0.000	0.000	0.117	0.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
97/98	0.000	0.000	20.463	0.000	34.378	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
98/99	0.000	0.000	6.081	3.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99/00	0.023	0.000	0.935	0.000	0.000	1.263	1.286	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00/01	0.000	5.496	11.226	7.601	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.935	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02/03	1.052	12.512	3.204	9.939	6.314	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03/04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.491
promedio												1.080

ANEXO C

**Caudales de Bombeo Otorgados y Solicitados
A la fecha diciembre 2003.
Ubicados por Sector de Modelación**

ANEXO D

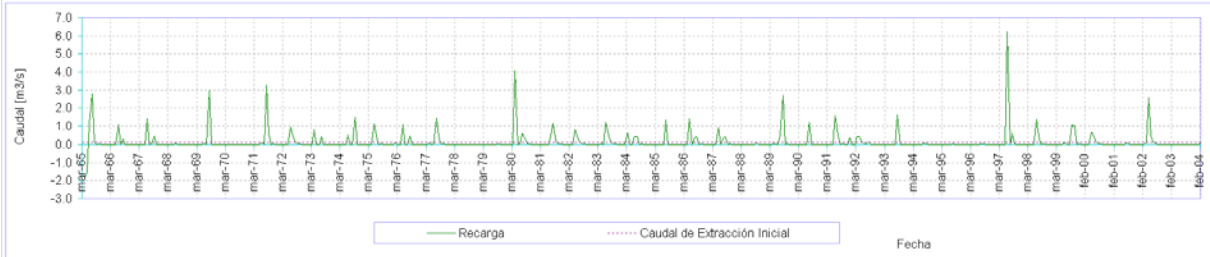
RESULTADOS GRÁFICOS ESCENARIOS

Variación de Recarga Efectiva Escenario 1: Derechos Otorgados

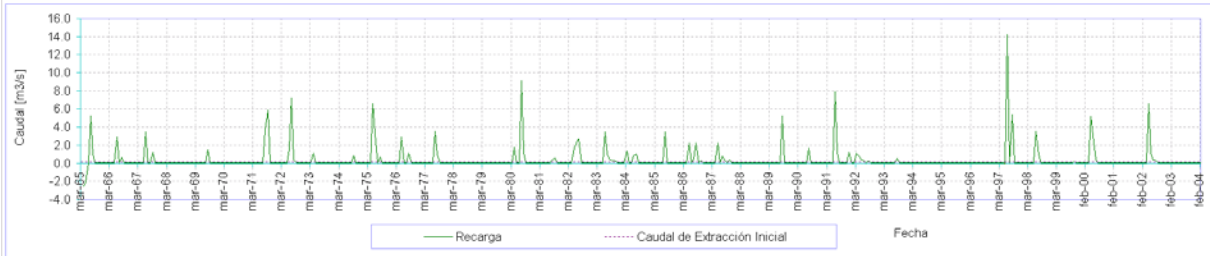
Recarga efectiva, Sector 5: Tres Cruces



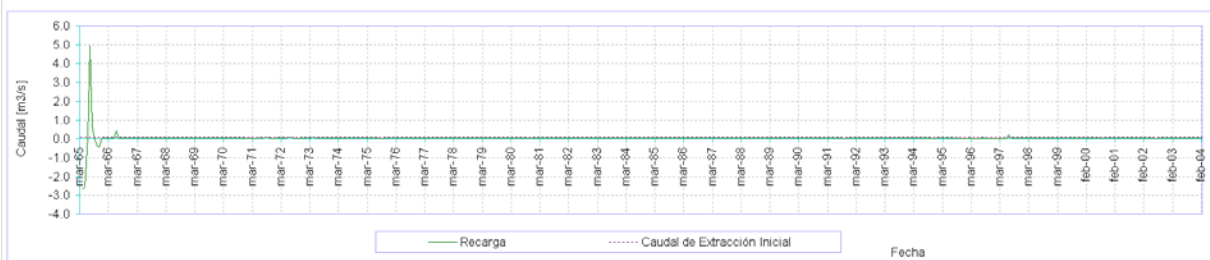
Recarga efectiva, Sector 4: Punta Colorada



Recarga efectiva, Sector 3: Quebrada Choros Alto



Recarga efectiva, Sector 2: Los Choros Bajos

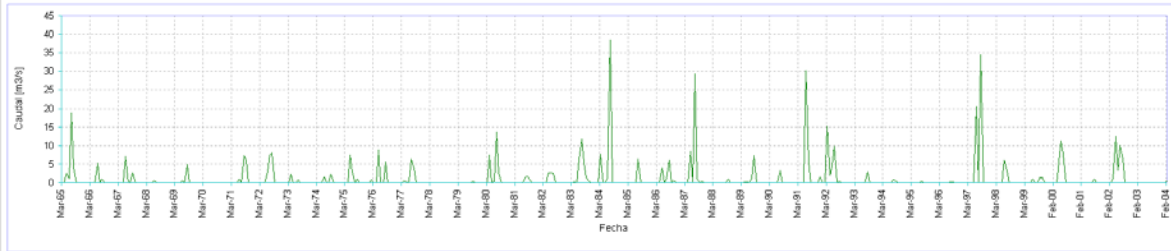


Recarga efectiva, Sector 1: Playa Choros

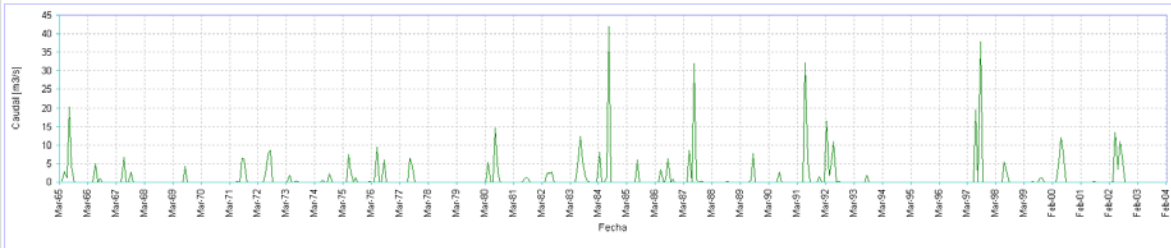


Variación de Escorrentía Total Entrante al Sector Escenario 1: Derechos Otorgados

