

**PROVINCIA DE RÍO NEGRO
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO
DEL ÁREA LIPETRÉN**

INFORME FINAL

**Dr. MIGUEL AUGE
GEÓLOGO**

AGOSTO 2006

TEMAS

| | |
|--|-----------|
| 1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 3. OBJETIVOS | 4 |
| 4. METODOLOGÍA | 5 |
| 4.1. Recopilación y valoración de antecedentes | 5 |
| 4.2. Relevamiento de campo | 5 |
| 4.3. Ensayos de bombeo | 6 |
| 4.4. Descripción de testigos | 7 |
| 5. UBICACIÓN | 7 |
| 6. GEOLOGÍA | 8 |
| 6.1. Regional | 8 |
| 6.1.1. Estratigrafía | 8 |
| 6.1.2. Estructura | 9 |
| 6.2. Local | 10 |
| 7. CLIMA | 11 |
| 7.1. Estación Bariloche Aero | 12 |
| 7.1.1. Precipitación (1976/05) | 12 |
| 7.1.2. Temperatura (1976/05) | 13 |
| 7.1.3. Clasificación climática | 13 |
| 7.2. Estación Maquinchao | 13 |
| 7.2.1. Precipitación (1976/05) | 14 |
| 7.2.2. Temperatura (1976/05) | 14 |
| 7.2.3. Clasificación climática | 14 |
| 7.3. Estación San Antonio Oeste Aero | 15 |
| 7.3.1. Precipitación (1976/05) | 15 |
| 7.3.2. Temperatura (1976/05) | 15 |
| 7.3.3. Clasificación climática | 15 |
| 7.4. Utilidad | 15 |
| 8. GEOMORFOLOGÍA | 16 |
| 8.1. Ambiente elevado | 17 |
| 8.2. Ambiente deprimido | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 8.3. Ambiente intermedio | 18 |
| 9. EDAFOLOGÍA | 19 |
| 10. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL | 20 |
| 10.1. Caudal | 21 |
| 10.2. Calidad | 21 |
| 11. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA | 22 |
| 11.1. Generalidades | 22 |
| 11.2. Comportamiento hidráulico | 23 |
| 11.2.1. Depósitos modernos | 23 |
| 11.2.2. Rocas antiguas | 24 |
| 11.3. Ensayos de bombeo | 27 |
| 11.3.1. Generalidades | 27 |
| 11.3.2. Ejecución | 28 |
| 11.3.3. Interpretación | 29 |
| 11.3.3.1. Ensayo # 1 | 29 |
| a) Bombeo | 29 |
| Pozo de bombeo PB20 (equivale a PW-20) | 29 |
| Pozo de observación PO3 (equivale a GWP-3) | 30 |
| Pozo de observación PO21A (equivale a GWP-21A) | 31 |
| Pozo de observación PO21B (equivale a GWP-21B) | 31 |
| Pozo de observación PO22A (equivale a GWP-22A) | 32 |
| Pozo de observación PO22B (equivale a GWP-22B) | 33 |
| b) Recuperación | 33 |
| 11.3.3.2. Ensayo # 2 | 35 |
| 11.3.3.3. Ensayo # 3 | 36 |
| a) Bombeo | 36 |
| 11.3.3.4. Ensayo # 4 | 38 |
| a) Bombeo | 38 |
| Pozo de observación PO26A (equivale a GWP-26A) | 38 |
| Pozo de observación PO26B (equivale a GWP-26B) | 39 |
| Pozo de observación PO26C (equivale a GWP-26C) | 40 |
| Pozo de observación PO15A (equivale a GWP-15A) | 41 |
| b) Recuperación | 42 |

| | |
|--|----|
| 11.3.3.5. Ensayo # 5 | 45 |
| 11.3.3.6. Ensayo # 6 | 45 |
| a) Bombeo | 45 |
| Pozo de bombeo PB23 (equivale a PW-23) | 45 |
| Pozo de observación PO24A (equivale a GWP-24A) | 46 |
| Pozo de observación PO14 (equivale a GWP-14) | 47 |
| Pozo de observación PO24B (equivale a GWP-24B) | 47 |
| b) Recuperación | 48 |
| 11.4. Hidrodinámica | 49 |
| 11.4.1. Lateral | 49 |
| 11.4.2. Vertical | 52 |
| 11.5. Hidroquímica | 53 |
| 11.6. Calidad | 55 |
| 12. BALANCE HÍDRICO | 56 |
| 12.1. Edáfico | 57 |
| 12.2. Global | 58 |
| 12.3. Subterráneo | 59 |
| 13. RESULTADOS | 59 |
| 14. AGRADECIMIENTO | 60 |
| 15. BIBLIOGRAFÍA | 61 |

