

HIDROSAN CHILE

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO QUEBRADA DE  
ESCRITOS

SEPTIEMBRE 1998

AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA.  
INGENIEROS CONSULTORES

MARÍA LUISA SANTANDER 0410, PROVIDENCIA - SANTIAGO - TELÉFONO  
2097179 - FAX 2097103 - email gcabrera@entelchile.net

## INDICE

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                           | 1  |
| 2. Antecedentes Recopilados .....                               | 1  |
| 3. Fisiografía .....                                            | 2  |
| 4. Geología y Geomorfología .....                               | 2  |
| 5. Catastro Actualizado de Captaciones .....                    | 5  |
| 6. Formaciones Acuíferas .....                                  | 8  |
| 7. Niveles Estáticos y Dinámica de las Aguas Subterráneas ..... | 11 |
| 8. Calidad de las Aguas Subterráneas .....                      | 14 |
| 9. Derechos de Agua y Uso de las Aguas Subterráneas .....       | 14 |
| 10. Proposición de Nuevas Fuentes .....                         | 16 |
| 11. Resumen y Conclusiones .....                                | 18 |

### Anexo

Anexo 1. Carta Tipo al Director General de Aguas para la Solicitud de Concesión de Derechos de Aprovechamiento de los Sondajes.

ETG-01. Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción de Obras de Captación.

ETG-02. Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción de Pozos Profundos.

ESTE-01. Especificaciones Técnicas Especiales Para Construcción de Pozos Profundos

## 1. Introducción

El presente estudio hidrogeológico comprende el sector chileno de la Quebrada de Escritos, ubicada en la zona costera de la I Región, en el sector fronterizo de La Concordia, al norte de Arica. El estudio está orientado a examinar el potencial acuífero de la zona, con miras a la extracción de aguas subterráneas para el abastecimiento de aguas subterráneas de la ciudad de Arica.

El trabajo realizado se basa en antecedentes recopilados, referidos a estudios previos desarrollados en la zona, así como la información disponible de los sondeos existentes. Adicionalmente, se realizó una campaña de terreno en el área, midiendo niveles estáticos en los sondeos, y examinando el estado general exterior de dichos pozos.

## 2. Antecedentes Recopilados

Para el presente estudio, se consideró las siguientes fuentes de información bibliográfica:

- Carta Geológica de Chile, Cuadrángulos Arica y Poconchile, Región de Tarapacá, escala 1:100.000, Instituto de Investigaciones Geológicas, 1980.
- Informe "Pruebas de Bombeo Pozo Quebrada de Escritos, Parque Industrial Zofri Arica", Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1996.
- Informe Final Construcción de pozo de Estudio en Quebrada Escritos. Arica, Zofri S.A., Captagua Ingeniería S.A., 1994.
- Estudio Hidrogeológico de la Zona del pozo Zofri I de Arica, Hidrosan Chile, Ingeniería y Geotecnia Ltda., 1992.
- Antecedentes de Niveles de Aguas Subterráneas Pozos Quebrada de Escritos, Dirección Regional de Aguas I Región, 1998.
- Antecedentes diversos provenientes de archivos de la Corfo.

Además de los antecedentes anteriores, se utilizó la carta Arica. Avance Topográfico, escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Militar.

### 3. Fisiografía

La Quebrada de Escritos, tiene su origen en el Perú, estando dentro del territorio de dicho país gran parte de su extensión. En efecto, mientras la parte alta y media de la cuenca ubicada dentro del Perú tiene una superficie de unos 320 km<sup>2</sup>, la parte baja ubicada dentro de Chile tiene un 20% de la superficie total, es decir unos 85 km<sup>2</sup>. Espacialmente, el relleno del sector bajo de la Quebrada de Escritos tiene continuidad hacia el sur, en que se ubica la Quebrada de Gallinazo y el sector bajo de la cuenca del río Lluta, y hacia el norte, en el Perú, en las Quebradas de Hospicio y del río Caplina. En la Fotografía 1 se muestra el sector de la quebrada en el cruce de la Ruta 5 Norte, mientras que en la fotografía 2 se muestra un sector ubicado al norte del aeropuerto de Chacalluta.

De acuerdo a la información proporcionada por la Carta Geológica de Chile, escala 1:100.000, Cuadrángulo Arica y Poconchile, toda el área ubicada al norte del Morro de Arica, dentro de la cual se ubica el sector de estudio, corresponde a la denominada Planicie Costera, que es una superficie subhorizontal que continúa hacia el norte, internándose en territorio peruano.

Desde el punto de vista climático, la zona corresponde a un área de clima desértico costero, con nublados abundantes, cuyas características relevantes son la ausencia de precipitaciones, abundantes nieblas y bajas camanchacas, alta nubosidad, alta humedad relativa del aire, y temperaturas moderadas y estables.

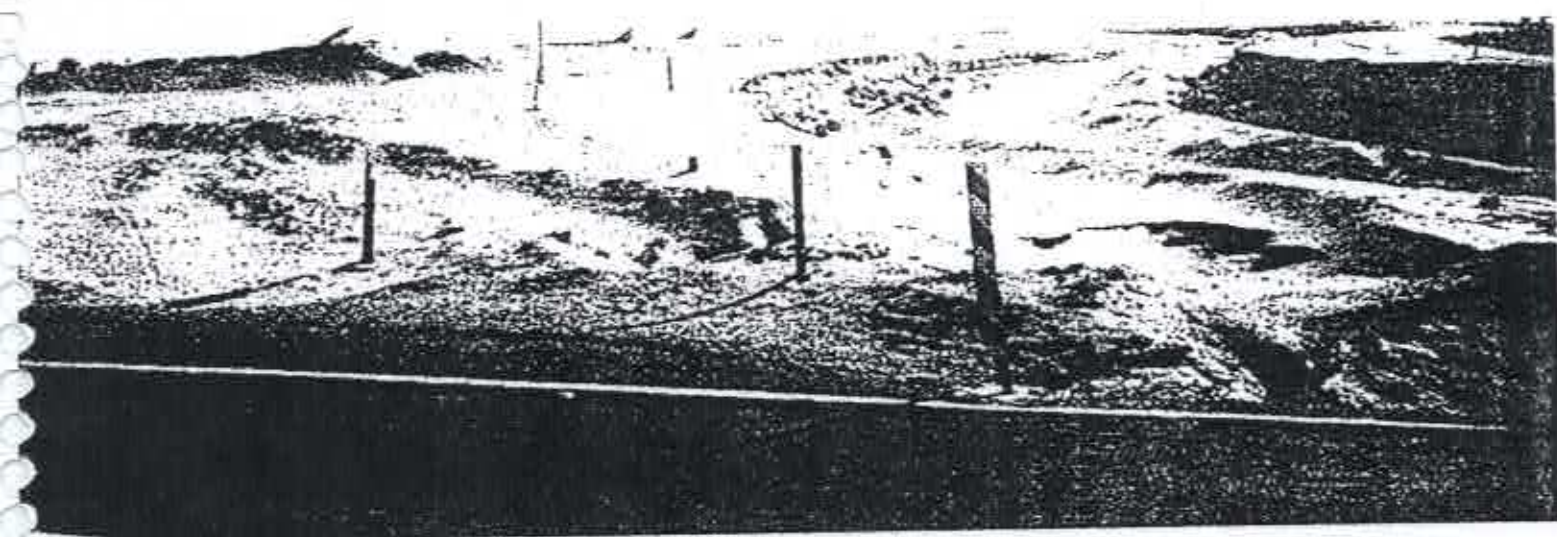
En cuanto a vegetación, en la zona de estudio no se observa vegetación de ningún tipo.

Finalmente, desde el punto de vista hidrológico, la cuenca en estudio no se encuentra en régimen natural, ya que las aguas superficiales son utilizadas en la zona alta, ubicada dentro del Perú, para el riego de diferentes sectores. En todo caso, dentro del área de estudio la quebrada no presenta flujos superficiales, registrándose durante los últimos 25 años un solo evento con flujo superficial, el que no correspondería a una crecida natural, sino al desvío de las aguas a través de la quebrada durante un período de intensas lluvias en la zona sur del Perú.

### 4. Geología y Geomorfología

En cuanto a la geología del sector, su límite sur corresponde a afloramientos de la formación Oxaya, sobre la cual se identifican sedimentos recientes, de origen eólico, formado básicamente por granos de cuarzo subredondeados.





FOTOGRAFIA 1

QUEBRADA DE ESCRITOS

Cruce Ruta 5 Norte



FOTOGRAFIA 2

QUEBRADA DE ESCRITOS

Norte Aeropuerto Chacalluta

Dicha formación Oxaya, se encuentra ampliamente extendida en la provincia de Arica, constituyendo en forma importante la actual superficie de erosión. En los sectores inferiores, los afloramientos están constituidos principalmente por tobas e ignimbritas marrón y grises, pudiendo localizarse hacia el techo y la base estratos de tobas riódacíticas blancas y rosadas.

La roca más común en esta formación baja corresponde a una ignimbrita marrón vitrocrystalina, de composición riolítica. En las cercanías del techo del miembro inferior, un nivel ignimbritico gris oscuro puede ser considerado como estrato guía, debido a su continuidad areal.

Respecto al relleno del valle, este corresponde en su totalidad a sedimentos marinos, principalmente conglomerados, areniscas y limolitas pardo oscuras con intercalaciones de conchas, que engranan hacia la desembocadura de la quebrada con gravas, arenas, limos y ceniza volcánica, de origen continental aluvional. En el sector bajo del área de estudio, aproximadamente desde la Ruta 5 Norte hacia la costa, los sedimentos se ubicarían sobre roca de la formación Concordia, mientras que desde dicho sector hacia aguas arriba se ubicarían sobre roca de tipo volcánico y areniscas microconglomerádicas.

## 5. Catastro Actualizado de Captaciones

A partir de la información recopilada en terreno, de la información de las hojas de construcción de los sondajes, y de antecedentes de estudios anteriores, se realizó un catastro de sondajes ubicados en el área de estudio. Dicho catastro, que se presenta en el Cuadro 5-1, comprende un total de 18 sondajes, de los cuales solamente cuatro se encuentran en operación y el resto está sin uso. La numeración de los sondajes se ha realizado de acuerdo a la nomenclatura utilizada por la Corfo en sus catastros, manteniendo la numeración de los sondajes ya asignada a algunos sondajes, y asignando un correlativo a los adicionales.

La ubicación en planta de las captaciones se presenta en un plano general de ubicación en la Figura 5-1.



