



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN EL SECTOR ACUÍFERO DE LA CONCORDIA

*DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación*

INFORME TÉCNICO

**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
DE RECURSOS HÍDRICOS**

S.D.T. N° 314

Santiago, Mayo 2011.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. REFERENCIAS	3
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
3.1 Rasgos generales	4
3.2 Geología e hidrogeología	5
3.3 Intrusión marina	11
4. OFERTA Y DEMANDA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	16

ANEXO 1 Listado de demanda aguas subterráneas.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por objetivo realizar una evaluación de los recursos hídricos subterráneos del sector de La Concordia, ubicada en la Región de Arica y Parinacota, Provincia de Arica, en la zona comprendida al norte de la cuenca del río Lluta y el límite con la República del Perú, con el propósito de establecer la disponibilidad en volumen total anual sustentable factible de otorgar como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. La zona de estudio se muestra en la figura 1.1.

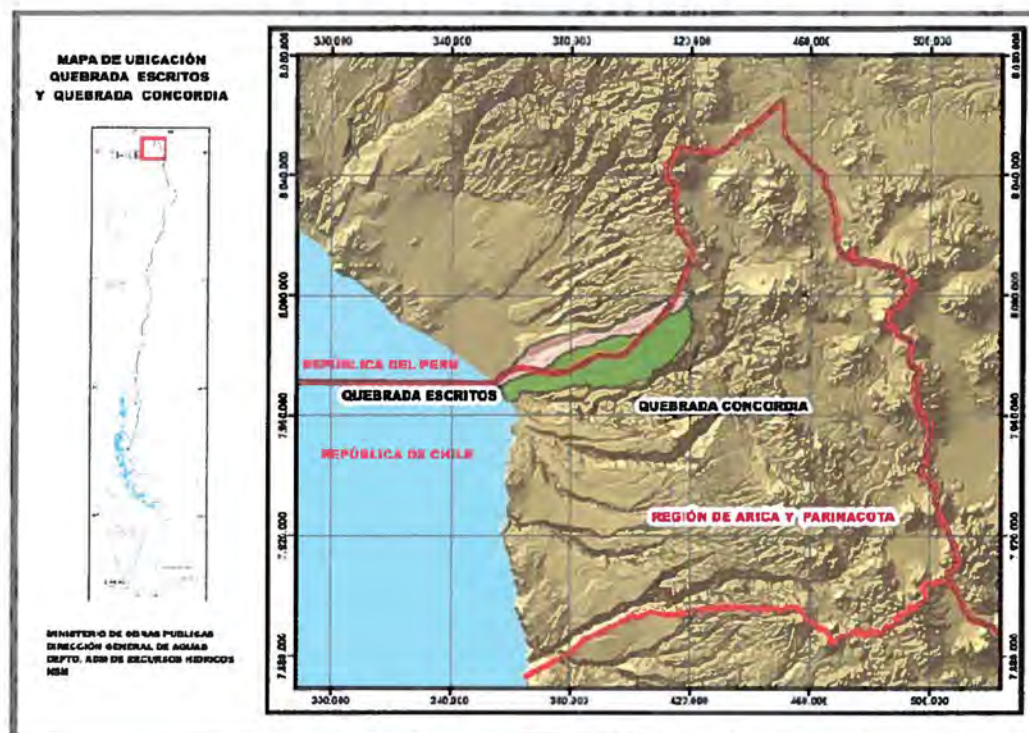


Figura 1.1. Zona de Estudio.

2. REFERENCIAS

Para la confección de este informe se utilizaron los siguientes antecedentes:

- 1) Disponibilidades actuales, fuentes de agua y su aprovechamiento en el Departamento de Arica, Dirección de Riego, 1969.
- 2) Hoyas hidrográficas de Chile: Primera Región de Tarapacá, DGA, 1980.
- 3) Estudio de factibilidad de nuevas fuentes para el agua potable de Arica, SENDOS, 1986.
- 4) Plan de aprovechamiento de los recursos hídricos en la Provincia de Arica, CORFO, 1995.
- 5) Potencial hídrico de la Quebrada Escritos, Universidad de Tarapacá, Mario Vargas B., 2005.
- 6) Minuta Técnica N°1, DGA, 2006.
- 7) SDT N° 313, Análisis de los recursos subterráneos del acuífero de La Concordia, DGA, 2011.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

3.1 Rasgos generales

El área de estudio se encuentra ubicada en la planicie costera desarrollada inmediatamente al norte del Morro de Arica y que continúa en la Pampa Occidental, caracterizada por terrenos amasados que cubren desde el límite oriental de la zona anterior hasta aproximadamente la curva topográfica de los 2000 metros, donde comienza la Sierra de Huaylillas, materializada por un relieve relativamente abrupto y extendido entre las curvas topográficas 2000 y 4000 m.s.n.m. Se caracteriza por un aumento notorio de pendiente en su unión con la Pampa Occidental y los valles muestran a menudo fuerte profundización y se aprecian como verdaderos cañones o angosturas.