ANEXO I

MAPAS

| | |
|---|--|
| 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA REGIONAL | |
| 2. MACIZO DE SOMÚN CURÁ | |
| 3. GEOLÓGICO REGIONAL DE LIPETRÉN | |
| 4. GEOLÓGICO LOCAL DE CALCATREU | |
| 5. TOPOGRÁFICO REGIONAL DE LIPETRÉN | |
| 6. AEROFOTOGRAFICO LOCAL DE CALCATREU | |
| 7. TOPOGRÁFICO REGIONAL DE Ing. JACOBACCI | |
| 8. UBICACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO | |
| 9. RED DE FLUJO SUBTERRÁNEO | |

-
10. UBICACIÓN DE POZOS MUESTREADOS
 11. UBICACIÓN DE AGUADAS MUESTREADAS
-

ANEXO II

FIGURAS

1. BARILOCHE AERO PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y ETP
MEDIAS MENSUALES (1976-2005)
 2. CLIMATOGRAMA DE KNOCHE – BARILOCHE AERO
 3. MAQUINCHAO PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y ETP
MEDIAS MENSUALES (1976-2005)
 4. CLIMATOGRAMA DE KNOCHE – MAQUINCHAO
 5. MAQUINCHAO VIENTO (1981 – 1990)
 6. SAN ANTONIO OESTE AERO PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y
ETP MEDIAS MENSUALES (1976-2005)
 7. CLIMATOGRAMA DE KNOCHE – SAN ANTONIO OESTE AERO
 - 7.a. SITUACIÓN HÍDRICA MAQUINCHAO (PENMAN 1976/05)
 - 7.b. SITUACIÓN HÍDRICA MAQUINCHAO (THORNTHWAITE 1976/05)
 - 7.c. SITUACIÓN HÍDRICA BARILOCHE (PENMAN 1976/05)
 - 7.d. SITUACIÓN HÍDRICA SAN ANTONIO OESTE AERO (PENMAN
1976/05)
 8. ENSAYO DE BOMBEO # 1 (DEPRESIÓN)
Pozo de Bombeo PB20
 9. SECCIONES PRODUCTIVAS
 10. PERFIL DEL POZO GWP-01
 11. PERFIL DEL POZO GWP-02
 12. PERFIL DEL POZO GWP-03B
 13. PERFIL DEL POZO GWP-04
 14. PERFIL DEL POZO GWP-05
 15. PERFIL DEL POZO GWP-06
 16. PERFIL DEL POZO GWP-07
 17. PERFIL DEL POZO GWP-08
 18. PERFIL DEL POZO GWP-09
 19. PERFIL DEL POZO GWP-10
-

20. **PERFIL DEL POZO GWP-12**
21. **PERFIL DEL POZO GWP-13**
22. **PERFIL DEL POZO GWP-14**
23. **PERFIL DEL POZO GWP-15**
24. **PERFIL DEL POZO GWP-16**
25. **PERFIL DEL POZO GWP-17**
26. **PERFIL DEL POZO GWP-26**
27. **PERFIL DEL POZO GWP-21**
28. **PERFIL DEL POZO GWP-22**
29. **PERFIL DEL POZO GWP-24**
30. **PERFIL DEL POZO GWP-25**
31. **PERFIL DEL POZO GWP-26**
32. **PERFIL DEL POZO PW-19**
33. **PERFIL DEL POZO PW-20**
34. **PERFIL DEL POZO PW-23**
35. **PERFIL DEL POZO PW-27**
36. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO3
37. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO3
38. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO21A
39. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO21A
40. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO21B
41. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO22A
42. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO22A
43. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO22B
44. **ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS (DEPRESIÓN)**
Pozo de Observación PO22B