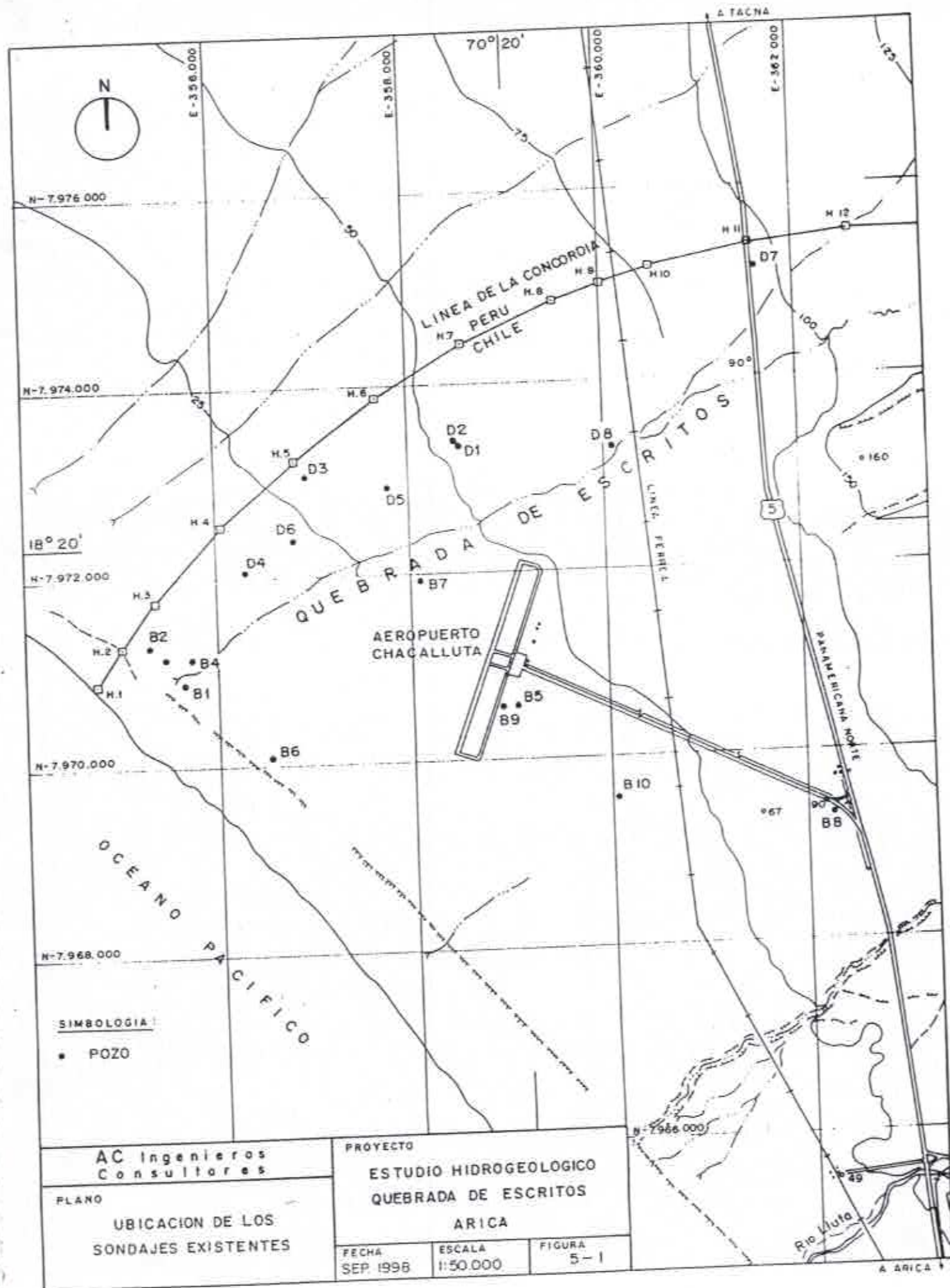
CUADRO 5-1 CATASTRO DE SONDAJES SECTOR QUEBRADA DE ESCRITOS

| POZO          | COORDENADAS UTM (1) |         | UBICACIÓN          | PROPIETARIO      | CONSTRUCTOR | USO<br>(3) | COTA<br>(4) | PROFUNDIDAD (m) |         | DIAM. HAB.<br>(pulg) | PRUEBA DE BOMBEO |          | FECHA TERM<br>CONSTRUC. | N.E.<br>09/98 |
|---------------|---------------------|---------|--------------------|------------------|-------------|------------|-------------|-----------------|---------|----------------------|------------------|----------|-------------------------|---------------|
|               | NORTE               | ESTE    |                    |                  |             |            |             | PERF.           | HAB.    |                      | Q (l/s)          | N.E. (m) | N.D. (m)                |               |
| 1810-7020 D1  | 7.973.367           | 358.490 | Concordia          | Dir. Aeronáutica | Corfo 377   | P-R        | 53.9        | 155.5           | 144.6   | 12                   | 35               | 45.90    | 56.0                    | 01.61         |
| 1810-7020 D2  | 7.973.375           | 358.505 | Concordia          | Corfo            | Corfo 436   | SU         | 53.0        | 128.7           | 124.6   | 6                    |                  | 45.70    |                         | 12.62         |
| 1810-7020 D3  | 7.973.052           | 356.878 | Concordia          | Corfo            | Corfo 502   | SU         | 38.0        | 143.0           | 129.7   | 12                   | 32               | 32.10    | 57.0                    | 12.66         |
| 1810-7020 D4  | 7.972.036           | 356.283 | Concordia          | Corfo            | Corfo 503   | SU         | 29.0        | 300.4           | 280.1   | 12                   | 57               | 23.60    | 35.0                    | 12.65         |
| 1810-7020 D5  | 7.972.931           | 357.704 | Concordia          |                  |             | SU         |             |                 |         | 1.86 m               |                  |          |                         | 37.53         |
| 1810-7020 D6  | 7.972.399           | 356.805 |                    | Corfo            |             | SU         |             |                 |         |                      |                  |          |                         | 29.05         |
| 1810-7020 D7  | 7.975.013           | 361.340 | Nuevo Camp. Front. | Corfo            | Corfo 450   | P          | 96.0        | 115.0           | 115.0   | 14                   | 4                | 83.60    |                         | 83.07         |
| 1810-7020 D8  | 7.973.597           | 360.354 | Concordia          | Zofri 2          | Capitagua   | SU         |             | 100.0           | 100.0   | 12                   |                  |          |                         | 60.77         |
| 1820-7020 B1  | 7.970.860           | 355.616 | Concordia          | Corfo            | Corfo 303   | SU         | 16.0        | 200.0           | 126.0   | 12                   | 32               | 13.00    | 30.4                    | 13.53         |
| 1820-7020 B2  | 7.971.387           | 355.293 | Concordia          | Corfo            | Corfo 344   | SU         | 17.5        | 140.0           | 132.7   | 15                   | 50               | 14.90    | 18.0                    | 14.92         |
| 1820-7020 B3  | 7.971.125           | 355.700 | Concordia          | Corfo            | Corfo 352   | SU         | 18.0        | 136.0           | 125.5   | 10                   | 25               | 14.50    | 20.4                    | 15.00         |
| 1820-7020 B4  | 7.971.355           | 355.282 | Concordia          | Corfo            | Corfo 435   | SU         | 16.5        | 150.0           | 132.4   | 6                    |                  | 14.00    |                         | 14.20         |
| 1820-7020 B5  | 7.970.489           | 359.005 | Aerop. Chacalluta  | Dir. Aeronáutica | Corfo 336   | SU         | 48.0        | 59.0            | 55.3    | 10                   | 10               | 42.50    | 47.0                    | 12.62         |
| 1820-7020 B6  | 7.970.050           | 358.500 |                    | Corfo            | Corfo 466   | SU         | 20.5        | 144.0           | 139.5   | 8                    |                  | 16.60    |                         | 10.63         |
| 1820-7020 B7  | 7.971.900           | 368.150 |                    | Corfo            | Corfo 467   | SU         | 39.0        | 432.0           | No hab. |                      |                  | 34.80    |                         |               |
| 1820-7020 B8  | 7.968.281           | 362.318 | Carabineros Chac.  |                  |             | P-R        |             | 100.0           |         | 11                   |                  |          |                         |               |
| 1820-7020 B9  | 7.970.555           | 358.899 | Aerop. Chacalluta  | Dir. Aeronáutica | Celtac 465  | SU         | 48.0        | 81.0            | 80.0    | 6                    | 8                | 40.90    | 50.0                    | 10.63         |
| 1820-7020 B10 | 7.970.050           | 360.175 | Zofri              | Zofri 1          | Hidrozan    | I          |             | 100.0           | 100.0   | 12                   |                  |          |                         | 07.92         |

Notas:

- 1) La cota de terreno se obtuvo de estudios anteriores o de la Carta Arica, Avance Topográfico, del I.G.M.
- 2) Para todos los sondeos la comuna corresponde a Arica
- 3) Usos: SU= sin uso; I= Industrial; R= riego; P= potable
- 4) Las coordenadas UTM fueron determinadas en terreno mediante GPS, u obtenidas del expediente de solicitud de derechos de agua, excepto los 1820-7020 B6 y B7, obtenidos de la carta 1:50,000 del IGM





## 6. Formaciones Acuíferas

La caracterización de las formaciones acuíferas en el área de estudio se ha realizado a partir de los registros estratigráficos disponibles de seis sondajes ubicados en dicha área, y de los resultados de las pruebas de bombeo realizadas en algunos de los sondajes existentes.

De acuerdo a la información anterior, y a la caracterización geológica realizada, en el sector de estudio el espesor del relleno que sobreyace a la roca basal es considerable, del orden de los 400 m o más. En efecto, en el sondaje de mayor profundidad existente, el 1820-7020 B7, se perforó hasta 432 m de profundidad, sin encontrar roca basal. Igualmente, en el pozo 1810-7020 D4, ubicado a menor distancia de la costa que el anterior, se perforó hasta 300 m de profundidad, sin encontrar roca. Similar situación se desprende de la información de los restantes sondajes del área, cuyas profundidades alcanzan hasta los 200 m, sin que se haya alcanzado roca. En el caso de otros sondajes, los CF-388 y CF-468 ubicados al sur del área de estudio, en la zona baja del valle del río Lluta y a una distancia similar de la costa de los anteriores, se alcanzó la roca basal a profundidades de 378 m y 381 m, respectivamente, lo que concuerda con la estimación anterior.

De acuerdo a la estratigrafía disponible de los sondajes indicados, los rellenos en el área de estudio se componen muy principalmente de arenas de distinto tamaño, principalmente fina a media, con intercalaciones de estratos de diferentes características.

Desde aguas abajo hacia aguas arriba, los pozos 1820-7020 B1 y 1820-7020 B2, ubicados a unos 700 m de la costa, presentan un estrato compuesto principalmente de arenisca hasta los 200 m de profundidad, bajo el cual se ubicaría un estrato del tipo conglomerado, que se extendería más allá de los 200 m. Dentro del estrato de arenisca, se ubican estratos de baja permeabilidad del tipo ceniza volcánica, con potencias del orden de 15 a 20 m.

A mayor distancia de la costa, a unos 2.000 a 3.500 m, los sondajes 1810-7020 D4 y 1820-7020 B7 muestran una estratigrafía similar. En el caso del sondaje 1810-7020 D4, la descripción proveniente de un estudio anterior señala que se tendría un estrato superior, de unos 115 m de espesor, formado por capas intercaladas de diferente tipo, compuestas de arenas, limos, cenizas volcánicas, piedra pómez y bloques de liparita o riolita, con fósiles marinos hasta los 70 m, que sobreyace a un estrato que se extiende al menos hasta los 300 m, de similar composición al anterior, pero sin fósiles y con mayor litificación. Por su parte, en el caso del pozo 1820-7020 B7 se identificó un estrato superficial de arena fina a gruesa, de 80 m de potencia, sobreyaciendo a un estrato que llega hasta los 140 m de profundidad formado por materiales finos, del tipo limo y arcillas, con contenido de

En la ecuación anterior, el término  $\ln(R/x)$  resulta muy parecido a 7.0, dado que los radios de influencia de los pozos son usualmente del orden de los 250 m, con lo que la relación queda como

$$\Delta c = \frac{3.5 Q}{\pi T}$$

en que

$\Delta c$ : depresión corregida [L]

$Q$ : caudal [ $L^3/T$ ]

$R$ : radio de influencia [L]

$x$ : radio de habilitación del pozo [L]

$T$ : coeficiente de transmisibilidad [ $L^2/T$ ]

Los resultados de la interpretación, que se presentan en el Cuadro 6-1, muestran valores de transmisibilidades mas bien bajas, variables en el rango de 100 a 400  $m^2/día$ , excepto un valor puntual del orden de 1.500  $m^2/día$  en el sondaje 1820-7020 B2.

Cuadro 6-1. Transmisibilidades Estimadas en Sondajes Quebrada de Escritos

| Sondaje | T ( $m^2/día$ ) |
|---------|-----------------|
| CF- 303 | 240             |
| CF- 344 | 1.570           |
| CF- 352 | 420             |
| CF- 377 | 330             |
| CF- 502 | 100             |
| CF- 503 | 500             |
| CF- 336 | 220             |
| CZ- 465 | 90              |
| Zofri 2 | 110             |



## 7. Niveles Estáticos y Dinámica de las Aguas Subterráneas

Respecto de los niveles de aguas subterráneas, durante la campaña de terreno efectuada en Septiembre de 1998 se midió los niveles estáticos en todos los sondeos en que fue posible hacerlo. Algunos de los sondeos no fueron medidos porque no tenían línea de aire o no fue posible introducir el pozómetro dentro del tubo del sondeo, mientras que en otros casos se trata de sondeos ubicados en zonas de acceso absolutamente restringido por la autoridad militar.

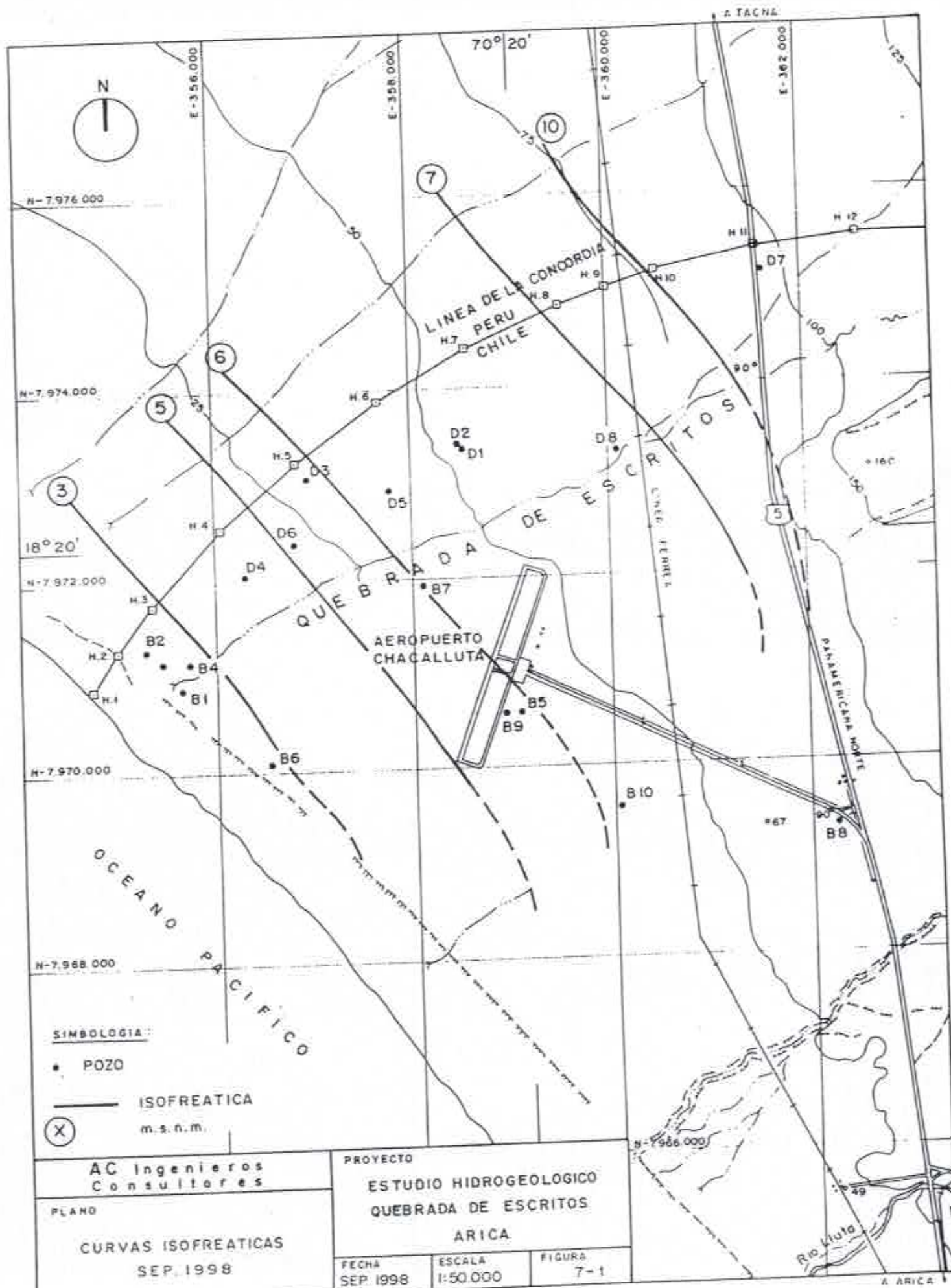
Los niveles, presentados en el Cuadro 7-1, se ubicaron a profundidades variables entre 13,5 m y 83,07 m, midiéndose valores más profundos a mayores distancias de la costa. Considerando las cotas de terreno de los sondeos, las que como se señaló se estimaron a partir de informes anteriores y la carta 1:50.000 del I.G.M. correspondiente, se determinó la cota de los niveles freáticos, trazándose las curvas isofreáticas que se muestran en la Figura 7-1. De acuerdo a dicha Figura, las curvas isofreáticas resultan aproximadamente paralelas a la costa, variando desde 2,5 m.s.n.m. en los pozos más cercanos a la costa, hasta 13 m.s.n.m. en el sector en que se emplaza el nuevo puesto fronterizo chileno, actualmente en construcción.