Con respecto al clima a que se encuentra sometida, este califica (Koeppen) como:

- Desierto Costero con nubosidad abundante (BWn), comprende una franja que va desde el litoral hacia el interior hasta aproximadamente los 850 m.s.n.m. Las precipitaciones son prácticamente inexistentes y la temperatura media anual se ubica entre los 17 y 19° C.
- Desierto Normal (BW), comprende el sector ubicado desde aproximadamente los 800 a los 2.800 m.s.n.m. Los montos anuales de precipitación quedan comprendidos entre 1 y 10 mm. En cuanto a la temperatura, se caracteriza por un descenso gradual acorde con el aumento altitudinal y varía entre los 10 y 18° C.
- Desierto Marginal de Altura (BWH), cubre la faja de terreno comprendida entre aproximadamente los 2.800 y los 4.000 metros de altura, las precipitaciones toman valores anuales entre los 50 y 200 mm concentrados en los meses de diciembre a marzo y las temperaturas se asocian en forma inversa con la altura quedando comprendida entre 0 y 10° C.

En términos hidrográficos, en esta zona existen dos quebradas, (que no presentan escurrimiento superficial) de Escritos y de La Concordia (figura 3.1). La Quebrada de Escritos tiene sus cabeceras y desembocadura en territorio chileno sin embargo la mayor parte de su hoya se desarrolla en territorio peruano; de sus 408 km² de superficie, 85 km² corresponden a Chile. Limita al norte con las hoyas del río Caplina y de la Quebrada Hospicio, ambas peruanas; al oriente con la cuenca alta del río Lluta y al sur con la Quebrada de La Concordia. Nace en la parte occidental de la Sierra de la Huaylillas, en la falda occidental del Cerro Lampallares (4.258 metros), y desarrolla su curso en dirección al suroeste por 71 km hasta vaciarse en el Océano Pacífico inmediatamente al sur de la línea de frontera internacional, a 9 km de Chacalluta. La Quebrada Escritos tiene por principal afluente la Quebrada Olivar que se origina también en la Sierra de las Huaylillas y corre paralelamente al curso principal por 22 km hasta vaciarse en el sector medio.

La Quebrada de La Concordia tiene una extensión de 772 km² y limita al norte con la Quebrada de Escritos; por los límites sur y oriente, con la hoya del río Lluta, quedando su punto de desembocadura inmediatamente al norte de la desembocadura de dicho río. Su cabecera se encuentra en la parte occidental de la Sierra de las Huaylillas, entre los Cerros Lampallares (4250 metros) y Altos de Puquios (3750 metros). Por el norte recibe un afluente que también nace en Chile a los pies del Cerro Intermedio (3594 metros) y desarrolla su cauce en territorio peruano paralelo al de La Concordia. Su longitud es de 48 km y se junta a la quebrada principal en el curso inferior a 15 km del mar, esto implica que de los 772 km² totales de superficie que posee, a Chile le corresponden aproximadamente 631 km². Por la ribera sur o izquierda llega el afluente principal, la Quebrada de Gallinazos, cuyas nacientes se encuentran cerca de Puquios en Pampa

Colorada. Desarrolla su curso casi paralelo al principal en una extensión de aproximadamente 46 km, hasta su junta a 22 km del mar. La Quebrada Gallinazos tiene a lo menos dos quebradas tributarias por su ribera norte y otras dos por su ribera sur, de estas últimas la Quebrada Honda es la de mayor significación, nace también en los alrededores de Puquios y desarrolla su curso paralelo a la quebrada que tributa con longitud de 45 km. Todos los afluentes y subafluentes son normalmente secos.