-
45. ENSAYO DE BOMBEO # 1 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozos de Observación PO3-PO21A-PO21B-PO22A-PO22B
-
46. ENSAYO DE BOMBEO # 1 (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB20
-
47. ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB20
-
48. ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO3
-
49. ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO21A
-
50. ENSAYO DE BOMBEO # 1 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO22A
-
51. ENSAYO DE BOMBEO # 3 (Q VARIABLE)
Pozo de Bombeo PB19
-
52. ENSAYO DE BOMBEO # 3 (Q CONSTANTE)
Pozo de Bombeo PB19
-
53. ENSAYO DE BOMBEO # 3 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO7
-
54. ENSAYO DE BOMBEO # 3 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO7
-
55. ENSAYO DE BOMBEO # 4 (DEPRESIÓN)
Pozo de Bombeo PB27
-
56. ENSAYO DE BOMBEO # 4 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26A
-
57. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26A
-
58. ENSAYO DE BOMBEO # 4 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26B
-
59. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26B
-
60. ENSAYO DE BOMBEO # 4 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26C
-
61. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO26C
-

-
62. ENSAYO DE BOMBEO # 4 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO15A
-
63. ENSAYO DE BOMBEO # 4 (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB27
-
64. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB27
-
65. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO26A
-
66. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO26B
-
67. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO26C
-
68. ENSAYO DE BOMBEO # 4 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO15A
-
69. ENSAYO DE BOMBEO # 6 (DEPRESIÓN)
Pozo de Bombeo PB23
-
70. ENSAYO DE BOMBEO # 6 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO24A
-
71. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO24A
-
72. ENSAYO DE BOMBEO # 6 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO14
-
73. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO14
-
74. ENSAYO DE BOMBEO # 6 COOPER & JACOB (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO24B
-
75. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS (DEPRESIÓN)
Pozo de Observación PO24B
-
76. ENSAYO DE BOMBEO # 6 (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB23
-
77. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Bombeo PB23
-
78. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO24A
-

-
79. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO14
-
80. ENSAYO DE BOMBEO # 6 THEIS & JACOB (RECUPERACIÓN)
Pozo de Observación PO24B
-
81. HIDROGRAMAS DE POZOS
-
82. SCHOELLER-BERKALOFF (PB20-1, PB20-2, PB20-3, PB19-1,
PB19-2, PB23-1, PB27-1, PB27-2, CAMPAMENTO)
-
83. SCHOELLER-BERKALOFF (GWP1, GWP2, GWP3, WP6, GWP8,
GWP10, GWP16, GWP17)
-
84. SCHOELLER-BERKALOFF (AQI 381, AQI 260, AQI 241)
-
85. SCHOELLER-BERKALOFF (A, B, C, D, E, F, G)
-
86. PIPER (PB20-1, PB20-2, PB20-3, PB19-1, PB19-2, PB23-1, PB27-
1, PB27-2, CAMPAMENTO, GWP1, GWP2, GWP3, GWP6, GWP8,
GWP10, GWP16, GWP17, AQI 381, AQI 260, AQI 241)
-
87. PIPER (A, B, C, D, E, F, G)
-

ANEXO III

TABLAS

-
1. CENSO HIDROGEOLOGICO
-
2. ANÁLISIS QUÍMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
-
3. PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN
POTENCIAL MEDIAS (1976-2005)
-
4. DETALLES DE LOS POZOS DE MONITOREO Y PIEZÓMETROS
-
5. ZONAS SIGNIFICATIVAS DE INGRESO DE AGUA DURANTE LA
PERFORACIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO
-
6. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO
-
7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO
-
8. BALANCE HÍDRICO MAQUINCHAO Etp por PENMAN
-
9. BALANCE HÍDRICO MAQUINCHAO Etp por THORNTHWAITE
-
10. BALANCE HÍDRICO BARILOCHE Etp por PENMAN
-
11. BALANCE HÍDRICO SAN ANTONIO OESTE Etp por PENMAN
-

ANEXO IV

PLANILLAS

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB20

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Bombeo PB20

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO21A

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO21A

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO21B

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO21B

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO22A

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO22A

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO22B

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO22B

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO3

ENSAYO DE BOMBEO # 1 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO3

ENSAYO DE BOMBEO # 2 CAUDAL VARIABLE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB19

ENSAYO DE BOMBEO # 2 CAUDAL VARIABLE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO16

ENSAYO DE BOMBEO # 2 CAUDAL VARIABLE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO7