Cuadro 7-1. Niveles Estáticos en Sondeos. Agosto 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 D4 | 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                  |
| 1820-7020 B1 | 13.53           | 2.47                  |
| 1820-7020 B2 | 14.92           | 2.58                  |
| 1820-7020 B3 | 15.00           | 3.00                  |
| 1820-7020 B4 | 14.20           | 2.30                  |
| 1820-7020 B5 | 42.06           | 5.94                  |

Las cotas anteriores, son muy similares a las presentadas en un esquema anterior existente, que probablemente fue realizado entre 1965 y 1966, es decir hace más de 30 años, lo que resulta razonable considerando que la extracción histórica de aguas subterráneas en el área ha sido mínima, y por lo tanto los niveles freáticos prácticamente corresponden a la condición natural de la cuenca.





Adicionalmente, con el objeto de determinar la ocurrencia de variaciones estacionales de los niveles, se comparó los niveles medidos por la Dirección General de Aguas en algunos de los sondeos del área de estudio, para el periodo comprendido entre mayo y diciembre de 1997, los que se presentan en el Cuadro 7-2. De acuerdo a dicha información, durante el periodo analizado no se produjeron variaciones de niveles en ninguno de los sondeos en que se realizaron mediciones, lo que muestra que el flujo subterráneo de recarga en el área se mantiene constante durante todo el año.

Cuadro 7-2. Niveles estáticos en sondeos Quebrada de Escritos. Mayo a Diciembre 1997

| Pozo         | Mes      |           |            |           |             |          |          |
|--------------|----------|-----------|------------|-----------|-------------|----------|----------|
|              | Mayo '97 | Junio '97 | Agosto '97 | Sept. '97 | Octubre '97 | Nov. '97 | Dic. '97 |
| 1810-7020 D2 | 46.60    | 46.65     | 46.65      | 46.46     | 46.61       | 46.61    | 46.56    |
| 1810-7020 D3 | 31.61    | 31.60     | 31.60      | 31.62     | 31.61       | 31.61    | 31.59    |
| 1810-7020 D4 | 23.75    | 23.71     | 23.67      | 23.69     | 23.68       | 23.68    | 23.64    |
| 1820-7020 B1 | 13.07    | 13.09     | 13.11      | 13.15     | 13.13       | 13.15    | 13.11    |
| 1820-7020 B2 | 14.29    | 14.31     | 14.29      | 14.34     | 14.33       | 14.34    | 14.29    |
| 1820-7020 B3 | 14.38    | 14.38     | 14.42      | 14.43     | 14.42       | 14.43    | 14.41    |
| 1820-7020 B4 | 13.67    | 13.69     | 13.70      | 13.43     | 13.71       | 13.73    | 13.69    |

Fuente: Dirección Regional de Aguas, I Región.

Respecto a los gradientes hidráulicos, con la información de niveles señalada y la ubicación de los sondeos, se estimó el gradiente hidráulico de la napa en el sector de aguas arriba del área de estudio, no influida directamente por la condición de borde de nivel que representa el mar; dicho gradiente resulta ser relativamente pequeño, del orden de 2,6 ‰.

A partir de los antecedentes anteriores, se estimó el flujo subterráneo propio de la napa subterránea en una sección ubicada en el borde de aguas arriba del área de estudio. Considerando una transmisibilidad media de 350 m<sup>2</sup>/dia, un gradiente de 2,6 ‰ y un ancho de la sección aportante de 5.000 m, resulta que el flujo subterráneo es de

$$\text{Flujo subterráneo} = T \times i \times B = 350 \times 0,0026 \times 5,000$$

$$\text{Flujo subterráneo} = 52 \text{ lt/s}$$



## 8. Calidad de las Aguas Subterráneas

Respecto de la calidad de las aguas subterráneas, se analizó la situación en el área de estudio a partir de la información disponible, consistente en análisis químico de muestras extraídas desde 11 de los sondeos del área, las que fueron obtenidas entre 1959 y 1996, suponiéndose, para fines del análisis, que la calidad de las aguas durante dicho período no ha sufrido variaciones significativas, pudiendo por tanto realizarse un análisis del conjunto de los datos existentes.

La información anterior, que se presenta en el Cuadro 8-1, muestra que en general en toda el área de estudio el contenido de Cloruros y el Total de Sólidos Disueltos es relativamente alto. Espacialmente, ambos contenidos presentan un comportamiento similar, en que los valores muestreados disminuyen a mayores distancias de la costa, y disminuyen desde el sur hacia el norte. Lo anterior se debería por una parte al efecto de intrusión de agua de mar, en los pozos costeros, y a que los rellenos ubicados más hacia el sur del sector estudiado reciben recargas provenientes de la cuenca del río Lluta, caracterizadas por su alto contenido salino, mientras que hacia el norte dicho efecto decrece, ya que el agua subterránea proviene de la cuenca de la Quebrada de Escritos y de aquellas cuencas costeras que drenan hacia la costa en el sur del Perú.

Desde el punto de vista de su calidad para agua potable, tanto las aguas de los pozos ubicados a menos de 1000 m de la costa, como aquellos ubicados al sur de la coordenada UTM N 7.971.000, presentan contenidos de sólidos disueltos totales por sobre 1.000 mg/lit, es decir exceden el límite establecido por la norma chilena para agua potable, NCh 409. Similar comportamiento presenta el contenido de cloruros, que en la misma área indicada presenta valores por sobre 250 mg/lit, que constituye el límite establecido por la norma NCh 409.

Con relación a los otros parámetros analizados en las muestras indicadas, aunque algunos de ellos presentan valores en el rango medio a alto, como es el caso de los contenidos de  $\text{SO}_4$ , Na y Mg, ninguno de ellos excede los límites admisibles en ninguno de los pozos.

## 9. Derechos de Agua y Uso de las Aguas Subterráneas

Tal como se señaló anteriormente, la gran mayoría de los sondeos existentes en el área de estudio se encuentran sin uso, lo que en algunos casos se debe a que las aguas alumbradas presentaron un alto contenido salino, y en otros a que los pozos no fueron utilizados.



Cuadro 8-1. Calidad Química de las Aguas Subterráneas

| POZO          | Concentración (mg/lit) |       |                  |      |      |       |      |                  |                 |       | Dureza          |       |          | pH  |
|---------------|------------------------|-------|------------------|------|------|-------|------|------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|----------|-----|
|               | Fecha                  | TSD   | SiO <sub>2</sub> | Ca   | Mg   | Na    | K    | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl    | NO <sub>3</sub> | Total | No Carb. |     |
| 1810-7020 D7  | 20.06.63               | 625   | 61               | 38   | 4.4  | 152   | 14   | 63               | 94              | 211   | 6.6             | 112   | 60       | 6.7 |
| 1820-7020 B1  | 25.10.63               | 1,020 | 70               | 153  | 14   | 158   | 10   | 68               | 115             | 435   | 6.6             | 400   | 384      | 7   |
| 1820-7020 B1  | 04.03.59               | 899   | 40.8             | 98.8 | 8.8  | 192.5 | 14.4 |                  | 173.2           | 300.7 | 16.6            | 282.3 |          | 7.6 |
| 1820-7020 B2  | 26.11.60               | 696   | 77               | 87   | 15   | 97    | 12   | 92               | 168             | 170   | 10              | 281   | 206      | 7.4 |
| 1820-7020 B3  | 23.05.61               | 650   | 79               | 100  | 5    | 84    | 10   | 88               | 165             | 151   | 2.8             | 270   | 198      | 7.2 |
| 1820-7020 B5  | 15.01.60               | 1,080 | 53               | 54.5 | 44.9 | 282.4 | 14.6 | 64.1             | 110.9           | 430.1 | 3.5             | 154.8 | 102.2    | 7.1 |
| 1820-7020 B6  | 04.03.64               | 2,425 | 71               | 279  | 5.2  | 358   | 41   | 123              | 648             | 660   | 2.5             | 909   | 808      | 6.8 |
| 1820-7020 B7  | 07.08.64               | 600   | 45               | 70.5 | 9    | 107   | 7    | 195.6            | 172.5           | 71.2  | 14.6            | 213.2 | 52.9     | 7.1 |
| 1820-7020 B10 | 29.05.92               | 1,800 |                  | 132  | 32   |       |      |                  | 476             | 538   | 4.5             | 460   | 130      | 7.8 |
| 1810-7020 D1  | 03.03.61               | 602   | 70               | 49   | 5    | 132   | 11   |                  | 62              | 218   | 11              | 144   |          | 7   |
| 1810-7020 D1  | 14.03.63               | 582   | 53               | 50   | 4.9  | 130   | 9.2  | 74               | 64              | 211   | 14              | 144   | 83       | 7.3 |
| 1810-7020 D6  | 25.06.96               | 485   |                  | 23.2 | 2.4  |       |      |                  | 96.1            | 170.7 |                 | 68    |          | 7.8 |

Desde el punto de vista de los derechos de agua, el área de estudio constituye un caso especial, ya que previamente al análisis de la solicitud que debe realizar la Dirección General de Aguas, se requiere la autorización de la Dirección de Fronteras y Límites, Difrol.

De la revisión realizada en la Dirección General de Aguas, se obtuvo información respecto de un sondaje que cuenta con derechos de agua, por un caudal de 20 lt/s, que corresponde al pozo 1820-7020 B10, de la Zofri, que en todo caso no se encuentra dentro de la cuenca de la Quebrada de Escritos. Respecto de los otros sondajes, la revisión de los expedientes realizada indica que existen solicitudes pendientes para el caso de otros dos pozos, el 1810-7020 D1 (Corfo 377) y el 1810-7020 D8, de la Zofri.

En el caso del pozo 1810-7020 D1, existe una solicitud por 8 lt/s, que fue denegada por Difrol, mientras que en el caso del sondaje 1810-7020 D8 existe una solicitud por 18 lt/s, actualmente en trámite en Difrol.