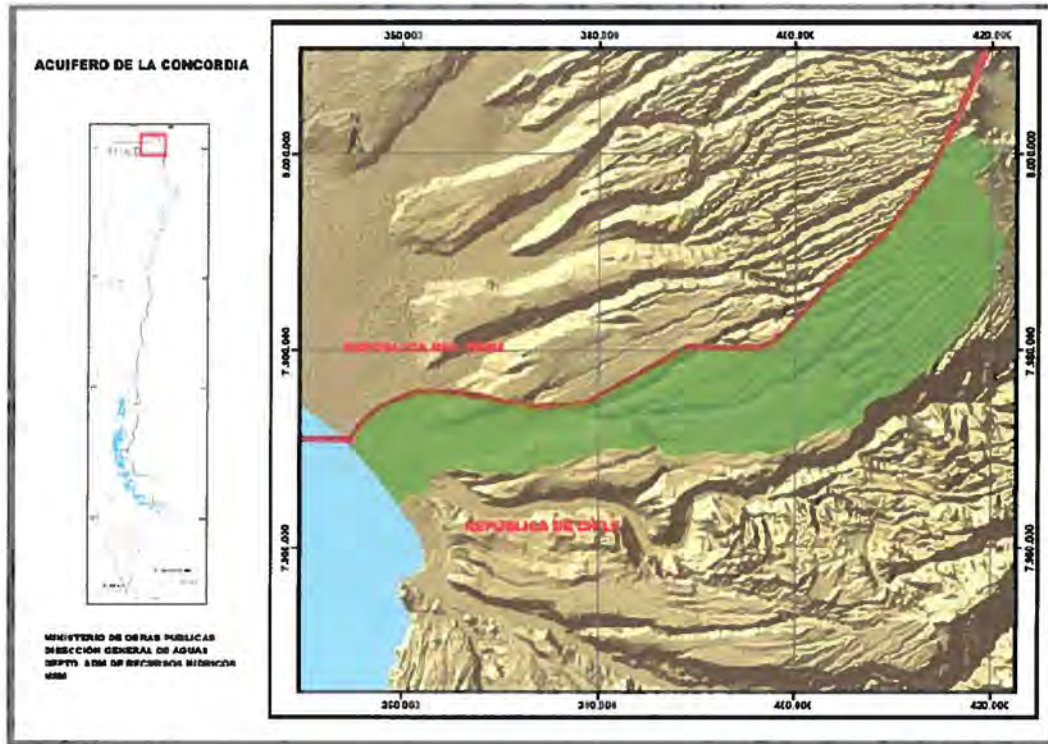


Figura 3.1. Delimitación sector acuífero de La Concordia.

3.2 Geología e hidrogeología.

La zona de la Concordia está situada en una fosa tectónica producida por un sistema de fallas que han originado una tectónica de bloques con rumbo entre N°17W y N°32W y buzamiento hacia el norte. Además, otro sistema de fallas ha afectado la región produciendo un descenso del lado norte, que ha provocado el desaparecimiento de la Cordillera de la Costa (al norte del Morro de Arica). Las rocas que dominan estas hoyas corresponden al tipo volcánicas del Mioceno-Plioceno de carácter riolítico que forman parte de la llamada localmente Formación Oxaya. Respecto al relleno del valle, este corresponde a sedimentos marinos, principalmente conglomerados, areniscas y limolitas pardo oscuras con intercalaciones de conchas que engranan hacia la desembocadura con gravas, arenas, limos y ceniza volcánica.

Los sedimentos atravesados por perforaciones corresponden a materiales riolíticos que provienen de la erosión de los materiales retrabajados de la Formación Oxaya encontrándose agua saturando estos materiales. El espesor total de estos materiales que rellenan esta fosa se desconoce, siendo la profundidad máxima sondeada 430 metros. No se reconocen acuíferos confinados.

La sección de aguas subterráneas de CORFO, inició en el año 1959 el estudio de las posibilidades de agua subterránea en la región de La Concordia realizando 17 perforaciones; actualmente en la zona existen un total de 18, estando la mayoría sin uso. En la tabla 3.1 se especifican algunas de sus características y en la figura 3.2 se muestra su ubicación.

Tabla 3.1. Catastro de Sondajes.

Nº	Codigo	COORD UTM(1)		Propietario	Constructor	COTA	PROF (m)		N.E.(m)	Term. Const.
		NORTE	ESTE				PERF	HABIL		
1	1810-7020 D1	7973367	358490	Dir. Aeron.	CORFO 377	53,9	155,5	144,6	45,90	Ene-61
2	1810-7020 D2	7973375	358505	CORFO	CORFO 436	53	128,7	124,6	45,70	Dic-62
3	1810-7020 D3	7973052	356878	CORFO	CORFO 502	38	143,0	129,7	32,10	Dic-66
4	1810-7020 D4	7972036	356283	CORFO	CORFO 503	29	300,4	280,1	23,6	Dic-65
5	1810-7020 D5	7972931	357704							
6	1810-7020 D6	7972399	356805	CORFO						
7	1810-7020 D7	7975013	361340	CORFO	CORFO 450	96	115,0	115,0	83,6	
8	1810-7020 D8	7973597	360354	ZOFRI 2	CAPTAGUA		100,0	100,0		Feb-94
9	1810-7020 B1	7970860	355616	CORFO	CORFO 303	16	200,0	126,0	13,0	Sep-59
10	1810-7020 B2	7971387	355293	CORFO	CORFO 344	17,5	140,0	132,7	14,9	Ene-60
11	1810-7020 B3	7971125	355700	CORFO	CORFO 352	18	136,0	125,5	14,5	May-60
12	1810-7020 B4	7971355	355282	CORFO	CORFO 435	16,5	150,0	132,4	14,0	Dic-62
13	1810-7020 B5	7970489	359005	Dir. Aeron.	CORFO 336	48	59,0	55,3	42,50	Dic-59
14	1810-7020 B6	7970050	356500	CORFO	CORFO 466	20,5	144,0	139,5	16,60	Oct-63
15	1810-7020 B7	7971900	368150	CORFO	CORFO 467	39	432,0	NO HAB.	34,80	
16	1810-7020 B8	7969281	362318				100,0			
17	1810-7020 B9	7970555	358899	Dir. Aeron.	CELZAC 465	48	81,0	60	40,9	Oct-63
18	1810-7020 B10	7970050	360175	ZOFRI 1	HIDROSAN		100,0	100		Jul-92