ENSAYO DE BOMBEO # 3 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB19

ENSAYO DE BOMBEO # 3 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO16

ENSAYO DE BOMBEO # 3 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO18

ENSAYO DE BOMBEO # 3 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO7

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB27

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Bombeo PB27

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO1

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO1

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO15A

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO15A

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO15B

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO26A

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO26A

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO26B

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO26B

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO26C

ENSAYO DE BOMBEO # 4 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO26C

ENSAYO DE BOMBEO # 5 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB23

ENSAYO DE BOMBEO # 5 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO14

ENSAYO DE BOMBEO # 5 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO24A

ENSAYO DE BOMBEO # 5 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO24B

ENSAYO DE BOMBEO # 5 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO25B

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Bombeo PB23

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Bombeo PB23

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO14

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO14

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO24A

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO24A

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO24B

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO24B

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO25A

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO25A

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (DEPRESIÓN)

Pozo de Observación PO25B

ENSAYO DE BOMBEO # 6 CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)

Pozo de Observación PO25B

ANEXO V

PROTOCOLOS

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 20-1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 20-2

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 20-3

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 19-1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 20-2

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo PW 27-1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo PW 27-2

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo 23-1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 2

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 3

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 6

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 8

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 10

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 16

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo GWP 17

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo AQI 241

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo AQI 260

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo AQI 381

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Pozo Campamento

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra A (Edgar Guzmán)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra B (Florencio Honorio)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra C (Hinostroza)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra D (Collueque Puesto)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra E (Collueque Laguna)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra F (Collueque Mallín)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS muestra G (Pozón dique de colas)

ANEXO VI

FOTOS

- 1. AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LAS CRESTAS Y ALTOS SERRANOS**

- 2. COBERTURA DETRÍTICA**

- 3. SONDAS PIEZOMÉTRICAS**

- 4. MUESTREADOR DE AGUA**

- 5. DIACLASAS EN ANDESITAS DE LA Fm. TAQUETRÉN**

- 6. ARROYO QUETREQUILE**

- 7. INSTALACIÓN DE LA BOMBA**

- 8. CAUDALÍMETROS**

- 9. LAGUNA MOJÓN GRANDE (FUTURO DIQUE DE COLAS) y POZÓN**

- 10. MEDICIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN POZO INCLINADO**

- 11. AGUADA EN PUESTO FLORENCIO HONORIO (MUESTRA A)**

- 12. POZO EXCAVADO EN LA LAGUNA LIPETRÉN (MUESTRA E-COLLUEQUE LAGUNA)**

ANEXO VI

NORMA DE CALIDAD

- 3.2. COMPONENTES QUE AFECTAN LA SALUD**

- 3.3. COMPONENTES O CARACTERÍSTICAS QUE AFECTAN LA ACEPTABILIDAD DEL AGUA POR PARTE DEL CONSUMIDOR**

- 3.4. PARÁMETROS BIOLÓGICOS COMPLEMENTARIOS**

1. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

- El recurso hídrico más importante de la región estudiada es el subterráneo y está contenido en rocas volcánicas antiguas, del Triásico superior (Formación Garamilla - riolitas de 165 millones de años) y del Jurásico superior (Formación Taquetrén - andesitas de 135 m.a.). Sin embargo, las perforaciones hidrogeológicas exploratorias más profundas (150 m) no alcanzaron a la Fm. Garamilla, quedando en la Fm. Taquetrén.
- Las rocas volcánicas mencionadas conforman un medio discontinuo hidráulicamente, en el que el agua ocupa fisuras abiertas (diaclasas, fracturas, contactos entre coladas, o entre diques de cuarzo y la roca de caja). La discontinuidad hidráulica hace que frecuentemente se encuentren niveles piezométricos y rendimientos muy diferentes y aún la desaparición del acuífero o parte del mismo, en pozos cercanos entre sí.
- Por lo expuesto, resulta muy complicado hacer una estimación de la reserva de agua almacenada en las vulcanitas de la Fm. Taquetrén (Acuífero Taquetrén), pues a las discontinuidades hidráulicas laterales se les agregan las verticales, que dificultan la determinación del espesor saturado productivo. La facies sedimentaria de la Fm. Taquetrén (tobas arenosas y areniscas volcánicas), además de la porosidad secundaria por fisuración, presenta porosidad intergranular, aunque de bajo grado (menor al 2%).
- El medio continuo o con porosidad intergranular, está representado por depósitos modernos, sueltos, de origen fluvial, lagunar, eólico y de piedemonte, de escaso espesor (generalmente menor a 10 m). El acuífero contenido en estos sedimentos es del tipo freático o libre y del mismo se abastecen los pobladores mediante pozos cavados (aguadas) y gran parte del ganado de la región. Debido al escaso espesor saturado y a la discontinuidad areal la reserva no es significativa, pero la unidad resulta importante hidrogeológicamente, pues actúa como vía para la transferencia de la recarga por infiltración, hacia las formaciones volcánicas subyacentes.
- En lo referente a salinidad también se presentan cambios importantes en pequeñas distancias, que afectan tanto al acuífero poroso como al fisurado.
- En general las aguadas empleadas para el abastecimiento a los puestos presentan baja salinidad y son aptas para consumo humano, lo mismo que