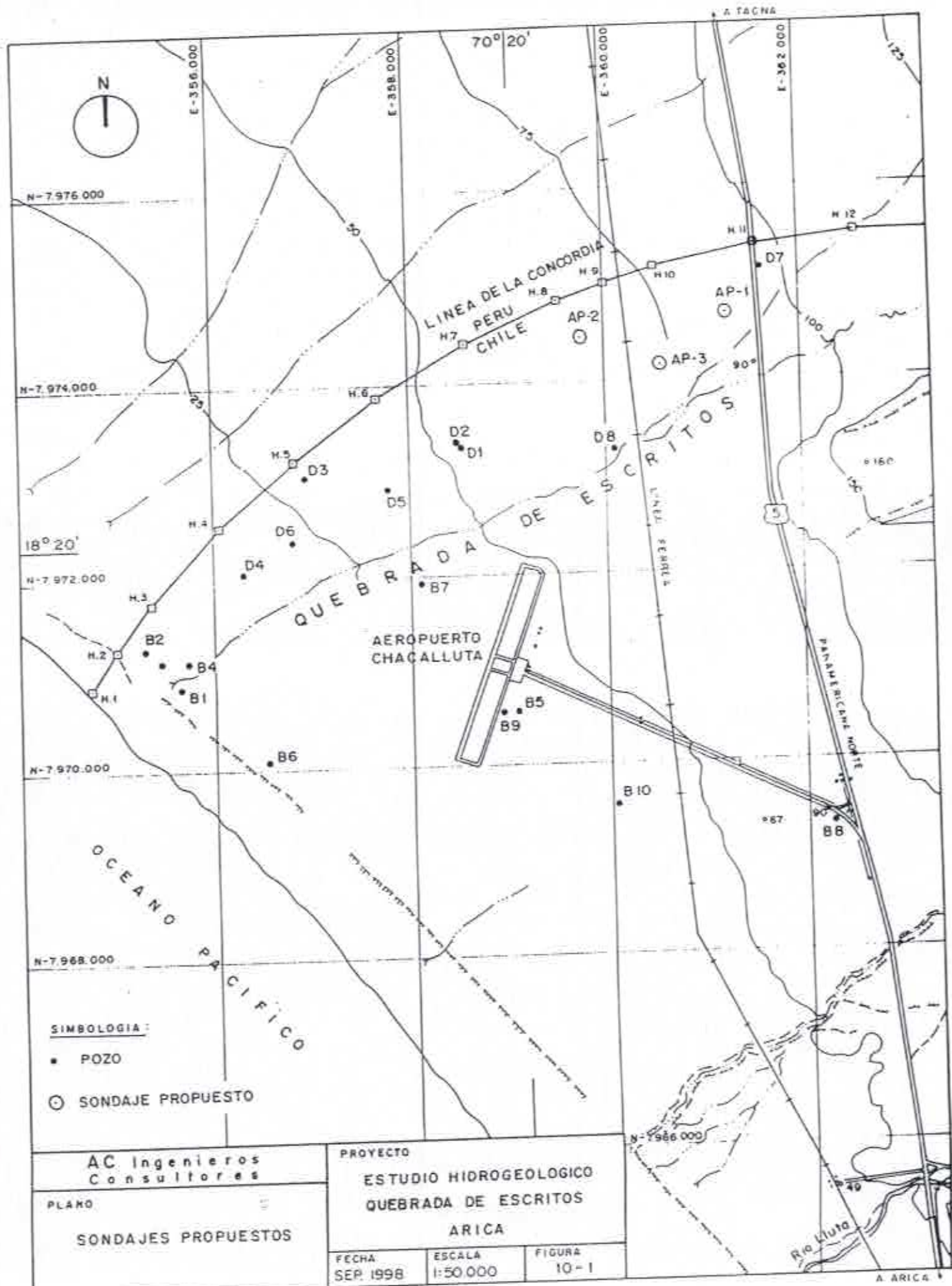
Respecto de la actual explotación de aguas subterráneas en la Quebrada de Escritos, actualmente existen tres sondajes que utilizan dichos recursos. Los volúmenes diarios estimados para dichos pozos son de 260 m<sup>3</sup>/día en el sondaje 1820-7020 B8, utilizado por los Carabineros de Chacalluta, 150 m<sup>3</sup>/día en el sondaje 1810-7020 D7, ubicado dentro del recinto del nuevo complejo fronterizo en construcción, y unos 400 m<sup>3</sup>/día en el sondaje 1810-7020 D1, que abastece el aeropuerto de Chacalluta, lo que en total equivale a un caudal permanente de 9 lt/s. No se consideró el caso del pozo 1820-7020 B10, ya que como se indicó se encuentra ubicado fuera de la cuenca estudiada.

#### 10. **Proposición de Nuevas Fuentes**

A partir de los antecedentes anteriores, especialmente de la ubicación de los sondajes existentes, los antecedentes de calidad de aguas, y la estimación de los recursos disponibles, se determinó la ubicación recomendada para el desarrollo de nuevas fuentes de aguas subterráneas.

En dicho análisis, se desechó la posibilidad de extraer aguas directamente de los sondajes perforados por Corfo y que actualmente se encuentran sin uso, ya que dichos sondajes fueron perforados hace casi 40 años, y el alto contenido salino de las aguas probablemente ha deteriorado dichos pozos.

Los tres sondajes propuestos, cuya ubicación se presenta en la Figura 10-1, emplazados de manera de no interferir con los sondajes existentes, de ubicarse dentro de las áreas con aguas de mejor calidad, y de ubicarse aguas arriba de los





sondajes actualmente en explotación. Dichos pozos, numerados como AP-1, AP-2 y AP-3, deberían ser priorizados respecto de su construcción en el mismo orden de su numeración, en caso de decidirse no perforar todos simultáneamente. En el Cuadro 10-1 se indica las coordenadas U.T.M. de cada uno de los sondajes propuestos.

Cuadro 10-1. Coordenadas U.T.M. de los sondajes propuestos

| Pozo | Coordenadas U.T.M |         |
|------|-------------------|---------|
|      | Norte             | Este    |
| AP-1 | 7.974.650         | 361.250 |
| AP-2 | 7.974.430         | 359.760 |
| AP-3 | 7.974.150         | 360.560 |

Se estima que cada uno de los sondajes ubicados en dichos puntos, con una profundidad habilitada de unos 150 m, y un diámetro de la habilitación de 14", produciría un caudal de unos 15 lt/s, con un nivel estático a unos 65 m de profundidad y un nivel dinámico a unos 100 m. Respecto del rendimiento esperado del conjunto de pozos, considerando el flujo propio de la napa, estimado en unos 52 lt/s, y las actuales extracciones, se estima que el máximo caudal factible de explotar por el sistema de sondajes se ubicaría en torno a los 30 a 35 lt/s.

Una condicionante importante a la factibilidad de explotar dichos recursos, la constituye la forma en que se resuelvan las actuales solicitudes de derechos de aprovechamiento en trámite en la Dirección General de Aguas y la Dirección de Fronteras y Límites.

Debido a la ubicación de los sondajes, en una zona fronteriza en que no es posible explorar los recursos de la cuenca ubicados dentro del Perú, y a que los niveles deprimidos se ubicarán por debajo del nivel del mar, se estima que la extracción desde los sondajes deberá realizarse bajo condiciones de permanente monitoreo de la calidad de las aguas, de manera de asegurar que su actual calidad se mantenga en el tiempo.

## 11. Resumen y Conclusiones

A continuación se presenta un resumen del estudio desarrollado y las principales conclusiones del mismo.

- La Quebrada de Escritos corresponde a una cuenca de algo más de 400 km<sup>2</sup> de superficie, ubicada en la zona limitrofe entre Perú y Chile. Casi el 80% de la

superficie de la cuenca, que corresponde a la zona alta de la misma, se ubica dentro de territorio peruano, mientras que el sector bajo, hasta el Océano Pacífico, se encuentra dentro de Chile.

- Geológicamente, la cuenca se encuentra limitada por afloramientos de la formación Oxaya, mientras que los rellenos corresponden a sedimentos marinos, del tipo conglomerado de areniscas, y gravas, arenas, limos y ceniza volcánica de origen continental aluvional.
- En el área de estudio, existen 17 pozos y una noria; de dicho total 4 se encuentran en uso para agua potable, riego y uso industrial, mientras que el resto se encuentra sin uso prácticamente desde la fecha de su construcción.
- Respecto de las formaciones acuíferas existentes, el espesor de los rellenos se ha estimado en alrededor de 400 m, los que se componen muy principalmente de arenas de distinto tamaño, especialmente fina a media, con intercalaciones de estratos de diferente tipo. Los estratos que albergan acuíferos de alguna importancia han sido identificados a profundidades entre 60 y 140 m, y consisten en estratos de pequeños espesores, compuestos de arena y grava con ripio; el espesor total del relleno en que se ubicarían dichos estratos no excedería los 40 m.
- Las transmisibilidades de los estratos acuíferos, de acuerdo a la interpretación de las pruebas de bombeo disponibles, varían en el rango de 100 a 500 m<sup>2</sup>/día.
- En cuanto a la profundidad de los niveles estáticos, los valores medidos varían entre algo unos 10 y unos 85 m. Considerando la cota de terreno estimada para los pozos, dichos niveles se ubican a cotas entre 2,3 y 12,9 m.s.n.m. Las líneas isofreáticas resultan aproximadamente paralelas a la costa, con un gradiente de 2,6 por mil. De acuerdo a la información disponible, dichos niveles se han mantenido constantes durante al menos 30 años, y tampoco no sufren variaciones estacionales.
- Con los antecedentes anteriores, el flujo propio de la cuenca en el sector estudiado se estimó en unos 52 lt/s.
- Respecto a la calidad de las aguas subterráneas, la información disponible muestra que la salinidad de las mismas aumenta considerablemente hacia el sur del área de estudio, probablemente debido al efecto de las aguas provenientes del valle del río Lluta. Al sur de la coordenada U.T.M. 7.971.000, la concentración de sólidos disueltos totales supera el valor máximo establecido por la norma chilena para agua potable, de 1.000 mg/lt. Similar situación se verifica respecto



# 1 QUEBRADA DE ESCRITOS

El presente documento se elaboro, utilizando como fuente el estudio realizado por Ayala y Cabrera en 1998, y actualizando los datos de niveles de aguas subterráneas y derechos de aguas, con los antecedentes que posee este Servicio a la fecha.

## 1.0 Fisiografía

La Quebrada de Escritos, tiene su origen en el Perú, estando dentro del territorio de dicho país gran parte de su extensión. En efecto, mientras la parte alta y media de la cuenca ubicada dentro del Perú tiene una superficie de unos 320 km<sup>2</sup>, la parte baja ubicada dentro de Chile tiene un 20% de la superficie total, es decir unos 85 km<sup>2</sup>. Espacialmente, el relleno del sector bajo de la Quebrada de Escritos tiene continuidad hacia el sur, sector en que se ubica la Quebrada de Gallinazo y el sector bajo de la cuenca del río Lluta, y hacia el norte, en el Perú, en las Quebradas de Hospicio y del río Caplina.

De acuerdo a la información proporcionada por la Carta Geológica de Chile, escala 1: 100.000. Cuadrángulo Arica y Poconchile, toda el área ubicada al norte del Morro de Arica, dentro de la cual se ubica el sector de estudio, corresponde a la denominada Planicie Costera, que es una superficie sub-horizontal que continua hacia el norte, internándose en territorio peruano.

Desde el punto de vista climático, la zona corresponde a un área de clima desértico costero, con nublados abundantes, cuyas características relevantes son la ausencia de precipitaciones, abundantes nieblas y bajas camanchacas, alta nubosidad, alta humedad relativa del aire, y temperaturas moderadas y estables.

En cuanto a vegetación, en la zona de estudio no se observa vegetación de ningún tipo.

Finalmente, desde el punto de vista hidrológico, la cuenca en estudio no se encuentra en régimen natural, ya que las aguas superficiales son utilizadas en la zona alta, ubicada dentro del Perú, para el riego de diferentes sectores. En todo caso, dentro del área de estudio la quebrada no presenta flujos superficiales, registrándose durante los últimos 25 años un solo evento con flujo superficial, el que no correspondería a una crecida natural, sino al desvío de las aguas a través de la quebrada durante un período de intensas lluvias en la zona sur del Perú.

## 1.1 Geología y Geomorfología

En cuanto a la geología del sector, su límite sur corresponde al de la



formación Oxaya, sobre la cual se identifican sedimentos recientes de origen eólico, formado básicamente por granos de cuarzo sub-redondeados.

Dicha formación Oxaya, se encuentra ampliamente extendida en la provincia de Arica, constituyendo en forma importante la actual superficie de erosión. En los sectores inferiores, los afloramientos están constituidos principalmente por tobas e ignimbritas marrón y grises, pudiendo localizarse hacia el techo y la base estratos de tobas riolíticas blancas y rosadas.

La roca más común en esta formación baja corresponde a una ignimbrita marrón vitrocrystalina, de composición riolítica. En las cercanías del techo del miembro inferior, un nivel ignimbrítico gris oscuro puede ser considerado como estrato guía, debido a su continuidad areal.

Respecto al relleno del valle, este corresponde en su totalidad a sedimentos marinos, principalmente conglomerados, areniscas y limolitas pardo oscuras con intercalaciones de conchas, que engranan hacia la desembocadura de la quebrada con gravas, arenas, limos y ceniza volcánica, de origen continental aluvional. En el sector bajo del área de estudio, aproximadamente desde la ruta 5 Norte hacia la costa, los sedimentos se ubicarían sobre roca de la formación Concordia, mientras que desde dicho sector hacia aguas arriba se ubicarían sobre roca de tipo volcánico y areniscas microconglomerádicas.

## 1.2 **Catastro de Captaciones**

A partir de la información recopilada en terreno, de la información de las hojas de construcción de los sondajes, y de antecedentes de estudios anteriores, se realizó un catastro de sondajes ubicados en el área de estudio (Ayala y Cabrera 1998). Dicho catastro que se presenta en la Tabla 1.2-1, comprende un total de 18 sondajes, de los cuales solamente cuatro se encuentran en operación y el resto está sin uso. La numeración de los sondajes se ha realizado de acuerdo a la nomenclatura utilizada por la Corfo en sus catastros, manteniendo la numeración de los sondajes ya asignada a algunos sondajes, y asignando un correlativo a los adicionales.