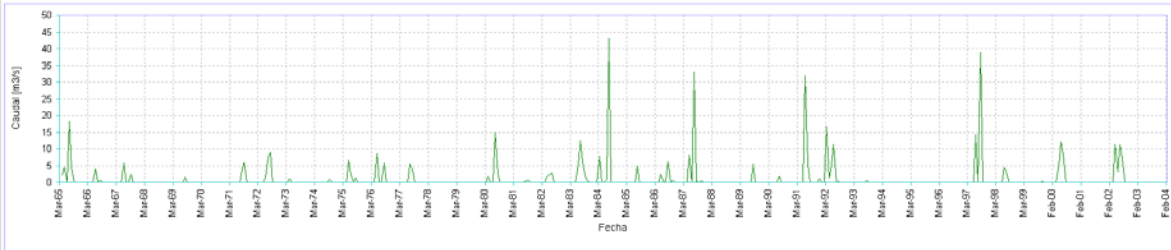
Escorrentía total entrante a Sector 5: Tres Cruces



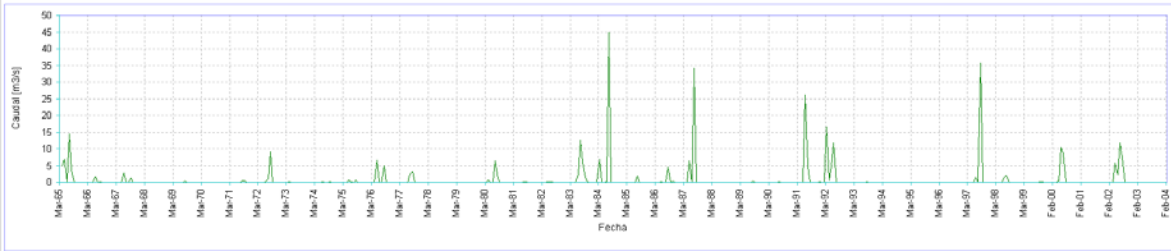
Escorrentía total entrante a Sector 4: Punta Colorada



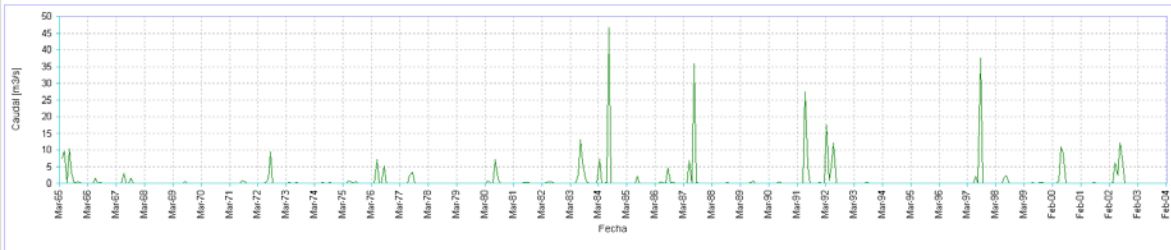
Escorrentía total entrante a Sector 3: Quebrada Choros Alto



Escorrentía total entrante a Sector 2: Los Choros Bajos

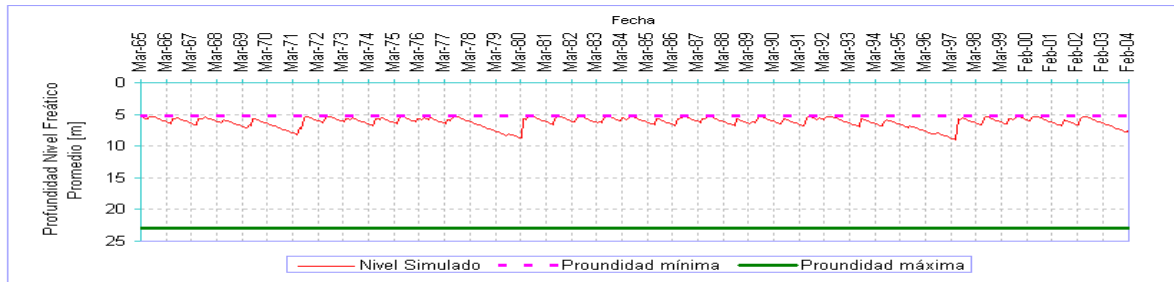


Escorrentía total entrante a Sector 1: Playa Choros

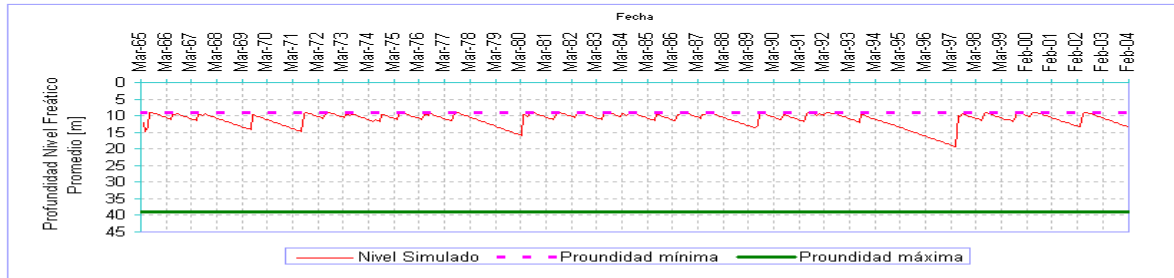


Variación de los Niveles Freáticos Escenario 1: Derechos Otorgados

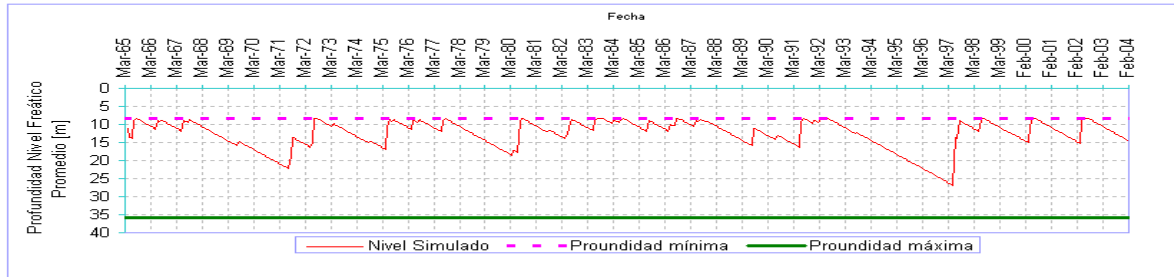
Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



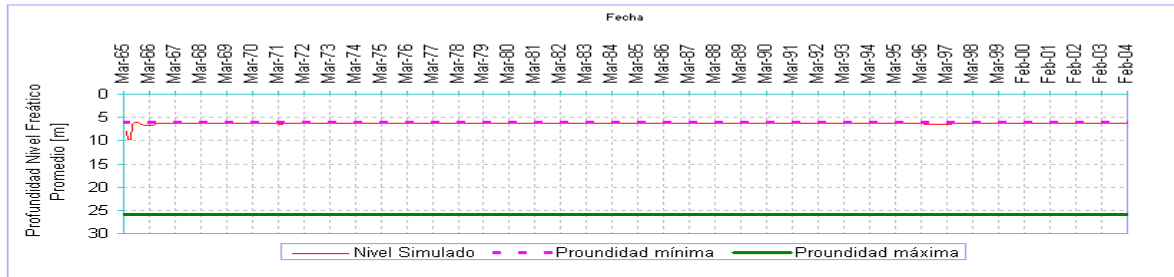
Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