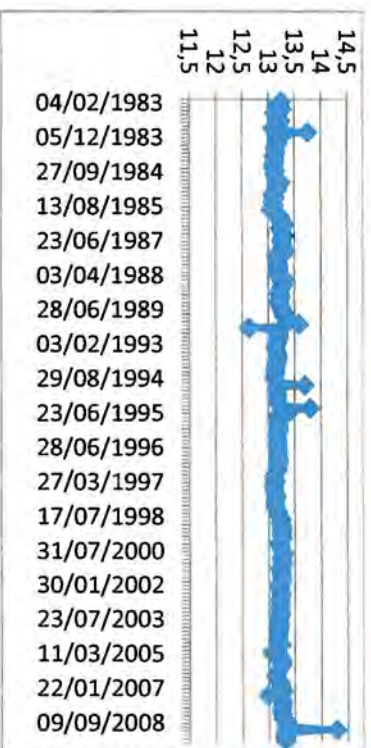


Figura 3.3. Niveles (en metros) registrados Pozo B1.

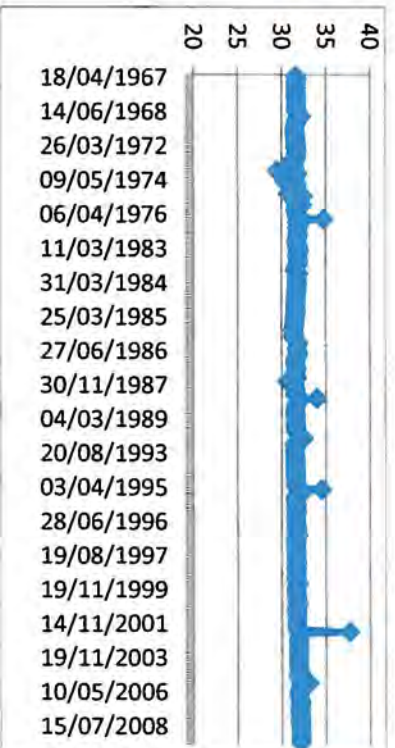


Figura 3.4. Niveles (en metros) registrados Pozo D3.

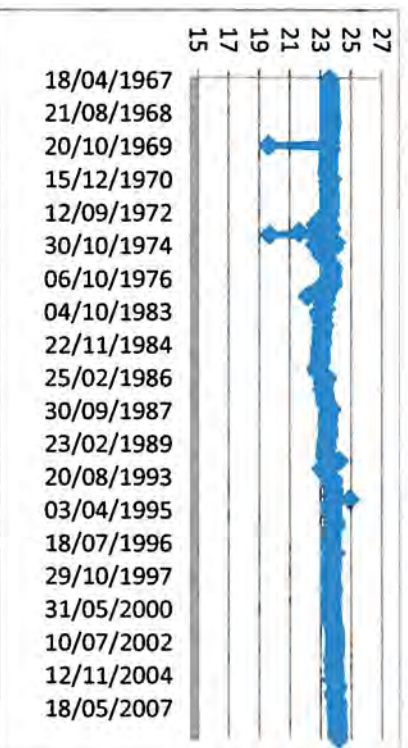


Figura 3.5. Niveles (en metros) registrados Pozo D4.

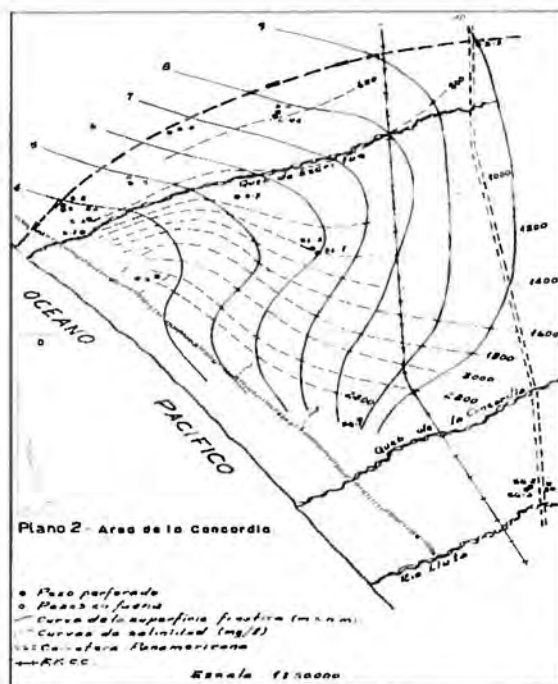


Figura 3.6. Curvas isofreáticas estimadas 1966.