La ubicación en planta de las captaciones se presenta en un plano general de ubicación en la Figura 1.2-1



FIGURA 1.2-1 UBICACIÓN DE LOS SONDAJES EXISTENTES

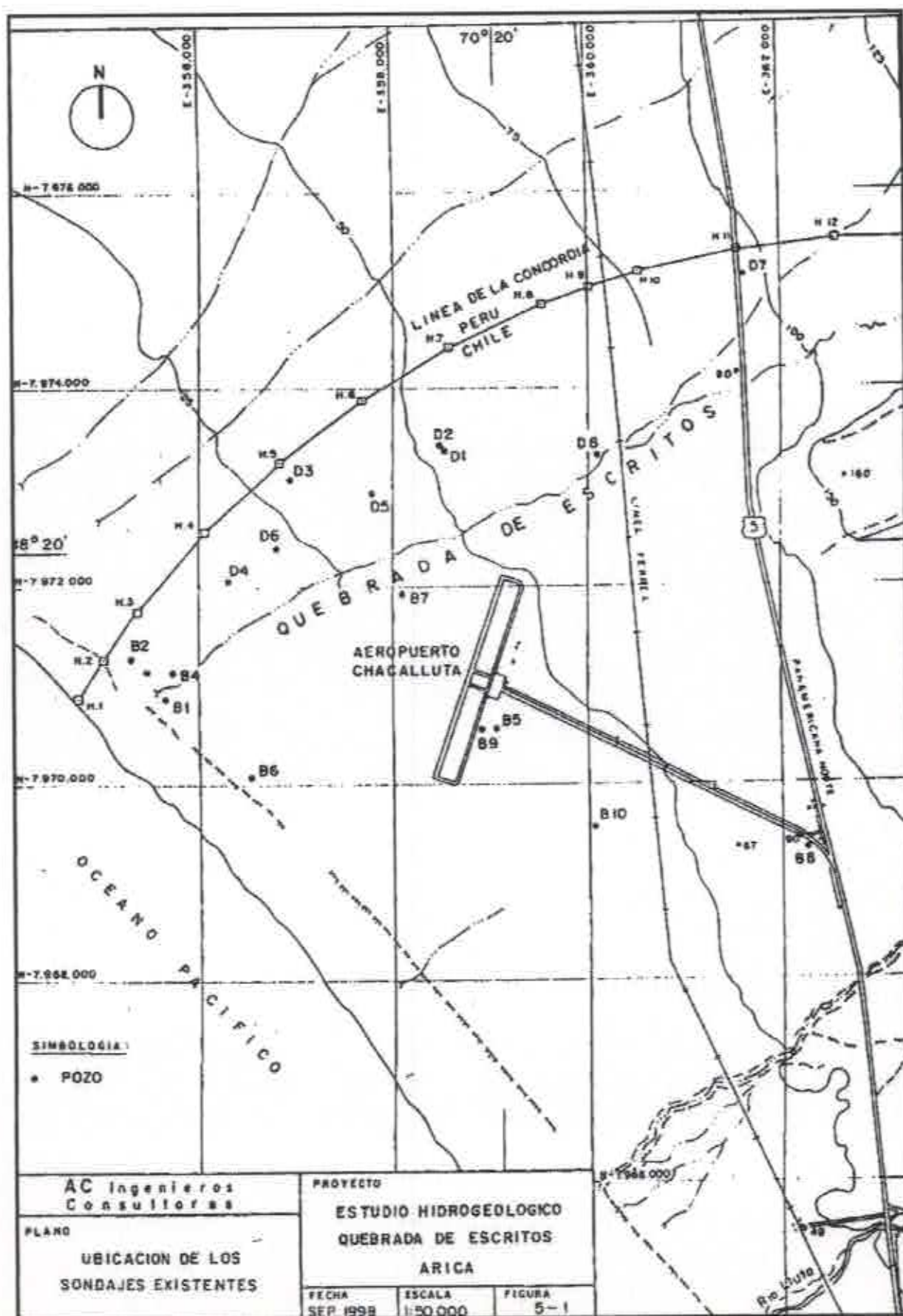




TABLA 1.2-1

CATASTRO DE SONDAJES SECTOR QUEBRADA DE ESCRITOS

| Nº POZO          | COORD. UTM(1) |        | UBICACIÓN         | PROPIETARIO      | CONSTRUCTOR | USO | COTA | PROF. (m) |         | DIAM. HAB. PULGADAS | PRUEBA DE BOMBEO |          | FECHA    |        |
|------------------|---------------|--------|-------------------|------------------|-------------|-----|------|-----------|---------|---------------------|------------------|----------|----------|--------|
|                  | NORTE         | ESTE   |                   |                  |             |     |      | PERF.     | HABIL   |                     | Q (L/s)          | N.E. (m) | N.D. (m) | CONSTI |
| 1 1810-7020 D1   | 7973367       | 358490 | CONCORDIA         | DIR. AERONAUTICA | CORFO 377   | P-R | 53,9 | 155,5     | 144,6   | 12                  | 35               | 45,90    | 56,0     |        |
| 2 1810-7020 D2   | 7973375       | 358505 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 436   | SU  | 53   | 128,7     | 124,6   | 6                   |                  | 45,70    |          |        |
| 3 1810-7020 D3   | 7973052       | 356878 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 502   | SU  | 38   | 143,0     | 129,7   | 12                  | 32               | 32,10    | 57,0     |        |
| 4 1810-7020 D4   | 7972036       | 356283 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 503   | SU  | 29   | 300,4     | 280,1   | 12                  | 57               | 23,6     | 35,0     |        |
| 5 1810-7020 D5   | 7972931       | 357704 | CONCORDIA         |                  |             | SU  |      |           |         | 1,86 m              |                  |          |          |        |
| 6 1810-7020 D6   | 7972399       | 356805 |                   | CORFO            |             | SU  |      |           |         | 14                  |                  |          |          |        |
| 7 1810-7020 D7   | 7975013       | 361340 | EX-COMP.FRONT     | CORFO            | CORFO 450   | P   | 96   | 115,0     | 115,0   | 3                   | 4                | 83,6     |          |        |
| 8 1810-7020 D8   | 7973597       | 360354 | CONCORDIA         | ZOFRI 2          | CAPTAGUA    | SU  |      | 100,0     | 100,0   | 12                  |                  |          |          |        |
| 9 1810-7020 B1   | 7970860       | 355616 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 303   | SU  | 16   | 200,0     | 126,0   | 12                  | 32               | 13,0     | 30,4     |        |
| 10 1810-7020 B2  | 7971387       | 355293 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 344   | SU  | 17,5 | 140,0     | 132,7   | 15                  | 50               | 14,9     | 18,0     |        |
| 11 1810-7020 B3  | 7971125       | 355700 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 352   | SU  | 18   | 136,0     | 125,5   | 10                  | 25               | 14,5     | 20,4     |        |
| 12 1810-7020 B4  | 7971355       | 355282 | CONCORDIA         | CORFO            | CORFO 435   | SU  | 16,5 | 150,0     | 132,4   | 6                   |                  | 14,0     |          |        |
| 13 1810-7020 B5  | 7970489       | 359005 | AEROP. CHACALLUTA | DIR. AERONAUTICA | CORFO 336   | SU  | 48   | 59,0      | 55,3    | 10                  | 10               | 42,50    | 47,0     |        |
| 14 1810-7020 B6  | 7970050       | 356500 |                   | CORFO            | CORFO 466   | SU  | 20,5 | 144,0     | 139,5   | 8                   |                  | 16,60    |          |        |
| 15 1810-7020 B7  | 7971900       | 368150 |                   | CORFO            | CORFO 467   | SU  | 39   | 432,0     | NO HAB. |                     |                  | 34,80    |          |        |
| 16 1810-7020 B8  | 7969281       | 362318 | CARAB. CHACALLUTA |                  |             | P-R |      | 100,0     |         | 11                  |                  |          |          |        |
| 17 1810-7020 B9  | 7970555       | 358899 | AEROP. CHACALLUTA | DIR. AERONAUTICA | CELZAC 465  | SU  | 48   | 81,0      | 60      | 6                   | 8                | 40,9     | 50       |        |
| 18 1810-7020 B10 | 7970050       | 360175 | ZOFRI 1           | ZOFRI 1          | HIDROSAN    | I   |      | 100,0     | 100     | 12                  |                  |          |          |        |

NOTAS

Usos: SU= Sin Uso; I=Industrial; R= Riego; P=Potable

### 1.3 Formaciones Acuíferas

La caracterización de las formaciones acuíferas en el área de estudio se ha realizado a partir de los registros estratigráficos disponibles de seis sondajes ubicados en dicha área, y de los resultados de las pruebas de bombeo realizadas en algunos de los sondajes existentes.

De acuerdo a la información anterior, y a la caracterización geológica realizada, en el sector de estudio el espesor del relleno que sobreyace a la roca basal es considerable, del orden de los 400 mts. o más. En efecto, en el sondaje de mayor profundidad existente, el 1820-7020 B7, se perforó hasta 432 m de profundidad, sin encontrar roca basal. Igualmente, en el pozo 1810-7020 D4, ubicado a menor distancia de la costa que el anterior, se perforó hasta 300 m de profundidad, sin encontrar roca. Similar situación se desprende de la información de los restantes sondajes del área, cuyas profundidades alcanzan hasta los 200 m, sin que se haya alcanzado roca. En el caso de otros sondajes, los CF-388 y CF-468 ubicados al sur del área de estudio, en la zona baja del valle del río Lluta y a una distancia similar de la costa de los anteriores, se alcanzó la roca basal a profundidades de 378 m y 381 m, respectivamente, lo que concuerda con la estimación anterior.

De acuerdo a la estratigrafía disponible de los sondajes indicados, los rellenos en el área de estudio se componen muy principalmente de arenas de distinto tamaño, principalmente fina a media, con intercalaciones de estratos de diferentes características.

Desde aguas abajo hacia aguas arriba, los pozos 1820-7020 B1 y 1820-7020 B2, ubicados a unos 700 m de la costa, presentan un estrato compuesto principalmente de arenisca hasta los 200 m de profundidad, bajo el cual se ubicaría un estrato del tipo conglomerado, que se extendería más allá de los 200 m. Dentro del estrato de arenisca, se ubican estratos de baja permeabilidad del tipo ceniza volcánica, con potencias del orden de 15 a 20 m.

A mayor distancia de la costa, a unos 2.000 a 3.500 m, los sondajes 1810-7020 D4 y 1820-7020 B7 muestran una estratigrafía similar. En el caso del sondaje 1810-7020 D4, la descripción proveniente de un estudio anterior señala que se tendría un estrato superior, de unos 115 m de espesor, forrado por capas intercaladas de diferente tipo, compuestas de arenas, limos, cenizas volcánicas, piedra pómez y bloques de liparita o riolita, con fósiles marinos hasta los 70 m, que sobreyace a un estrato que se extiende al menos hasta los 300 m, de similar composición al anterior, pero sin fósiles y con mayor litificación. Por su parte, en el caso del pozo 1820-7020 B7 se identificó un estrato superficial de arena fina a gruesa, de 80 m de potencia, sobreyaciendo a un estrato que llega hasta los 140 m de profundidad formado por materiales finos.



En la Tabla 1.3-1 se presentan los valores de transmisibilidades, determinados por el estudio (Ayala y Cabrera 1998), transmisibilidades mas bien bajas, variables en el rango de 100 a 400 m<sup>2</sup>/día, excepto un valor puntual del orden de 1.500 m<sup>2</sup>/día en el sondaje 1820-7020 B2.

Tabla 1.3-1 Transmisibilidades Estimadas en Sondajes Quebrada de Escritos

| Sondaje | T (m <sup>2</sup> /día) |
|---------|-------------------------|
| CF-303  | 240                     |
| CF-344  | 1.570                   |
| CF-352  | 420                     |
| CF-377  | 330                     |
| CF-502  | 100                     |
| CF-503  | 500                     |
| CF-336  | 220                     |
| CZ-465  | 90                      |
| Zofri 2 | 110                     |

#### 1) Niveles Estáticos y Dinámica de las Aguas Subterráneas.

Respecto de los niveles de aguas subterráneas, durante la campaña de terreno efectuada en Septiembre de 1998 ( Ayala y Cabrera 1998) se midió los niveles estáticos en todos los sondajes en que fue posible hacerlo. Algunos de los sondajes no fueron medidos porque no tenían línea de aire o no fue posible introducir el pozómetro dentro del tubo del sondaje, mientras que en otros casos se trata de sondajes ubicados en zonas de acceso absolutamente restringido por la autoridad militar.

Los niveles, presentados en la Tabla 1.3-2, se ubicaron a profundidades variables entre 13,5 m y 83,07 m, midiéndose valores más profundos a mayores distancias de la costa. Considerando las cotas de terreno de los sondajes, las que como se señaló se estimaron a partir de informes anteriores y la carta 1:50.000 del I.G.M. correspondiente, se determinó la cota de los niveles freáticos, trazándose las curvas isofreáticas que se muestran en la Figura 1.3-1. De acuerdo a dicha figura las curvas isofreáticas resultan aproximadamente paralelas a la costa, variando desde 2. m.s.n.m. en los pozos más cercanos a la costa hasta 13 m.s.n.m. en el sector en que se emplaza el nuevo puesto fronterizo chileno.