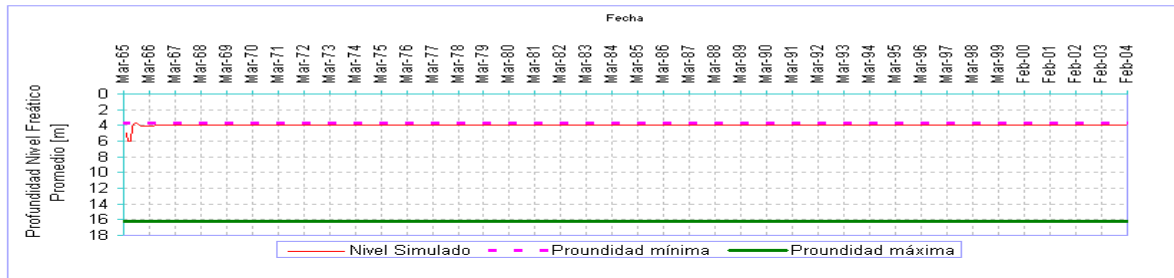
Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos

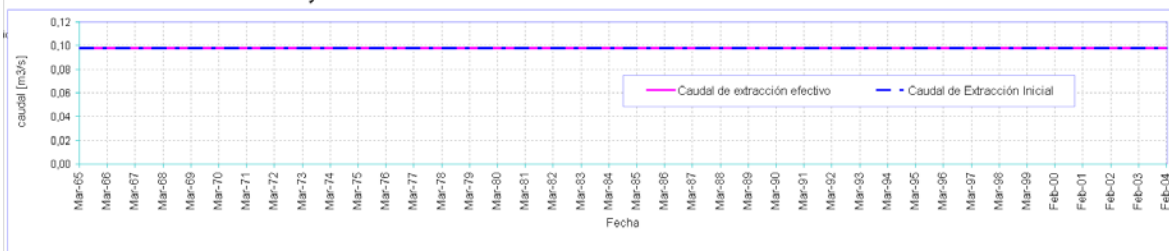


Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros

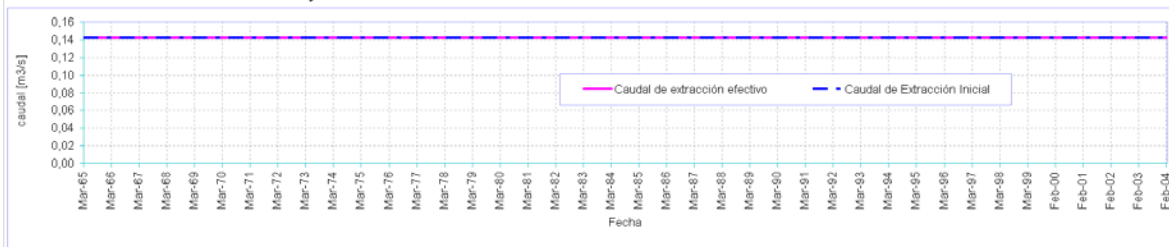


Variación de los caudales de bombeo Escenario 1: Derechos Otorgados

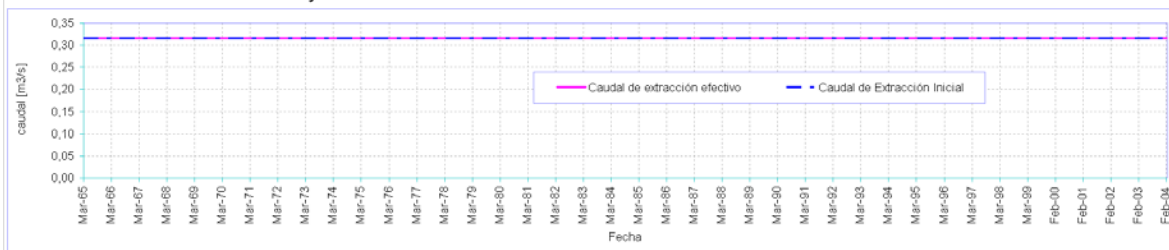
Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 5: Tres Cruces



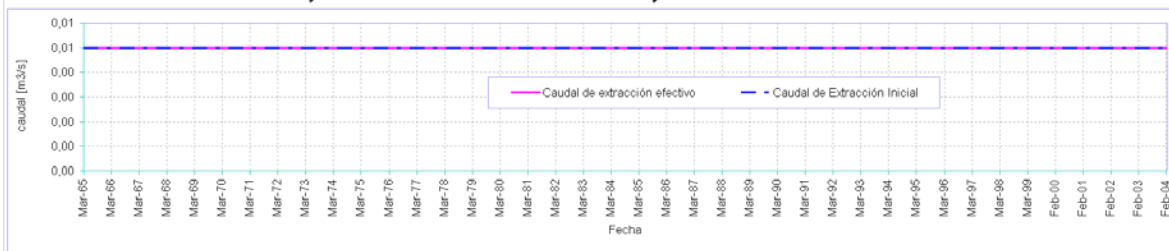
Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 4: Punta Colorada



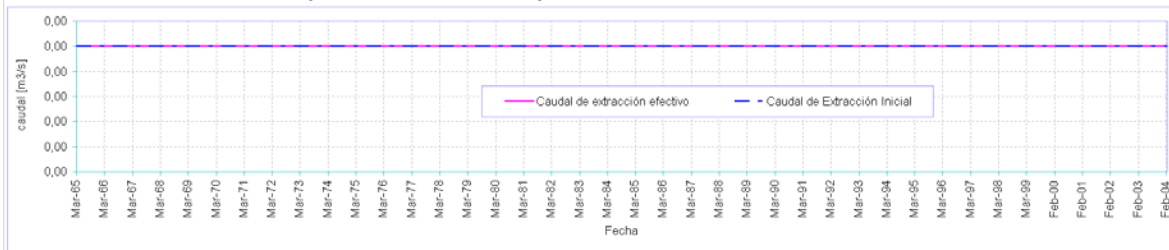
Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 3: Quebrada Choros Alto



Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 2: Los Choros Bajos

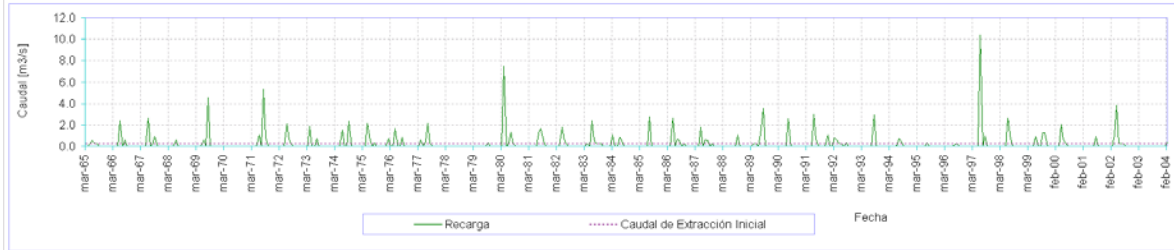


Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 1: Playa Choros

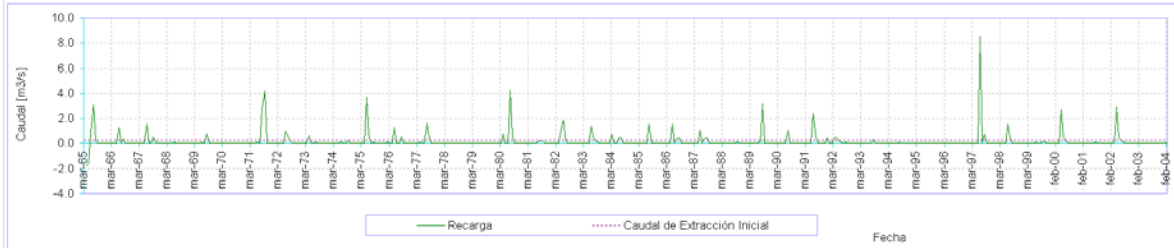


Variación de Recarga Efectiva Escenario 2: Derechos Otorgados y Solicitados a dic 2003

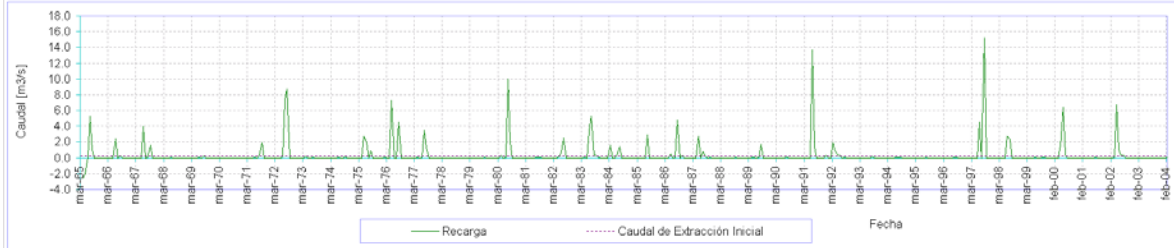
Recarga efectiva, Sector 5: Tres Cruces



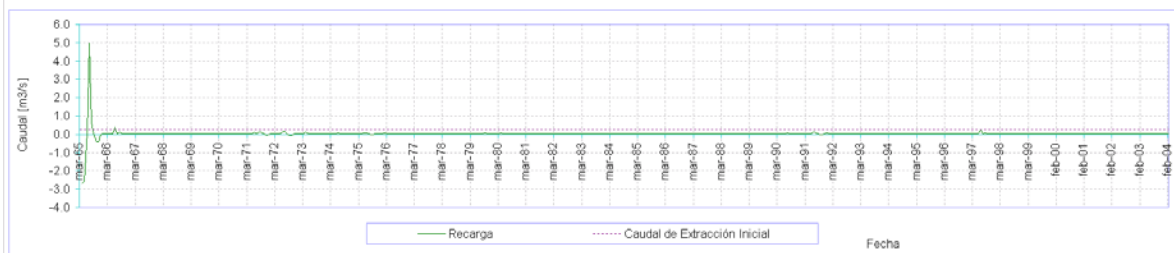
Recarga efectiva, Sector 4: Punta Colorada



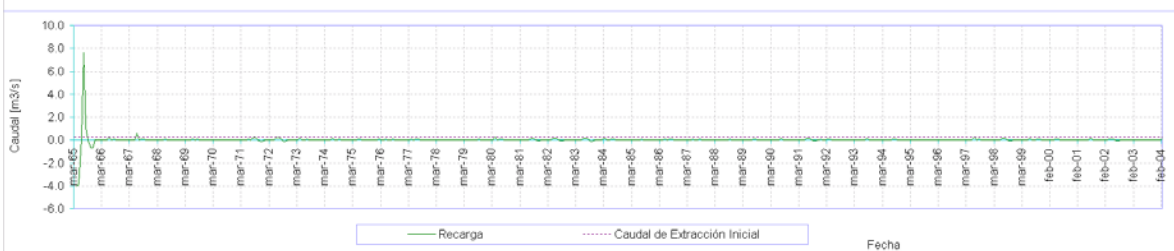
Recarga efectiva, Sector 3: Quebrada Choros Alto



Recarga efectiva, Sector 2: Los Choros Bajos

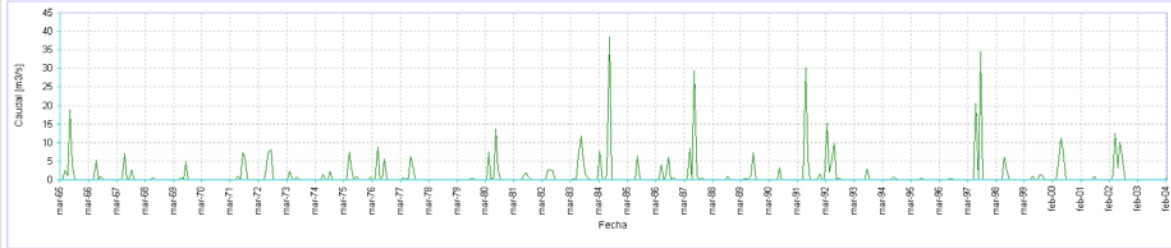


Recarga efectiva, Sector 1: Playa Choros

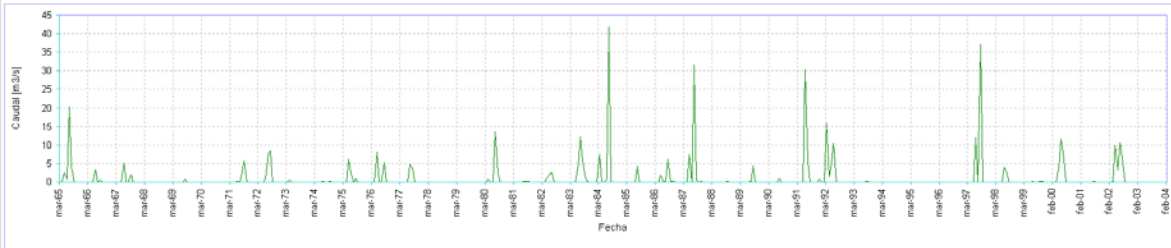


Variación de Escorrentía Total Entrante al Sector Escenario 2: Derechos Otorgados y Solicitados a dic 2003