los mallines. Las lagunas varían ampliamente entre dulces y fuertemente saladas (salinas).

- El agua subterránea en el medio fisurado (Acuífero Taquetrén) también presenta variaciones importantes, entre contenidos salinos totales menores a 400 y mayores a 5.000 mg/L. De los componentes minoritarios analizados (F y As), el flúor es el que mayor limitación ejerce sobre la potabilidad, con valores mayores a 1,5 mg/L en 18 de las 27 muestras. El arsénico no incide en la potabilidad y de los componentes minoritarios y trazas, Aquiline cita que 7 de las 20 muestras de perforaciones en rocas volcánicas exceden la norma de COFES para el hierro (0,3 mg/L). También menciona que de los metales, se registraron altas concentraciones de estroncio y que no existe norma local ni internacional referida a la potabilidad para este elemento.
- El caudal subterráneo es del orden de 2.500 m³/día (30 L/s) en el ámbito de flujo preferencial (E-O), coincidente con el valle interpuesto entre las dos serranías en las que se emplazan las vetas 49 y Nelson. En virtud de lo expuesto, y para no alterar significativamente el flujo subterráneo natural, no debe extraerse más de 1.250 m³/d (15 L/s), en el caso de concretarse algún tipo de explotación intensiva en el sitio mencionado.

Se recomienda:

- Para la prospección hidrogeológica de la Línea Sur, se considera fundamental la interpretación del diseño geomórfico - estructural, mediante el empleo de imágenes satelitales, mapas topográficos, mapas geológicos y reconocimiento de campo. Posteriormente, una vez identificados los sitios más favorables, podrá desarrollarse exploración geofísica, mediante el empleo de técnicas geoelectricas y de ser posible, sísmica de refracción. Finalmente, deben ejecutarse perforaciones exploratorias para verificar el grado de precisión logrado con la prospección.
- Mantener el monitoreo en la red de pozos que realiza actualmente Aquiline.
- Construir otras 9 perforaciones de monitoreo, 5 al Norte del thalweg del valle que controla el flujo subterráneo principal E-O y 4 al Sur del mismo (Mapa 9).

Dichos pozos además de ampliar la red de monitoreo, tienen por finalidad precisar la de flujo con el objeto de mejorar el cálculo del caudal subterráneo, en un sitio donde la información piezométrica es escasa.

- Proyectar un diseño que asegure una correcta impermeabilización de los sitios previstos para los emplazamientos del dique de colas y la escombrera, a fin de evitar la contaminación del acuífero por infiltración de los lixiviados de ambos.
- Ajustar el funcionamiento y mantener en operación la estación meteorológica instalada por Aquiline en Calcatreu. El objeto, además de disponer de registros in situ de precipitación, temperatura, viento, evaporación, humedad y radiación, es cotejarlos con los de Maquinchao, que posee una serie histórica continua y mucho más extensa.

2. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó a raíz de un pedido efectuado por la Provincia de Río Negro, a través del Ministerio de Producción, al Consejo Federal de Inversiones (CFI), con el objeto de efectuar una evaluación hidrogeológica del área Lipetrén. El trabajo se realizó en forma conjunta con el Departamento Provincial de Aguas (DPA) y el Ente de Desarrollo de la Región Sur.

La evaluación hidrogeológica se justifica plenamente por el hecho de brindar la información básica y necesaria sobre el recurso hídrico disponible en la zona, para planificar de esta forma el aprovechamiento racional del mismo, dar pautas para su explotación y manejo, que permitan garantizar la dotación de agua para consumo humano y satisfacer las demandas de todas las actividades productivas de la Región.