FIGURA 1.3 - 1 CURVAS ISOFREATICAS

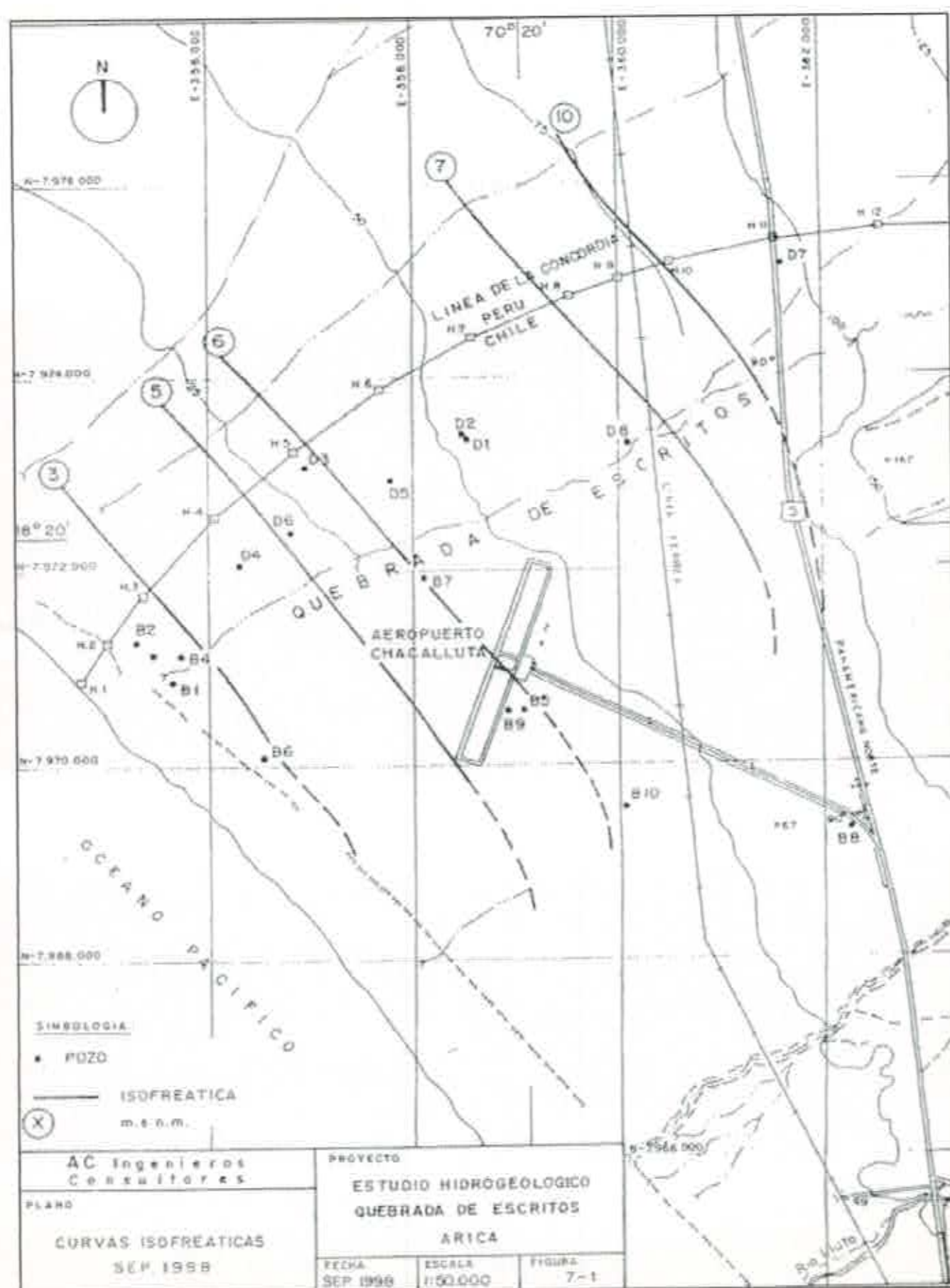


Tabla 1.3-2 Niveles Estáticos en Sondajes. Agosto 1998.

| 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 D4 | 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                 |

Las cotas anteriores, son muy similares a las presentadas en un esquema anterior existente, que probablemente fue realizado entre 1965 y 1966. es decir hace más de 30 años, lo que resulta razonable considerando que la extracción histórica de aguas subterráneas en el área ha sido mínima, y por lo tanto los niveles freáticos prácticamente corresponden a la condición natural de la cuenca.

Adicionalmente, con el objeto de determinar la ocurrencia de variaciones estacionales de los niveles, se comparó los niveles medidos por la Dirección General de Aguas en algunos de los sondajes del área de estudio, para el período comprendido entre mayo y diciembre de 1997, los que se presentan en la Tabla 1.3-3. De acuerdo a dicha información, durante el período analizado no se produjeron variaciones de niveles en ninguno de los sondajes en que se realizaron mediciones, lo que muestra que el flujo subterráneo de recarga en el área se mantiene constante durante todo el año.

Con el objeto de conocer el comportamiento de los nivel freáticos, de los pozos señalados en la Tabla 1.3-2 durante el periodo 1999-2003, se revisaron los registros del Banco Nacional de Aguas (BNA), ver Grafico 1.3-1, constatándose que los niveles freáticos se han mantenido estables durante los últimos 40 años.

Tabla 1.3-3 Niveles estáticos en sondajes, Quebrada de Escritos. Mayo a Diciembre 1997

| Pozo         | MES      |           |            |         |         |         |         |
|--------------|----------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|
|              | Mayo '97 | Julio '97 | Agosto '97 | Sep '97 | Oct '97 | Nov '97 | Dic '97 |
| 1810-7020 D2 | 46,60 m  | 46,65 m   | 46,65 m    | 46,46 m | 46,61 m | 46,61 m | 46,56 m |
| 1810-7020 D3 | 31,61 m  | 31,60 m   | 31,60 m    | 31,62 m | 31,61 m | 31,61 m | 31,59 m |
| 1810-7020 D4 | 23,75 m  | 23,71 m   | 23,67 m    | 23,69 m | 23,68 m | 23,68 m | 23,64 m |
| 1810-7020 B1 | 13,07 m  | 13,09 m   | 13,11 m    | 13,15 m | 13,13 m | 13,15 m | 13,11 m |
| 1810-7020 B2 | 14,29 m  | 14,31 m   | 14,29 m    | 14,34 m | 14,33 m | 14,34 m | 14,29 m |
| 1810-7020 B3 | 14,38 m  | 14,38 m   | 14,42 m    | 14,43 m | 14,42 m | 14,43 m | 14,41 m |
| 1810-7020 B4 | 13,67 m  | 13,69 m   | 13,70 m    | 13,43 m | 13,71 m | 13,73 m | 13,69 m |

Respecto a los gradientes hidráulicos, con la información de niveles señalada y la ubicación de los sondajes, se estimó el gradiente hidráulico de la napa en el sector de aguas arriba del área de estudio, no influida directamente por la condición de borde de nivel que representa el mar; dicho gradiente resulta ser relativamente pequeño, del orden de 2,6 %.

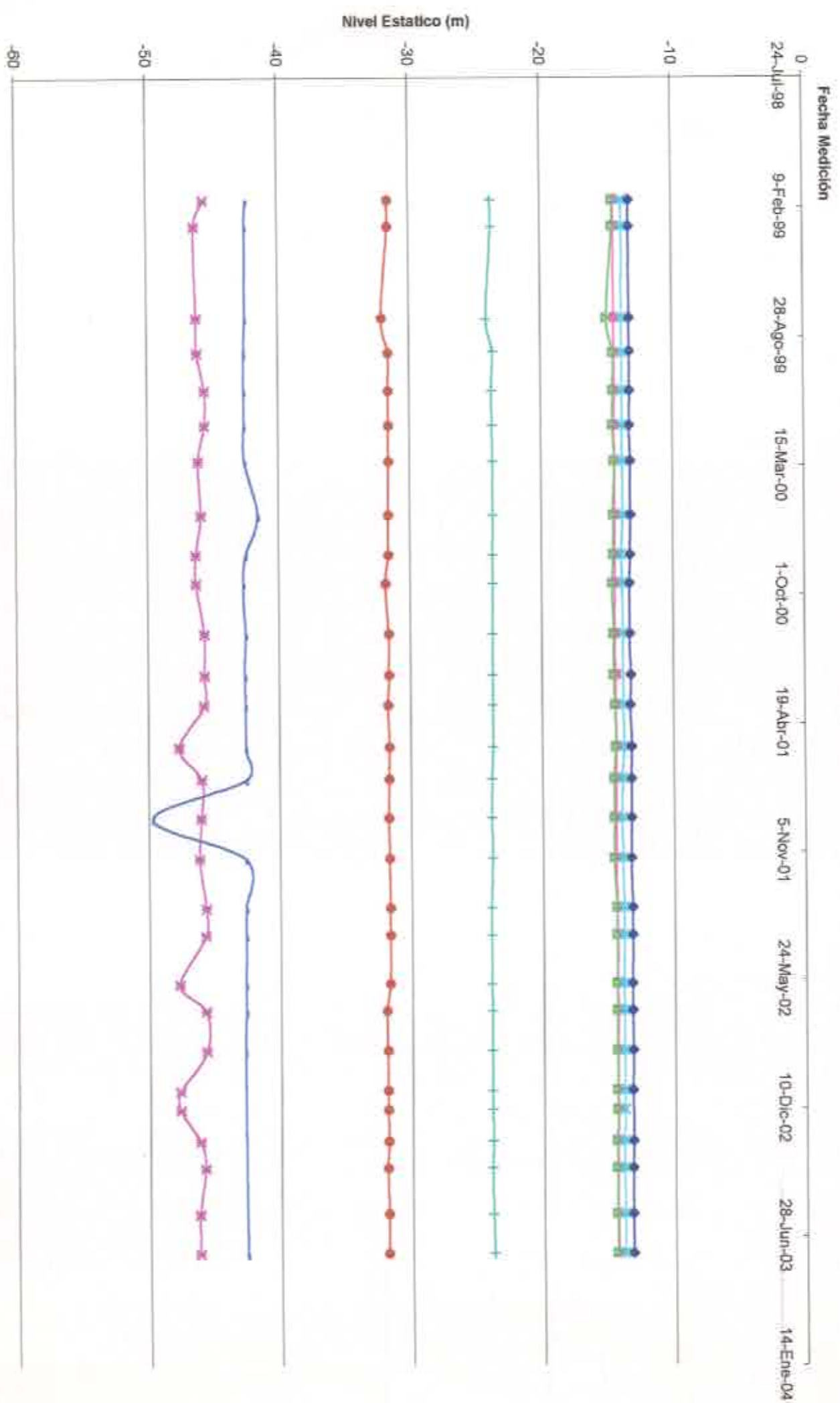
A partir de los antecedentes anteriores, se estimó el flujo subterráneo propio de la napa subterránea en una sección ubicada en el borde de aguas arriba del área de estudio. Considerando una transmisibilidad media de  $350 \text{ m}^2/\text{día}$ , un gradiente de 2,6 % y un ancho de la sección aportante de 5.000 m, resulta que el flujo subterráneo es de

$$\text{Flujo subterráneo} = T \times i \times B = 350 \times 0,0026 \times 5.000$$

$$\text{Flujo subterráneo} = 52 \text{ lt/s}$$



GRAFICO 1.3-1 NIVELES ESTATICOS POZOS DE LA QUEBRADA DE ESCRITOS (CONCORDIA) PERIODO 1999-2003



## 1.4 *Calidad de las Aguas Subterráneas*

Respecto de la calidad de las aguas subterráneas, se analizó la situación en el área de estudio a partir de la información disponible, consistente en análisis químico de muestras extraídas desde 12 de los sondeos del área, las que fueron obtenidas entre 1959 y 1996, suponiéndose, para fines del análisis, que la calidad de las aguas durante dicho período no ha sufrido variaciones significativas, pudiendo por tanto realizarse un análisis del conjunto de los datos existentes.

La información anterior, que se presenta en la Tabla 1.3- 4, muestra que en general en toda el área de estudio el contenido de Cloruros y el Total de Sólidos Disueltos es relativamente alto. Espacialmente, ambos contenidos presentan un comportamiento similar, en que los valores muestreados disminuyen a mayores distancias de la costa, y disminuyen desde el sur hacia el norte. Lo anterior se debería por una parte al efecto de intrusión de agua de mar, en los pozos costeros y a que los rellenos ubicados más hacia el sur del sector estudiado reciben recargas provenientes de la cuenca del río Lluta, caracterizadas por su alto contenido salino, mientras que hacia el norte dicho efecto decrece, ya que el agua subterránea proviene de la Cuenca de Escritos y de aquellas cuencas costeras que drenan hacia la costa en el sur del Perú.

Desde el punto de vista de su calidad para agua potable, tanto las aguas de los pozos ubicados a menos de 1000 m de la costa, como aquellos ubicados al sur de la coordenada UTM N 7.971.000, presentan contenidos de sólidos disueltos totales por sobre 1.000 mg/lt, es decir exceden el límite establecido por la norma chilena para agua potable, NCh 409. Similar comportamiento presenta el contenido de cloruros, que en la misma área indicada presenta valores por sobre 250 mg/lt. que constituye el límite establecido por la norma NCh 409.

Con relación a los otros parámetros analizados en las muestras indicadas, aunque algunos de ellos presentan valores en el rango medio a alto, como es el caso de los contenidos de  $\text{SO}_4$ , Na y Mg, ninguno de ellos excede los límites admisibles en ninguno de los pozos.