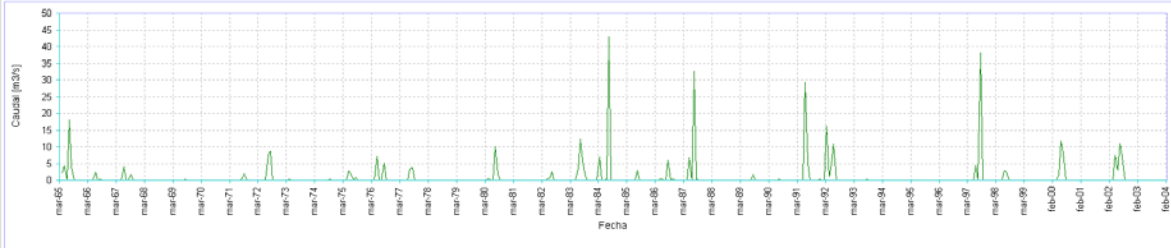
Escorrentía total entrante a Sector 5: Tres Cruces



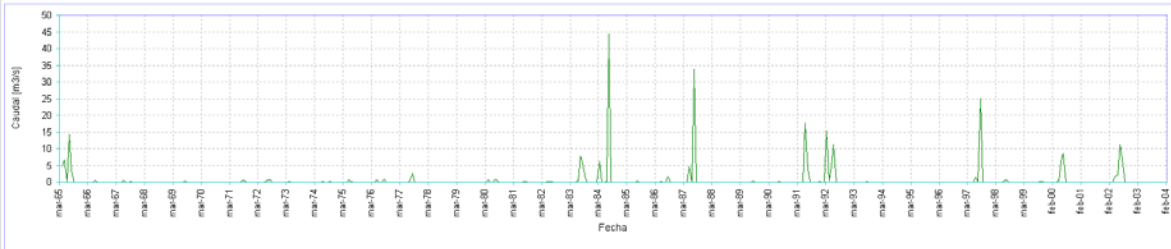
Escorrentía total entrante a Sector 4: Punta Colorada



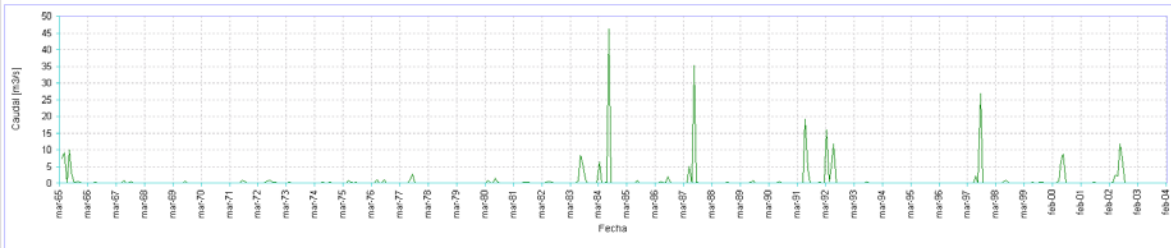
Escorrentía total entrante a Sector 3: Quebrada Choros Alto



Escorrentía total entrante a Sector 2: Los Choros Bajos

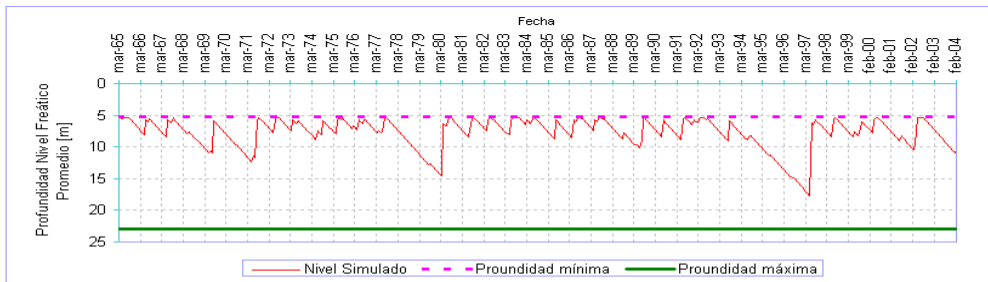


Escorrentía total entrante a Sector 1: Playa Choros



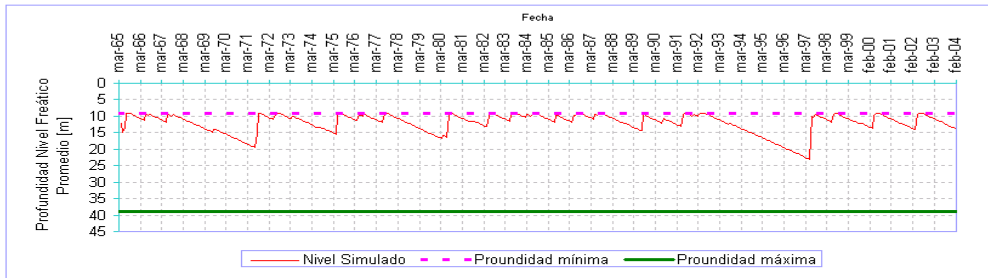
Variación de los Niveles Freáticos Escenario 2: Derechos Otorgados y Solicitados a dic 2003