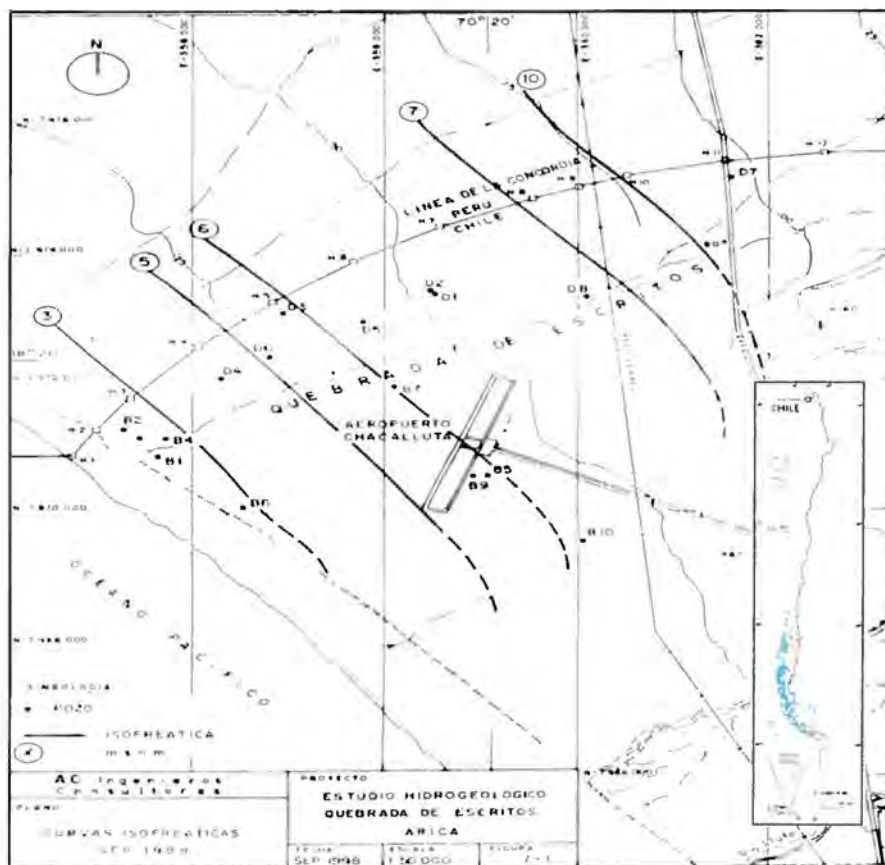


Figura 3.7. Curvas isofreáticas estimadas 1998.

Tabla 3.2. Niveles estáticos en sondajes 1998.

Pozo	Prof. Nivel(m)	Cota Nivel (m.s.n.m)
1810-7020 D2	46,36	6,64
1810-7020 D3	32,07	5,93
1810-7020 D5	37,53	6,47
1810-7020 D6	29,05	4,45
1810-7020 D7	83,07	12,93
1810-7020 D8	60,77	6,63
1810-7020 B1	13,53	2,47
1810-7020 B2	14,92	2,58
1810-7020 B3	15,00	3,00
1810-7020 B4	14,20	2,30
1810-7020 B5	42,06	5,94

De acuerdo con las curvas de la superficie freática, a la zona de La Concordia concurren dos corrientes de agua subterránea; una proveniente de la cuenca del río Caplina por el noreste bajo un gradiente hidráulico de aproximadamente 1.1 por mil y otra de la cuenca del río Lluta por el sureste escurriendo bajo un gradiente hidráulico entre 2 a 8 por mil. La calidad de las aguas avalan estas fuentes de recarga ya que según análisis químicos de muestras obtenidas entre 1959 y 1996 indican que las aguas de los pozos situados al norte, prácticamente sobre la línea de La Concordia, proporcionan agua de buena calidad y los situados más al sur asemejan en su calidad a las del río Lluta caracterizadas por su alto contenido salino.

En la tabla 3.3 se presentan los valores de transmisibilidades determinadas por el estudio de 1998 donde se observan valores más bien bajos del orden de los 100 a 400 m²/día, excepto un valor puntual de 1.500 m²/día en el sondaje B2.

Tabla 3.3. Transmisibilidades zona de La Concordia.