TABLA 1.3-4

CALIDADDE AGUA DE SONDAJES SECTOR QUEBRADA DE ESCRITOS (CONCORDIA)

| N° POZO         | COORDENADAS UTM(1) |        | UBICACIÓN         | FECHA      | Concentración (mg/lit) |      |      |      |       |      |       |       |       |       | Dureza |       |
|-----------------|--------------------|--------|-------------------|------------|------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                 | NORTE              | ESTE   |                   |            | TSD                    | SiO2 | Ca   | Mg   | Na    | K    | HCO3  | SO4   | Cl    | NO3   | TOTAL  | No Ca |
| 1 1810-7020 D7  | 7975013            | 361340 | EX-COMP.FRONT     | 20/06/1963 | 625                    | 61   | 38   | 4,4  | 152   | 14   | 63    | 94    | 211   | 6,60  | 112    |       |
| 2 1810-7020 B1  | 7970860            | 355616 | CONCORDIA         | 25/10/1963 | 1.020                  | 70   | 153  | 14   | 158   | 10   | 68    | 115   | 435   | 6,60  | 400    |       |
| 3 1810-7020 B1  | 7970860            | 355616 | CONCORDIA         | 04/03/1959 | 899                    | 40,8 | 98,8 | 8,8  | 192,5 | 14,4 |       | 173,2 | 300,7 | 16,60 | 282,3  |       |
| 4 1810-7020 B2  | 7971387            | 355293 | CONCORDIA         | 26/11/1960 | 696                    | 77   | 87   | 15   | 97    | 12   | 92    | 168   | 170   | 10,00 | 281    |       |
| 5 1810-7020 B3  | 7971125            | 355700 | CONCORDIA         | 23/05/1961 | 650                    | 79   | 100  | 5    | 84    | 10   | 88    | 165   | 151   | 2,80  | 270    |       |
| 6 1810-7020 B5  | 7970489            | 359005 | CONCORDIA         | 15/01/1960 | 1.080                  | 53   | 54,5 | 44,9 | 282,4 | 14,6 | 64,1  | 110,9 | 430,1 | 3,50  | 154,8  | 1     |
| 7 1810-7020 B6  | 7970050            | 356500 | AEROP. CHACALLUTA | 04/03/1964 | 2.425                  | 71   | 279  | 5,2  | 358   | 41   | 123   | 648   | 660   | 2,50  | 909    |       |
| 8 1810-7020 B7  | 7971900            | 368150 |                   | 07/08/1964 | 600                    | 45   | 70,5 | 9    | 107   | 7    | 195,6 | 172,6 | 71,2  | 14,60 | 213,2  |       |
| 9 1810-7020 B10 | 7970050            | 360175 |                   | 29/05/1992 | 1.800                  |      | 132  | 32   |       |      |       | 476   | 538   | 4,50  | 460    |       |
| 10 1810-7020 D1 | 7973367            | 358490 | ZOFRI             | 03/03/1961 | 602                    | 70   | 49   | 5    | 132   | 11   |       | 62    | 218   | 11,00 | 144    |       |
| 11 1810-7020 D1 | 7973367            | 358490 | CONCORDIA         | 14/03/1963 | 582                    | 53   | 50   | 4,9  | 130   | 9,2  | 74    |       | 211   | 14,00 | 144    |       |
| 12 1810-7020 D8 | 7973597            | 360354 | CONCORDIA         | 25/06/1996 | 485                    |      | 23,2 | 2,9  |       |      |       | 96,1  | 170,7 |       | 68     |       |

NOTAS

Usos: SU= Sin Uso; I=Industrial; R= Riego; P=Potable



## **1.5 Derechos de Agua y Uso de las Aguas Subterráneas**

La gran mayoría de los sondeos existentes en el área de estudio se encuentran sin uso, lo que en algunos casos se debe a que las aguas alumbradas presentaron un alto contenido salino, y en otros a que los pozos no fueron utilizados.

Desde el punto de vista de los derechos de agua, el área de estudio constituye un caso especial, ya que previamente al análisis de la solicitud que debe realizar la Dirección General de Aguas, se requiere la autorización de la Dirección de Fronteras y Límites, Difrol.

En el caso del pozo 1810-7020 D1, existe una solicitud de regularización enviada a los tribunales con fecha 13/12/94, por 8 lt/s, de la cual no se conoce el resultado.

Respecto de la actual explotación de aguas subterráneas en la Quebrada de Escritos, actualmente existen tres sondeos que utilizan dichos recursos.

Los caudales estimados para dichos pozos son de 3 lt/s en el sondeo 1820-7020 B8, utilizado por los Carabineros de Chacalluta que no posee derechos constituidos ni solicitados, 5,5 lt/s solicitados en el sondeo 1810-7020 D7, ubicado dentro del recinto del nuevo complejo fronterizo en construcción solicitud que fue denegada el 30/06/99, y 8 lt/s en el sondeo 1810-7020 D1 que abastece el aeropuerto de Chacalluta, los que fueron objeto de una solicitud de regularización enviada a los tribunales con fecha 13/12/94, de la cual no se conoce el resultado, la suma de estos caudales equivale en total a un caudal permanente de 16,5 lt/s. No se consideró el caso del pozo 1820-7020 B 10, ya que como se indicó se encuentra ubicado fuera de la cuenca estudiada.

## **1.6 Proposición de Nuevas Fuentes**

A partir de los antecedentes anteriores, especialmente de la ubicación de los sondeos existentes, los antecedentes de calidad de aguas, y la estimación de los recursos disponibles, se determinó la ubicación recomendada para el desarrollo de nuevas fuentes de aguas subterráneas.

En dicho análisis, se desechó la posibilidad de extraer aguas directamente de los sondeos perforados por Corfo y que actualmente se encuentran sin uso, ya que dichos sondeos fueron perforados hace casi 40 años, y el alto contenido salino de las aguas probablemente ha deteriorado dichos pozos.

Los tres sondajes propuestos, cuya ubicación se presenta en la Figura 1.5-1, emplazados de manera de no interferir con los sondajes existentes, de ubicarse dentro de las áreas con aguas de mejor calidad, y de ubicarse aguas arriba de los sondajes actualmente en explotación. Dichos pozos, numerados como AP-1 , AP-2 y AP-3, deberían ser priorizados respecto de su construcción en el mismo orden de su numeración, en caso de decidirse no perforar todos simultáneamente. En la Tabla 1.5-1 se indica las coordenadas U.T.M. de cada uno de los sondajes propuestos.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1  
Coordenadas U.T.M. de los sondajes propuestos

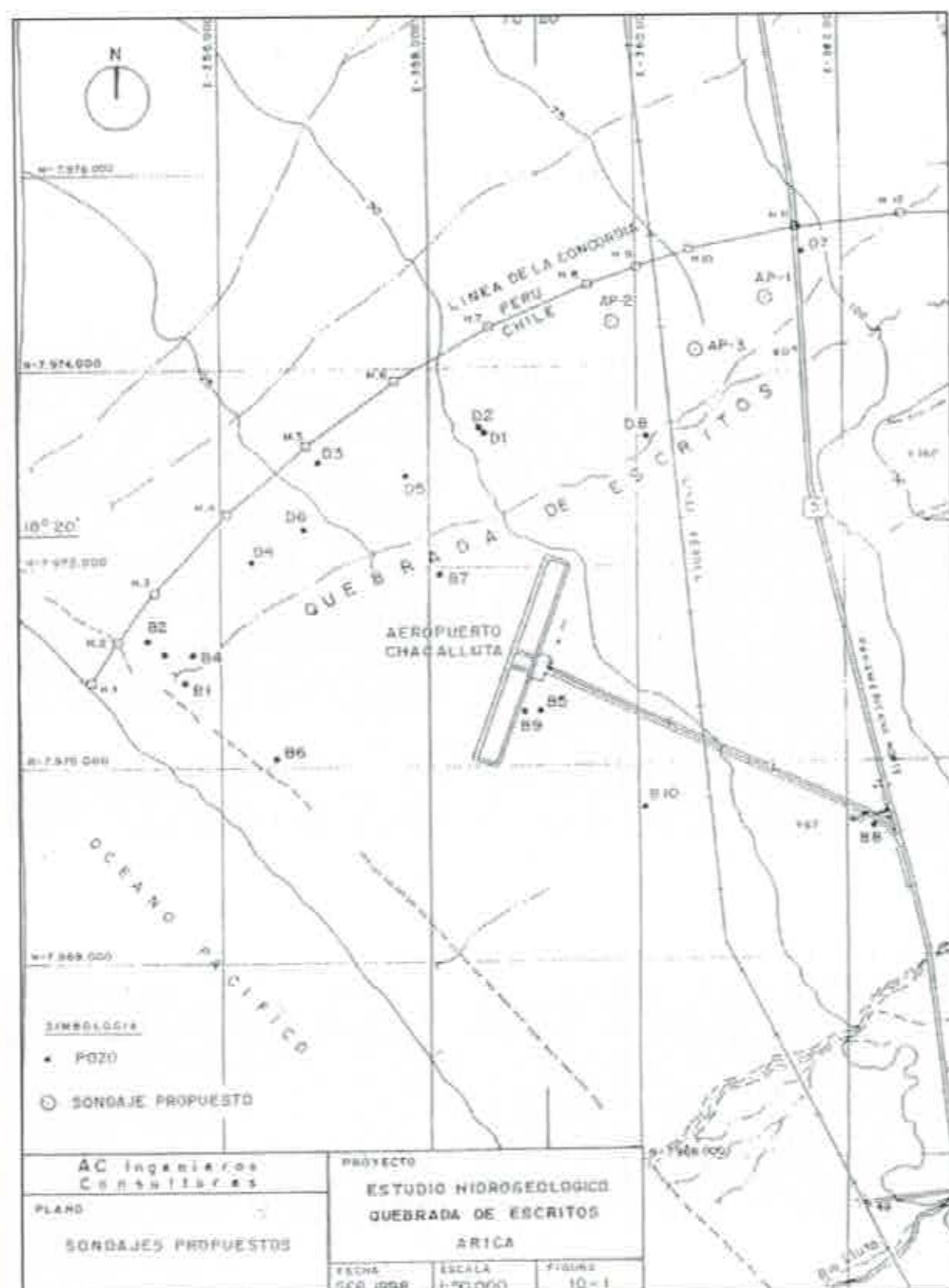
| Pozo | Coordenadas UTM |         |
|------|-----------------|---------|
|      | Norte           | Este    |
| AP-1 | 7.974.650       | 361.250 |
| AP-2 | 7.974.430       | 359.760 |
| AP-3 | 7.974.150       | 360.560 |

Se estima que cada uno de los sondajes ubicados en dichos puntos con una profundidad habilitada de unos 150 m, y un diámetro de la habilitación de 14" produciría un caudal de unos 15 lt/s, con un nivel estático a unos 65 m de profundidad y un nivel dinámico a unos 100 m. Respecto del rendimiento esperado del conjunto de pozos, considerando el flujo propio de la napa, estimado en unos 52 lt/s, y las actuales extracciones, se estima que el máximo caudal factible de explotar por el sistema de sondajes se ubicaría en tomo a los 30 lt/s.

Una condicionante importante de la factibilidad de explotar dichos recursos, la constituye la forma en que se resuelvan las actuales solicitudes de derechos de aprovechamiento en trámite en la Dirección General de Aguas y la Dirección de Fronteras y Límites.

Debido a la ubicación de los sondajes, en una zona fronteriza en que no es posible explorar los recursos de la cuenca ubicados dentro del Perú, ya que los niveles deprimidos se ubicarán por debajo del nivel del mar, se estima que la extracción desde los sondajes deberá realizarse bajo condiciones de permanente monitoreo de la calidad de las aguas, de manera de asegurar que su actual calidad se mantenga en el tiempo.

FIGURA 1.5-1 UBICACIÓN SONDAJES PROPUESTOS





## 1.7 *Resumen y Conclusiones*

A continuación se presenta un resumen del estudio realizado por Ayala y Cabrera en 1998 y de los actuales antecedentes que posee este Servicio.

La Quebrada de Escritos corresponde a una cuenca de algo más de 400 km<sup>2</sup> de superficie, ubicada en la zona limítrofe entre Perú y Chile. Casi el 80% de la superficie de la cuenca, que corresponde a la zona alta de la misma, se ubica dentro de territorio peruano, mientras que el sector bajo, hasta el océano Pacífico, se encuentra dentro de Chile.

Geológicamente, la cuenca se encuentra limitada por afloramientos de la formación Oxaya, mientras que los rellenos corresponden a sedimentos marinos del tipo conglomerado de areniscas, y gravas, arenas, limos y ceniza volcánica de origen continental aluvional.

En el área de estudio, existen 17 pozos y una noria; de dicho total 4 se encuentran en uso para agua potable, riego y uso industrial, mientras que el resto se encuentra sin uso prácticamente desde la fecha de su construcción.

Respecto de las formaciones acuíferas existentes, el espesor de los rellenos se ha estimado en alrededor de 400 m. los que se componen muy principalmente de arenas de distinto tamaño, especialmente fina a media, con intercalaciones de estratos de diferente tipo. Los estratos que albergan acuíferos de alguna importancia han sido identificados a profundidades entre 60 y 140 m, y consisten en estratos de pequeños espesores, compuestos de arena y grava con ripio, el espesor total del relleno en que se ubicarían dichos estratos no excedería los 40 m.

Las transmisibilidades de los estratos acuíferos, de acuerdo a la interpretación de las pruebas de bombeo disponibles, varían en el rango de 100 a 500 m<sup>2</sup>/día.

En cuanto a la profundidad de los niveles estáticos, los valores medidos varían entre unos 10 y unos 85 m. Considerando la cota de terreno estimada para los pozos, dichos niveles se ubican a cotas entre 2,3 y 12,9 m.s.n.m. Las líneas isofreáticas resultan aproximadamente paralelas a la costa, con un gradiente de 2,6 por mil. De acuerdo a la información disponible, dichos niveles se han mantenido constantes durante al menos 40 años, y tampoco no sufren variaciones estacionales.

Sin embargo, al tratarse de un acuífero costero y considerando el efecto de la intrusión salina, él que puede ayudar a mantener los niveles estáticos, pero que en definitiva podría ocultar el avance de la intrusión, un aspecto tan o más importante que el monitoreo de los niveles estáticos de los pozos en comento,

lo constituye la calidad del agua del acuífero. Debido a que a través del análisis de la calidad del agua de los pozos, la estratigrafía y conociendo el tipo de habilitación, podríamos determinar y monitorear el nivel y avance de la intrusión salina.