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



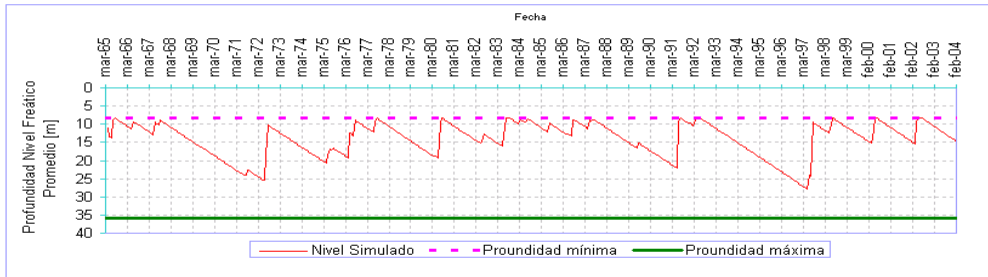
Q
(m3/s)
0.933

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



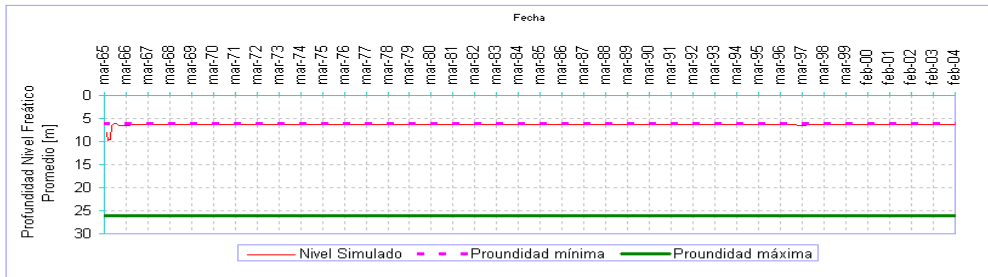
Q
(m3/s)
0.451

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



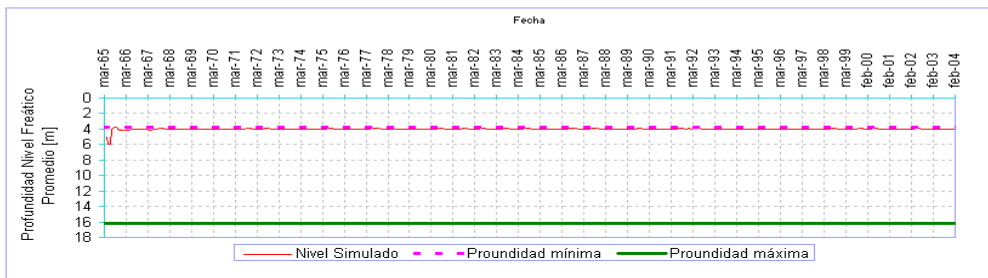
Q
(m3/s)
1.160

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos



Q
(m3/s)
0.007

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros



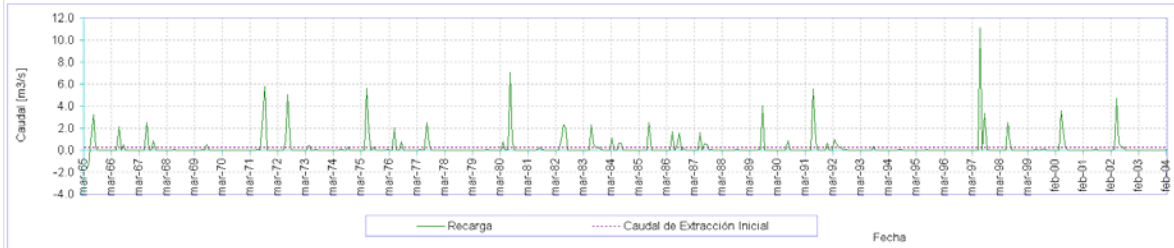
Q
(m3/s)
0.000

Variación de Recarga Efectiva Escenario 3: Escenario SUSTENTABLE

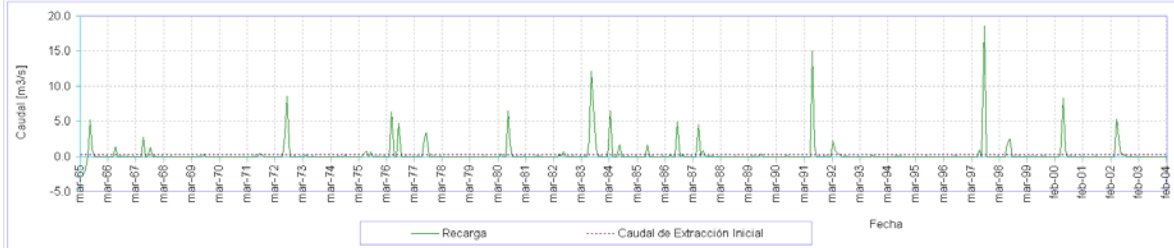
Recarga efectiva, Sector 5: Tres Cruces



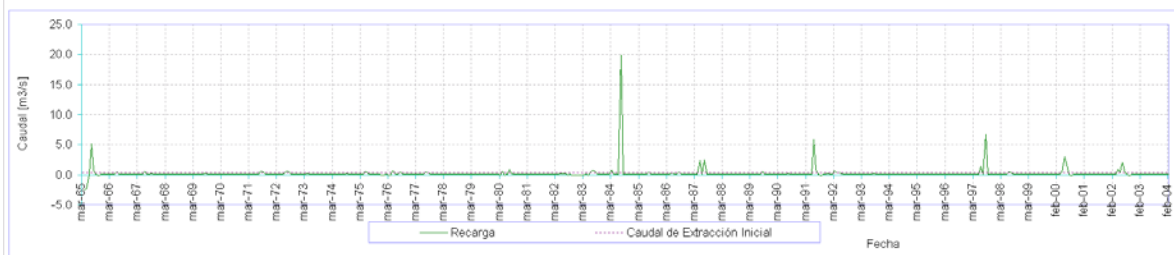
Recarga efectiva, Sector 4: Punta Colorada



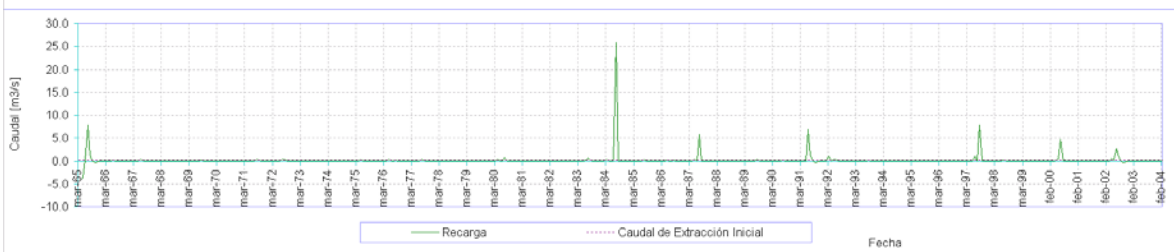
Recarga efectiva, Sector 3: Quebrada Choros Alto