Sondaje	T (m ² /día)
B1	240
B2	1.570
B3	420
D1	330
D3	100
D4	500
B5	220
B9	90
D8	110

A partir de los antecedentes anteriores, se estimó el flujo subterráneo pasante en una sección de la zona de estudio. Considerando una transmisibilidad promedio de 400 m²/día, un gradiente hidráulico para toda la zona de 2,4 por mil (Referencia 5 y estudio de AC Ingenieros) y un ancho de sección de 9.000 metros, el flujo subterráneo resulta:

$$\text{Flujo subterráneo} = T * i * L = 400 * 0,0024 * 9000$$

$$\text{Flujo subterráneo} = 100 \text{ l/s}$$

3.3 Intrusión marina.

El agua subterránea en la región tiene un gradiente hacia el mar, lo que indica que la descarga es en el océano y por su condición costera la respuesta del acuífero a la explotación de aguas subterráneas está influenciada por el equilibrio entre la interfase entre el agua dulce y la cuña salina.

Como antecedente, se tiene que en octubre de 1960 la CORFO efectuó una prueba de rendimiento de acuífero en el denominado Pozo B2 Concordia, en la cual se bombeó un caudal constante de 150 l/s durante 5 días observándose en el agua extraída una variación del contenido salino desde 696 hasta 835 mg/l; este último valor se mantuvo hasta el final de la prueba. En otra prueba realizada en octubre de 1963 se obtuvo después de 215 horas de bombeo un contenido salino de 1.020 mg/l. Ambas pruebas demostraron un aumento del contenido salino en la medida del avance del cono de depresión del pozo bombeado, esto indica que ante una eventual sobreexplotación de los pozos de la zona, la intrusión marina sería inminente.

En el SDT N° 313, se analiza el comportamiento del acuífero relacionado con el equilibrio agua dulce - agua salada en el borde costero, para ello, se elabora un modelo hidrogeológico (figura 3.8) con las siguientes características y consideraciones:

- Acuífero de baja conductividad hidráulica y bajo almacenamiento.
- Estimación de flujo pasante en torno a 100 l/s entre la frontera con Perú y el límite sur del modelo.
- Piezometría que determina la existencia de flujos en el sentido este - oeste.
- Espesor constante de 400 metros en conformidad con la ubicación del basamento impermeable encontrado en el sector sur del dominio.
- Condición de borde de altura constante igual a cero para representar las condiciones de flujo en el costado oeste del modelo.

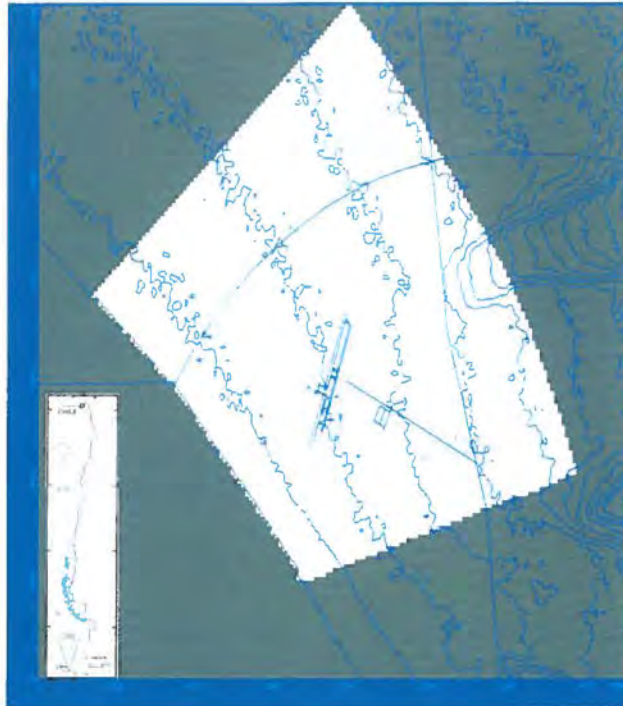


Figura 3.8. Dominio del modelo hidrogeológico.

Una vez calibrado el modelo, se corrió incorporando una condición de explotación con un 100% de la demanda (ver Capítulo 4). La figura 3.9 muestra la piezometría resultante bajo este escenario.