Con el presente trabajo se cubre el requerimiento establecido en el Contrato de Obra para el “Estudio Hidrogeológico del Área Lipetrén, Provincia de Río Negro”, en lo referente a la presentación de un Informe Final a los 7 meses de iniciadas las tareas.

La supervisión general de los trabajos estuvo a cargo de los Lic. Bozidar Bakarcic y Aldo Sisul por el CFI y el Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro (DPA) respectivamente, mientras que la mayor parte de la tarea de campaña (relevamiento hidrogeológico, ensayos de bombeo y descripción de testigos, fue realizada por los Lic. Gustavo Olivares (DPA) y Gabriel Meconi.

A todos ellos, el autor les agradece especialmente la colaboración prestada.

Mención especial merece el invaluable apoyo prestado por la DPA, el Ministerio de Producción y otras reparticiones provinciales, mediante la afectación de vehículos para el traslado de personal e instrumental desde Viedma a la región estudiada, sin lo cual no se hubiesen podido efectuar los trabajos.

Este informe se ordenó en dos tomos; en el primero está el texto y en el segundo los Mapas (Anexo I), Figuras (Anexo II), Tablas (Anexo III), Planillas (Anexo IV), Protocolos (Anexo V), Fotografías (Anexo VI), Normas (Anexo VII) .

3. OBJETIVOS

El objetivo fundamental del trabajo fue establecer el comportamiento hidrogeológico del medio fisurado, para lo cual se procedió a: cuantificar sus parámetros hidráulicos (transmisividad, almacenamiento, permeabilidad) y la magnitud del flujo; estimar la recarga; determinar la calidad química del agua subterránea y verificar su aptitud para diferentes usos.

4. METODOLOGÍA

4.1. Recopilación y valoración de antecedentes

Se procedió a identificar, analizar y seleccionar la información existente, poniendo énfasis en los temas referidos a geología, geomorfología, hidrología, subterránea y superficial, edafología, estadísticas meteorológicas, biología y minería.

En el capítulo 2 del Informe Parcial, se efectúan las citas bibliográficas, de acuerdo al ordenamiento temático mencionado, muchas de las cuales figuran también el capítulo 13 de este informe (Bibliografía).

4.2. Relevamiento de campo

Los afloramientos rocosos tienen escasa manifestación y están restringidos a los sectores serranos altos (Foto 1), mientras que los faldeos y ámbitos bajos (valles, mallines, lagunas) están cubiertos por derrubio (Foto 2). Por ello, no se pudo caracterizar estructuralmente a las rocas, que son las de mayor interés hidrogeológico, de acuerdo a lo previsto en el punto 2 del Plan de Tareas (presencia de fallamiento, diaclasamiento y fisuración, densidad, orientación espacial, tamaño e interconexión). Para suplir este impedimento se efectuó una descripción de testigos representativos, que se menciona en el punto correspondiente.

Además, se realizó un censo hidrogeológico que abarcó el reconocimiento de 118 perforaciones y pozos. De ellos, pudo medirse el nivel hidráulico en 95 (Tabla 1), mediante el empleo de sondas piezométricas con sensores eléctricos, graduadas al cm (Foto 3). En los pozos inclinados (Foto 10) se corrigió la profundidad del agua, para llevarla a su posición vertical. El objetivo de esta tarea fue disponer de la información piezométrica necesaria, para la elaboración del mapa con curvas equipotenciales.

De los pozos censados, se obtuvieron 27 muestras de agua (Tabla 2), la mayoría tomadas con un muestreador con válvula de pie (Foto 4), en las que se efectuaron los análisis de laboratorio destinados a establecer la aptitud para consumo humano y la composición hidroquímica subterránea. Para la representación gráfica y la clasificación, se empleó el programa Easy desarrollado en Barcelona.

4.3. Ensayos de bombeo

Se realizaron 6 ensayos de bombeo en 2 campañas. Durante la 1ª, entre el 7 y el 17/3/06, se bombearon los pozos PB20 y PB19 y en la 2ª, entre el 28/3 y el 5/4/06, los pozos PB27 y PB23.

La finalidad de los ensayos fue establecer los parámetros hidráulicos del medio discontinuo (acuífero fisurado) y verificar los resultados obtenidos previamente por Aquiline (Major, 2005). Además, con los parámetros hidráulicos y empleando la red de flujo, se puede estimar el caudal subterráneo y la recarga (Auge, 2006).