Recarga efectiva, Sector 2: Los Choros Bajos

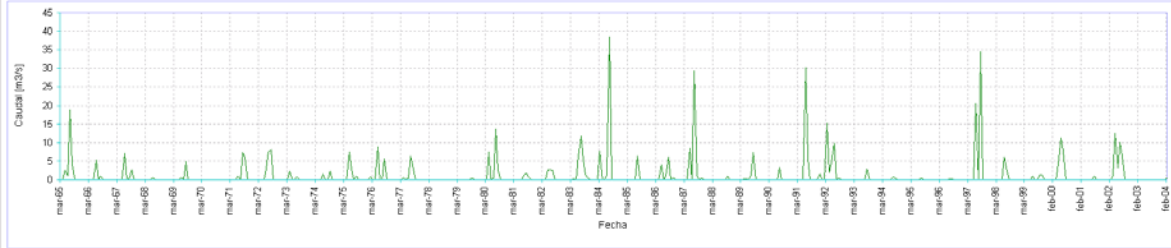


Recarga efectiva, Sector 1: Playa Choros

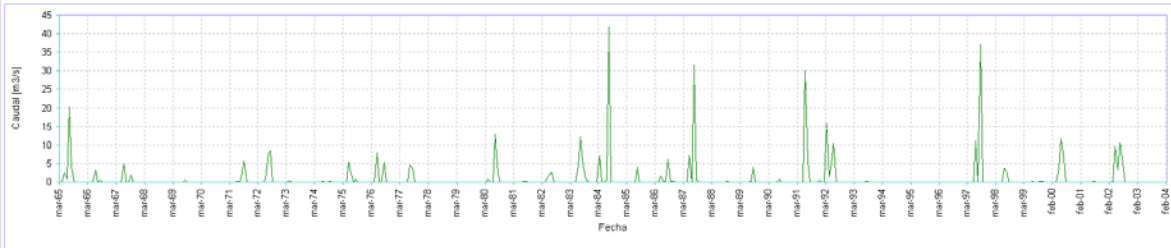


Variación de Escorrentía Total Entrante al Sector Escenario 3: Escenario SUSTENTABLE

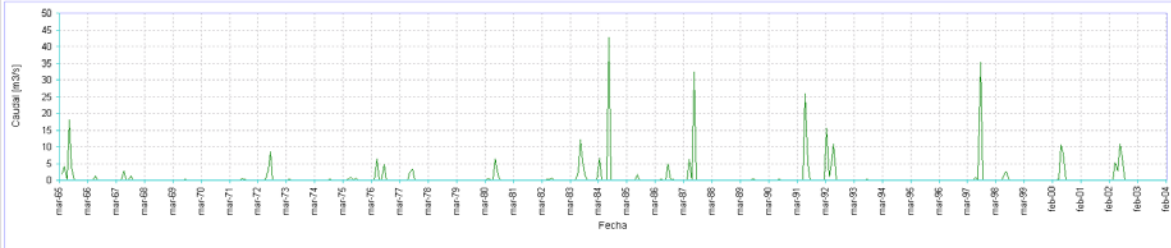
Escorrentía total entrante a Sector 5: Tres Cruces



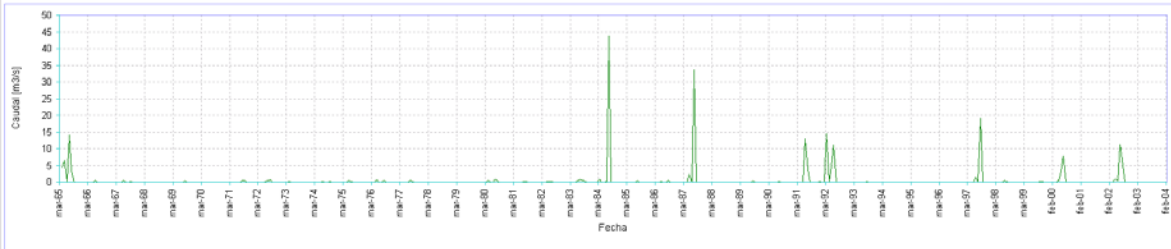
Escorrentía total entrante a Sector 4: Punta Colorada



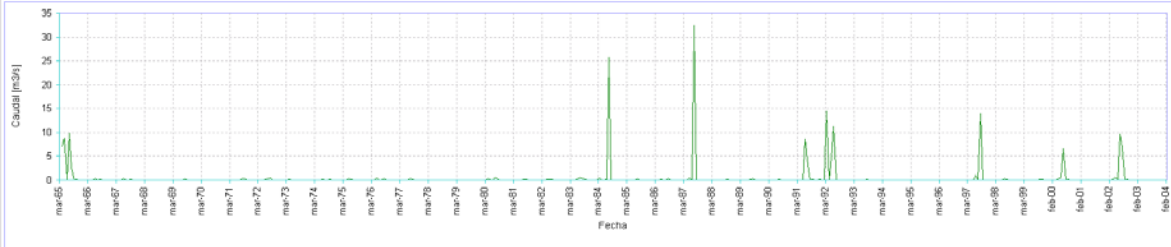
Escorrentía total entrante a Sector 3: Quebrada Choros Alto



Escorrentía total entrante a Sector 2: Los Choros Bajos

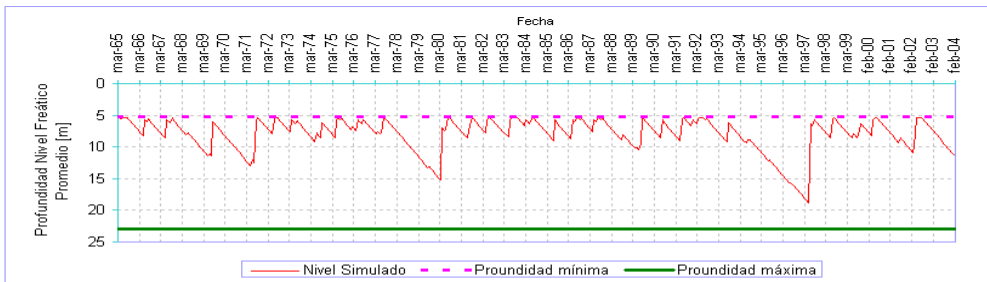


Escorrentía total entrante a Sector 1: Playa Choros



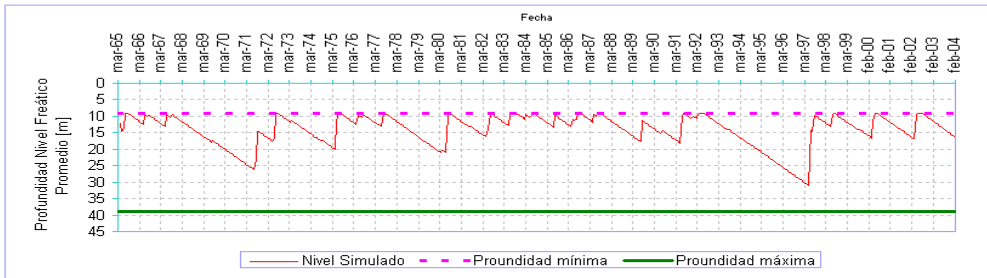
Variación de los Niveles Freáticos Escenario 3: Escenario SUSTENTABLE