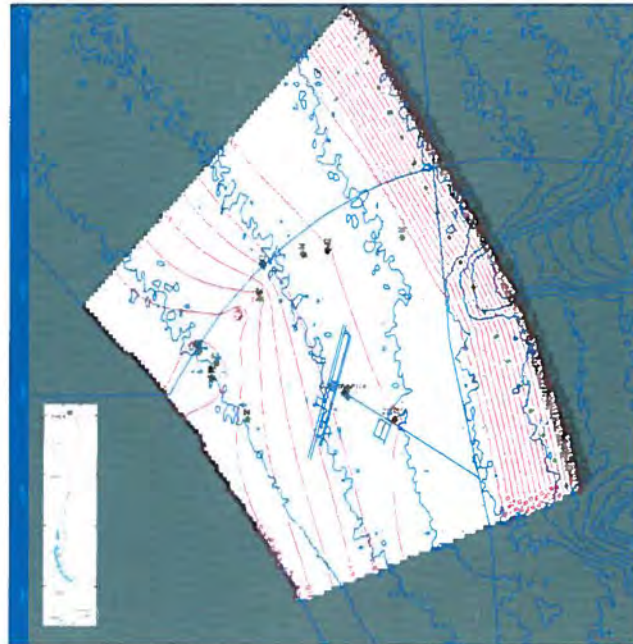


Figura 3.9. Piezometría explotación del 100% de la demanda.

Además, sobre la base de los resultados obtenidos de la modelación hidrogeológica, se evaluó la posición local de la cuña salina a partir de la relación:

$$z = 40h_d$$

Donde:

z = profundidad de la cuña salina bajo el nivel del mar.

h_d = columna de agua sobre el nivel del mar.

Esta relación es una aproximación que describe la posición de la interfase agua dulce - agua salada si el movimiento del agua es pequeño y prácticamente horizontal, deducida a partir del equilibrio hidrostático.

Los resultados de este análisis (figura 3.10) muestran que la condición de intrusión salina ya aparece en el escenario sin explotación considerando la profundidad de los pozos ubicados en la zona baja del acuífero.

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

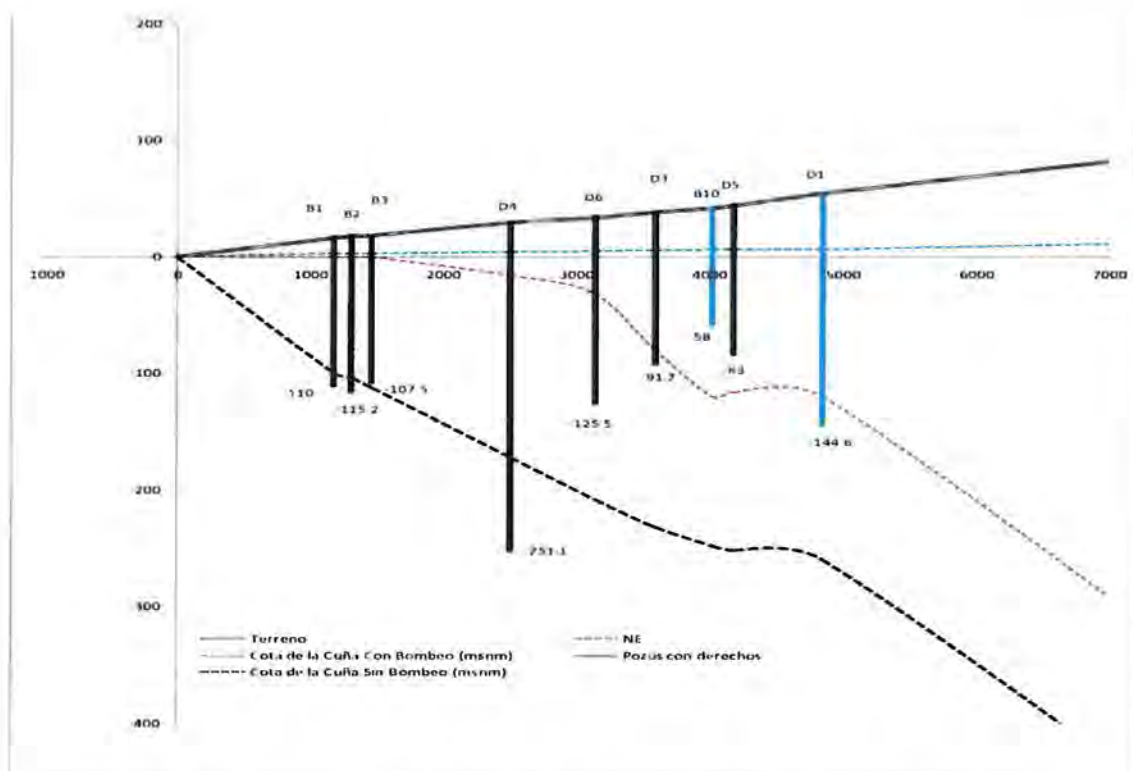


Figura 3.10. Representación de la relación $z = 40h_d$ en condición estacionaria sin explotación y bajo explotación del 100% de la demanda de agua.

En resumen, como conclusión del estudio indicado, se puede señalar que la modelación hidrogeológica representa razonablemente la piezometría y flujo pasante para las condiciones actuales, lo que se corrobora al comparar las isolíneas de nivel de aguas subterráneas de estudios anteriores, y que con la demanda total solicitada más la ya otorgada (105 l/s), se generan descensos significativos en relación a la situación actual, los cuales aunque no son de gran magnitud, tienen incidencia en el equilibrio entre agua dulce y salada provocando un riesgo de contaminación del acuífero por el desplazamiento de la cuña salina.