Al respecto se recomienda realizar perfiles de conductividad en los pozos, nuevas pruebas de bombeo y de recuperación, verificar el tipo de habilitación de los pozos, verificar la conductividad del agua extraída durante las pruebas de bombeo y de recuperación antes propuestas, por último se recomienda realizar una modelación del acuífero con el propósito de conocer su comportamiento actual y su respuesta ante distintos escenarios de extracción.

Con los antecedentes disponibles a la fecha, el flujo propio de la cuenca en el sector estudiado se estimó en unos 52 lt/s.

Respecto a la calidad de las aguas subterráneas, la información disponible muestra que la salinidad de las mismas aumenta considerablemente hacia el sur del área de estudio, probablemente debido al efecto de las aguas provenientes del valle del río Lluta. Al sur de la coordenada U.T.M. 7.971.000, la concentración de sólidos disueltos totales supera el valor máximo establecido por la Norma Chilena para agua potable, de 1.000 mg / lt. Similar situación se verifica respecto del contenido de cloruros de las aguas. Del mismo modo, la calidad de las aguas es mala en los sondeos más cercanos al mar.

Hacia el norte, aún cuando la salinidad es relativamente alta, del orden de 600 mg/lt de TSD, las muestras cumplen con la norma de agua potable respecto de todos los parámetros.

En cuanto a derechos de agua, el área de estudio constituye una situación especial, ya que las solicitudes de derechos de aprovechamiento requieren de la aprobación previa de Difrol. Actualmente, en el área existe un solo sondeo con derechos de agua, que en todo caso se encuentra fuera de la cuenca de la Quebrada de Escritos.

En cuanto al uso de las aguas, existen 3 pozos que actualmente explotan de hecho aguas subterráneas en el sector de la quebrada de Escritos. El total explotado, considerando los antecedentes que posee este Servicio equivale a un caudal de 16,5 lt/s.

A partir de los antecedentes anteriores, se determinó la ubicación recomendada para el desarrollo de nuevas fuentes de aguas subterráneas desechándose la posibilidad de extraer aguas desde los sondeos perforados y sin uso, ya que los mismos fueron perforados hace casi 40 años, y el alto contenido salino de las aguas debe haber deteriorado dichos pozos.



Los tres sondajes propuestos, se ubican dentro del sector de aguas de mejor calidad en el área. Se estima que cada uno de ellos, operando independientemente, con una profundidad habilitada de 150 m. produciría un caudal de unos 15 lt/s, con un nivel estático a unos 65 m de profundidad y un nivel dinámico a unos 100 m.

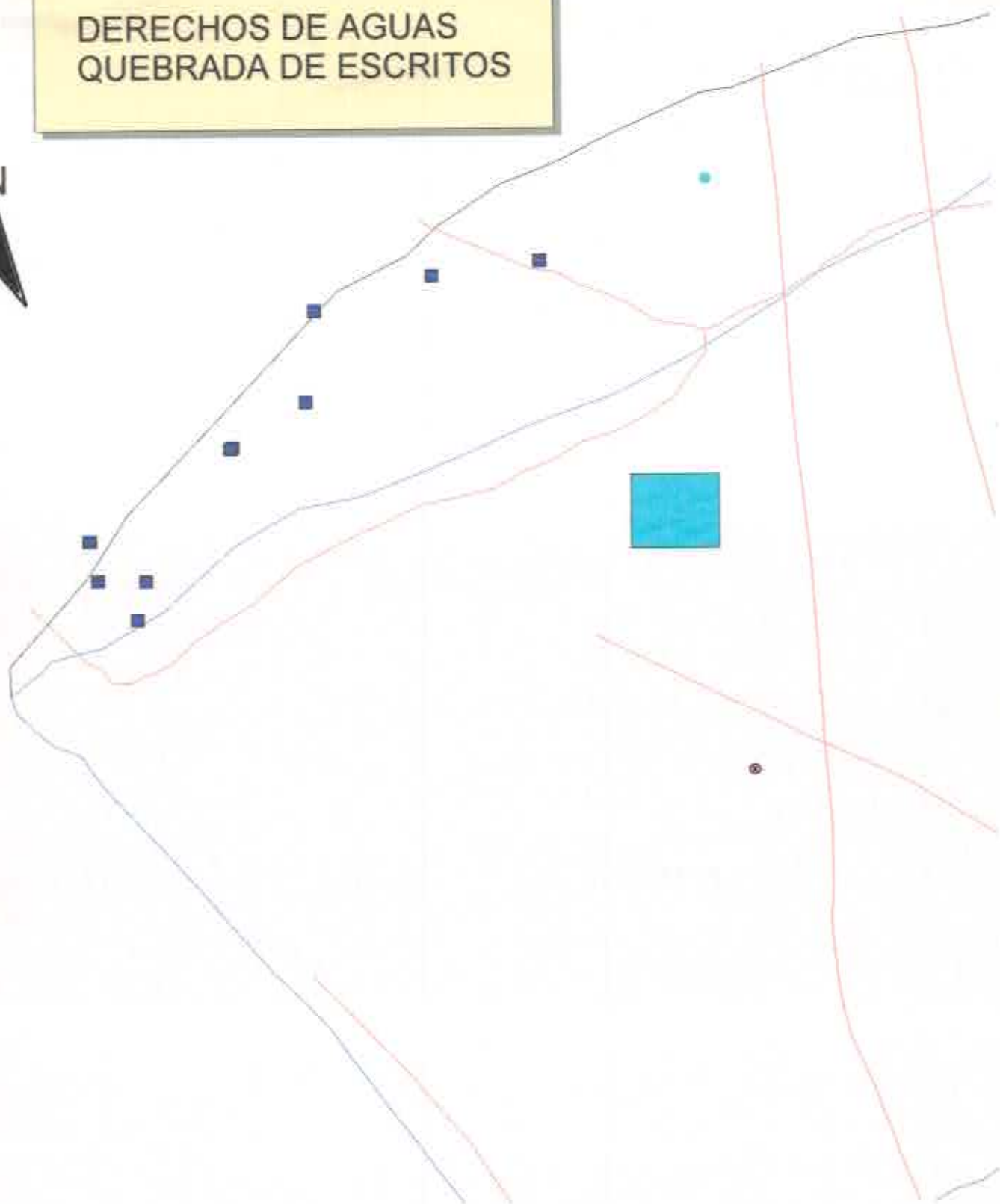
Respecto del rendimiento esperado del conjunto de pozos, dadas las estimaciones de flujo propio de la napa, y las actuales extracciones existentes, se estima que el máximo caudal factible de explotar por el sistema de sondajes se ubicaría en tomo a los 30 lt/s.

Una condicionante importante a la factibilidad de explotar dichos recursos la constituye la forma en que se resuelvan las actuales solicitudes de derechos de aprovechamiento en trámite en la Dirección General de Aguas.

Dada la ubicación de los sondajes, en una zona fronteriza en que no es posible explorar los recursos de la cuenca ubicados dentro del Perú, y a que los niveles deprimidos se ubicarán por debajo del nivel del mar, se estima que la extracción desde los sondajes deberá realizarse bajo condiciones de permanente monitoreo de la calidad de las aguas.

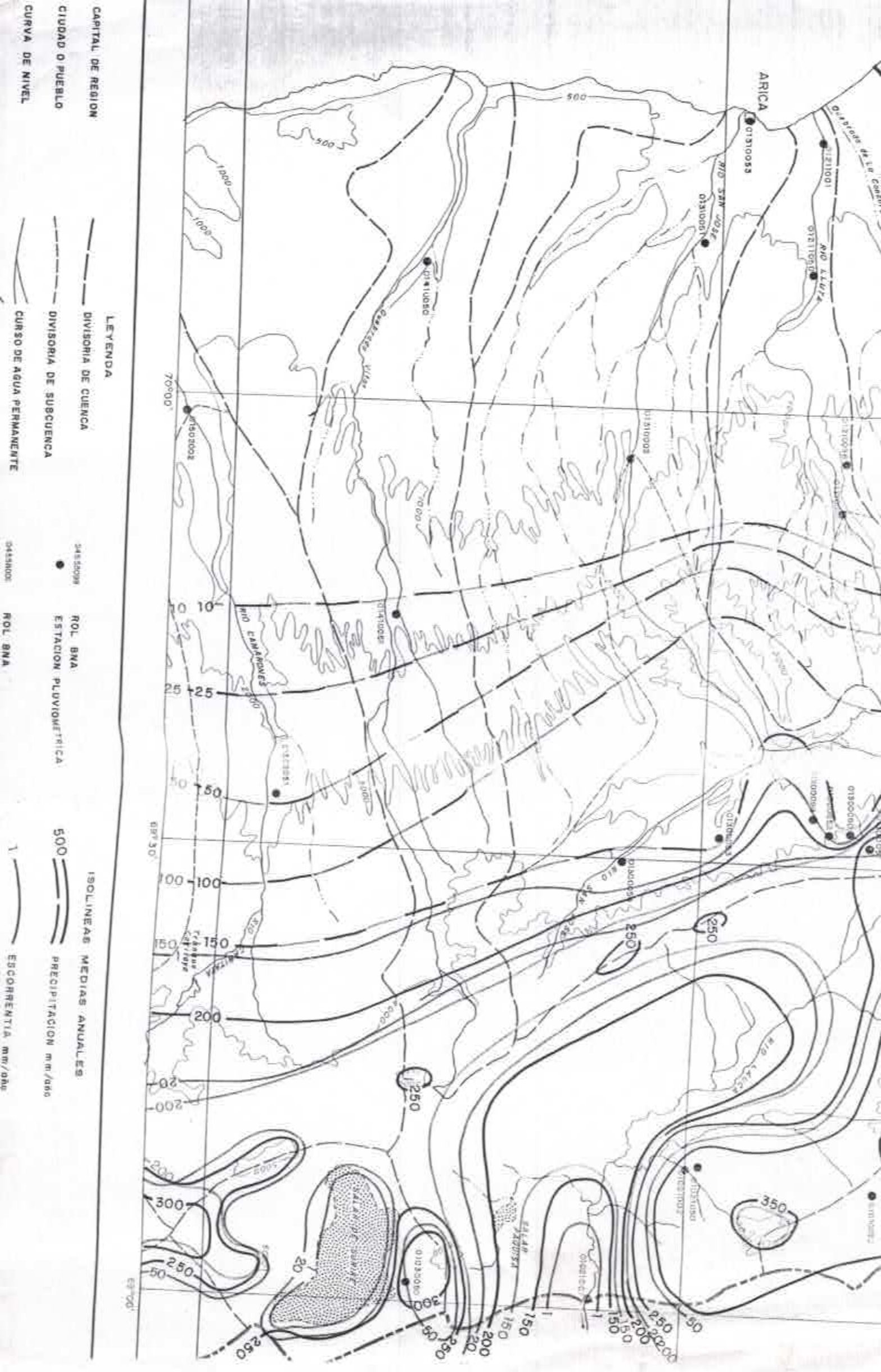


# DERECHOS DE AGUAS QUEBRADA DE ESCRITOS



1000 0 1000 2000 Meters

- Finalescritos.dbf
- CONSTITUIDO
  - RESERVA
  - SENTENCIA
  - TRAMITE DAR
  - TRIBUNAL
  - Caminos





del contenido de cloruros de las aguas. Del mismo modo, la calidad de las aguas es mala en los sondeos más cercanos al mar.

- Hacia el norte, aún cuando la salinidad es relativamente alta, del orden de 600 mg/lit de TSD, las muestras cumplen con la norma de agua potable respecto de todos los parámetros.
- En cuanto a derechos de agua, el área de estudio constituye una situación especial, ya que las solicitudes de derechos de aprovechamiento requieren de la aprobación previa de Difrol. Actualmente, en el área existe un solo sondeo con derechos de agua, que en todo caso se encuentra fuera de la cuenca de la Quebrada de Escritos, existiendo además solicitudes pendientes respecto de otros sondeos, por un total de 18 lit/seg.
- En cuanto al uso de las aguas, existen cuatro pozos que actualmente explotan aguas subterráneas. El total explotado equivale a un caudal constante de 9 lit/s.
- A partir de los antecedentes anteriores, se determinó la ubicación recomendada para el desarrollo de nuevas fuentes de aguas subterráneas, desechándose la posibilidad de extraer aguas desde los sondeos perforados y sin uso, ya que los mismos fueron perforados hace casi 40 años, y el alto contenido salino de las aguas debe haber deteriorado dichos pozos.
- Los tres sondeos propuestos, se ubican dentro del sector de aguas de mejor calidad en el área. Se estima que cada uno de ellos, operando independientemente, con una profundidad habilitada de 150 m, produciría un caudal de unos 15 lit/s, con un nivel estático a unos 65 m de profundidad y un nivel dinámico a unos 100 m.
- Respecto del rendimiento esperado del conjunto de pozos, dadas las estimaciones de flujo propio de la napa, y las actuales extracciones existentes, se estima que el máximo caudal factible de explotar por el sistema de sondeos se ubicaría en torno a los 30 a 35 lit/s.
- Una condicionante importante a la factibilidad de explotar dichos recursos la constituye la forma en que se resuelvan las actuales solicitudes de derechos de aprovechamiento en trámite en la Dirección General de Aguas.
- Dada la ubicación de los sondeos, en una zona fronteriza en que no es posible explorar los recursos de la cuenca ubicados dentro del Perú, y a que los niveles deprimidos se ubicarán por debajo del nivel del mar, se estima que la extracción desde los sondeos deberá realizarse bajo condiciones de permanente monitoreo de la calidad de las aguas.