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 5: Tres Cruces



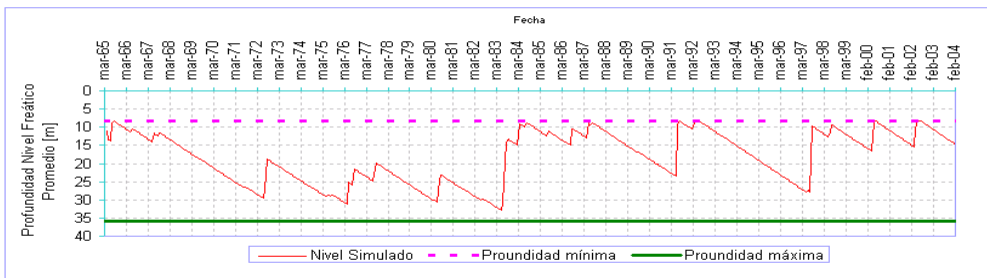
Q
(m³/s)
1.000

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 4: Punta Colorada



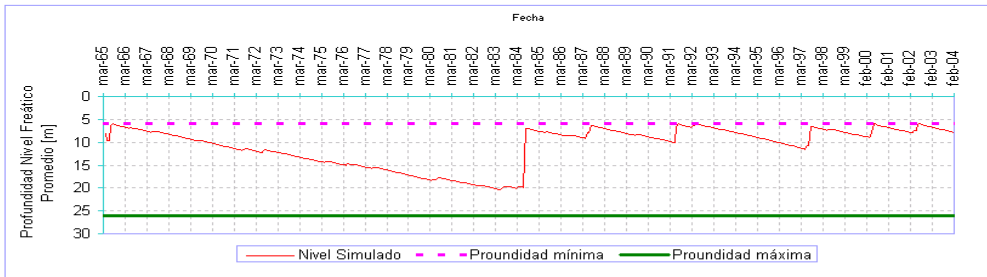
Q
(m³/s)
0.700

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 3: Quebrada Choros Alto



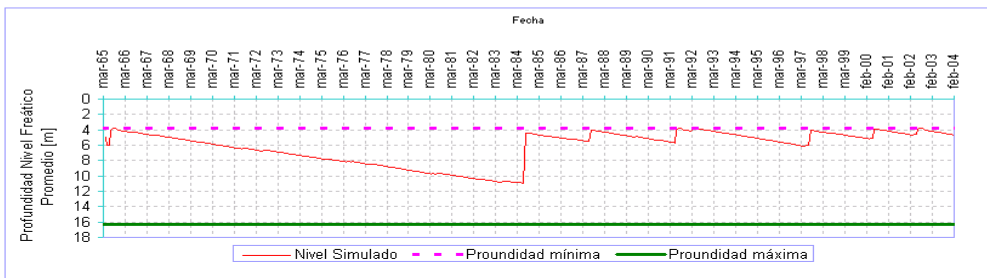
Q
(m³/s)
1.160

Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 2: Los Choros Bajos



Q
(m³/s)
0.200

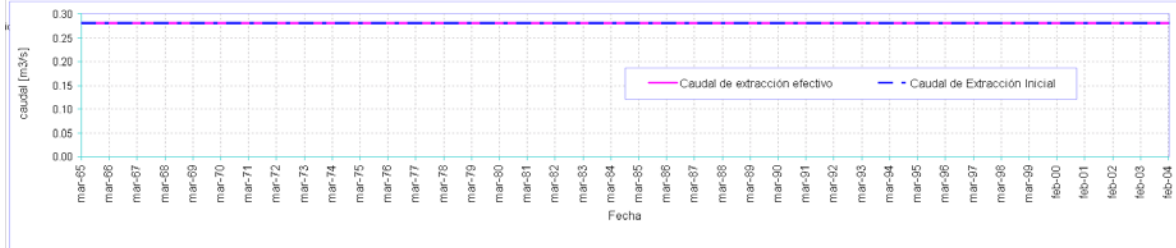
Variación de la profundidad del nivel piezométrico medio, Sector 1: Playa Choros



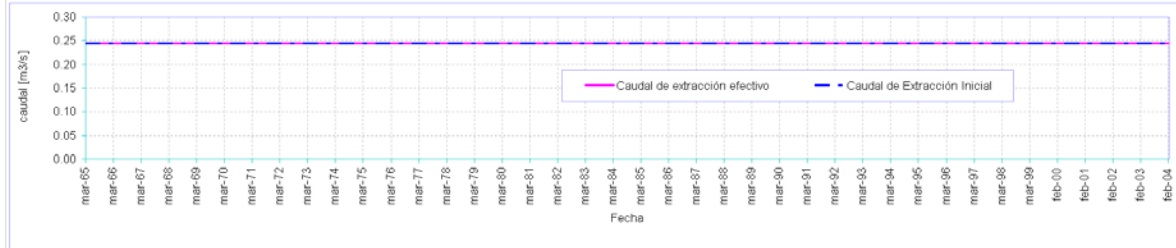
Q
(m³/s)
0.500

Variación de los caudales de bombeo Escenario 3: Escenario SUSTENTABLE

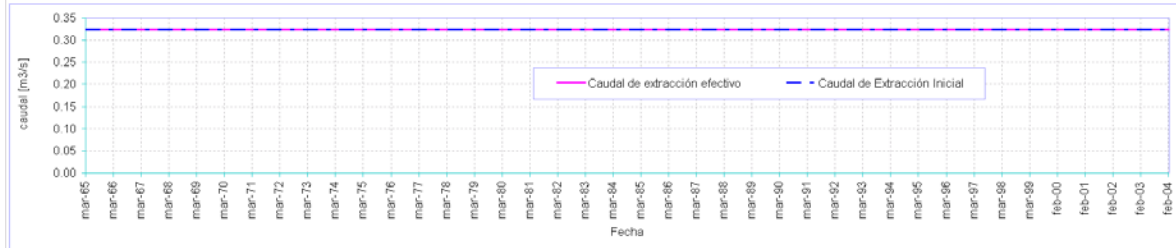
Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 5: Tres Cruces



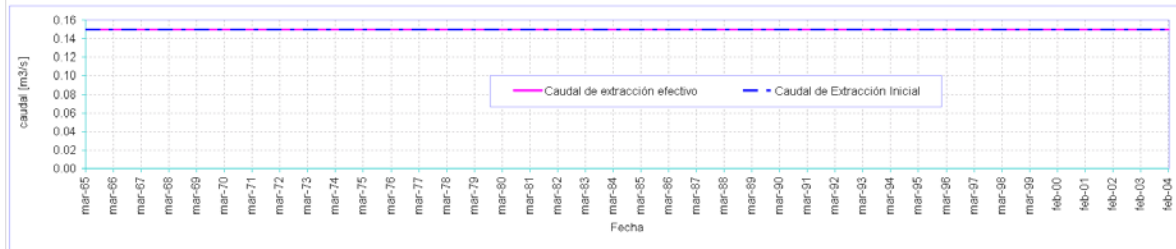
Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 4: Punta Colorada



Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 3: Quebrada Choros Alto



Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 2: Los Choros Bajos



Caudales de extracción inicial y efectivo Sector 1: Playa Choros