4. OFERTA Y DEMANDA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

La gran mayoría de los sondajes existentes en el área de estudio se encuentran sin uso y sin derechos de aprovechamiento constituidos, lo que en algunos casos se debe a que las aguas alumbradas presentaron un alto contenido salino y en otros casos a que los pozos fueron de carácter exploratorio.

Dadas a las condiciones particulares de este sector acuífero en que no es posible establecer la recarga total como disponibilidad de recursos hídricos subterráneos debido al desconocimiento de las extracciones en la zona peruana, y al riesgo que implica explotar la totalidad de la demanda, se determinó que el caudal sustentable para otorgar como derechos de aprovechamiento, corresponden al flujo pasante de 100 l/s (3.153.600 m³/año) que atraviesa el sector acuífero.

A la fecha, en el área existen derechos constituidos sobre dos pozos por 8 y 15 l/s (252.288 y 473.040 m³/año) a favor de la Dirección de Aeronáutica y ZOFRISA respectivamente. Como pendientes de resolver se encuentran los expedientes ND-0101-497 y ND-0101-644 ambos pertenecientes al Fisco-Ejército de Chile por un total de 82.1 l/s (2.589.105,6 m³/año).

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

La zona de estudio se denomina La Concordia y se ubica en la Región de Arica y Parinacota y en ella existen dos quebradas llamadas de Escritos y de La Concordia. Ambas tienen sus nacientes y desembocaduras en territorio chileno, sin embargo parte importante de sus áreas se desarrollan en Perú (aproximadamente un 80% en el caso de Escritos y un 20% para La Concordia). Es una zona de gran aridez, donde las precipitaciones que van de 50 a 200 mm por año ocurren sobre los 3000 m.s.n.m. y la única escorrentía que se genera es de tipo subterránea.

Las rocas predominantes son de tipo volcánicas correspondientes a la Formación Oxaya que junto a sedimentos marinos (más hacia la costa) conforman el relleno de la cuenca. Respecto a las formaciones acuíferas existentes, el espesor de los rellenos se ha estimado en alrededor de 400 metros, los que se componen principalmente de arenas de distinto tamaño, especialmente fina a media con intercalaciones de estratos de diferente tipo. Las transmisibilidades de los estratos acuíferos varían en el rango de 100 a 500 m²/día.

El flujo subterráneo que atraviesa la zona fue estimado en 100 l/s (3.153.600 m³/año) y representa la disponibilidad factible de otorgar como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para este sector acuífero.

Actualmente se encuentran constituidos derechos de agua subterránea por 23 l/s (725.328 m³/año) y se encuentran pendientes de resolver solicitudes por un total de 82.1 l/s (2.589.105,6 m³/año).

Al tratarse de un acuífero costero y con los antecedentes que se tienen respecto a la intrusión del agua de mar ante una extracción intensiva y sin precauciones, los nuevos derechos de agua subterránea que se constituyan deben estar asociados a un Plan de Alerta Temprana (PAT) que monitoree la calidad del agua y niveles de los pozos que se exploten para así determinar el avance de la contaminación por agua salada y establecer medidas oportunas que impidan o mitiguen este hecho.



ANEXO 1
Listado de la demanda del sector.

La Concordia													
N°	Expediente	Fecha Ingreso	Peticionario	Caudal Solicitado (Lts/s)	Volumen Total Anual Solicitado (m³/año)	Caudal Otorgado (Lts/s)	Volumen Total Anual Otorgado (m³/año)	Uso	Coord. Captación		Sit. Actual	N° Res.	Fecha Resolución
									UTM Norte 56	UTM Este 56			
1	ND-0101-144	25-08-1993	ZONA FRANCA DE IQUIQUE S A	20.00	630720	15.00	473040	I	7970050	360175	A	864	05-12-1997
2	NR-0101-141	24-06-1993	DIRECCION DE AERONAUTICA CIVIL	8.00	252288	8.00	252288	R	7974300	359850	A		
3	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	22.00	693792			R	7971151	355765	P.DARH		
4	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	9.00	283824			R	7971724	355423	P.DARH		
5	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	3.10	97762			R	7971437	355823	P.DARH		
6	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	6.00	189216			R	7973366	357045	P.DARH		
7	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	18.00	567648			R	7972388	356438	P.DARH		
8	ND-0101-497	14-02-2002	FISCO - EJERCITO DE CHILE	22.00	693792			R	7972720	356980	P.DARH		
9	ND-0101-644	02-12-2004	FISCO - EJERCITO DE CHILE	2.00	63072			R	7973272	357865	P.DARH		