El análisis del comportamiento hidrogeológico en los medios discontinuos es mucho más reciente que el realizado en los medios con porosidad intergranular y por ello, todavía no se ha llegado a definiciones precisas en relación a la hidrodinámica, parámetros hidráulicos, e interpretación de los ensayos de bombeo, entre otros factores. Además, parámetros como conductividad hidráulica, transmisividad y porosidad, tendrán que ser redefinidos y eventualmente modificados para que puedan ser aplicados adecuadamente a los medios discontinuos.

En virtud de las indefiniciones mencionadas, la mayoría de los investigadores de la hidráulica subterránea en medios discontinuos o fisurados, terminan asimilando sus comportamientos a los de los medios continuos.

Este criterio es el que se siguió al analizar los parámetros hidráulicos, obtenidos con los ensayos de bombeo.

La mayoría de los métodos aplicados a medios discontinuos, se basa en la interpretación de la depresión en función del tiempo, en relación semilogarítmica, de acuerdo al postulado hidráulico realizado por Cooper y Jacob (1946).

Meier et al (1998) concluyen que el método de Jacob brinda valores representativos de transmisividad y almacenamiento en acuíferos heterogéneos, para tiempos prolongados de bombeo y a la misma conclusión llegan Sánchez-Vila et al (1999).

Por lo expuesto, para la interpretación de los ensayos de bombeo, se emplearon las metodologías clásicas de Jacob y Theis (1935).

Para la representación gráfica y la interpretación, se utilizó el programa Aquifer Test de Waterloo Hydrogeologic (2.0).

4.4. Descripción de testigos

Tuvo por objeto establecer las características, la distribución y la frecuencia de las superficies de debilidad (diaclasas, fisuras y fracturas), dado que las mismas constituyen el principal reservorio para el almacenamiento y la circulación del agua subterránea.

Se realizó una descripción macroscópica, con evaluación hidrogeológica, de 14 pozos mineros y geotécnicos perforados con broca de diamante por Aquiline, de los que se obtuvieron testigos corona en toda su longitud. La mayoría son pozos inclinados y fueron seleccionados en distintos sectores del Área Calcatreu, cercanos a otros de monitoreo de agua, ya que estos últimos fueron perforados con aire de circulación inversa (reversa), por lo que no se recuperaron testigos de los mismos.

La evaluación hidrogeológica de los testigos, se apoyó en las descripciones petrográficas macroscópicas realizadas por Aquiline, existentes en los archivos provistos por la empresa. Se puso especial interés en las fracturas y alteraciones de las rocas, además de los distintos tipos litológicos. Para ello resultaron trascendentes los parámetros geotécnicos, aplicados a la mayoría de los testigos de los pozos evaluados, en especial el número de fracturas y el parámetro RQD (Rock Quality Designation), que si bien es un parámetro geotécnico, indicativo de la calidad de la roca respecto a la fracturación y la recuperación de testigos de un tamaño mínimo, da una idea global adecuada sobre el comportamiento hidrogeológico. Esto, vinculado a la densidad de fracturas existentes en el sistema, permite relacionarlo con su capacidad para almacenar y transmitir agua. También se prestó especial atención a los testigos de corona orientados de los pozos geotécnicos, ya que son los que cuentan con mayor cantidad de parámetros registrados.

5. UBICACIÓN

La región estudiada se ubica en el Departamento Ñorquinco, en el SO de la Provincia de Río Negro a unos 600 km al OSO de la capital Viedma y a 60 km en línea recta al S de Ingeniero Jacobacci (Mapa 1).

El acceso desde el N es por la Ruta Provincial 76, que comunica la Nacional 23 e Ing. Jacobacci, con la localidad de Gastre en la Provincia de Chubut. Desde la intersección con la Ruta Nacional 23, es necesario recorrer unos 50 km hacia el S por la Provincial 76 (enripiada), luego ingresar por el acceso a la Estancia Calcatreu

y recorrer otros 20 km al SO para llegar al yacimiento. En el trayecto se pasa por varios puestos (Painemil, Figueroa, Guzmán, Currumil y Paredes), que son los únicos parajes poblados.

Las cotas topográficas oscilan entre 1.200 m en los valles y algo más de 1.300 m en las culminaciones serranas.

6. GEOLOGÍA

6.1. Regional

La región estudiada se ubica en el borde occidental del Macizo de Somún Curá o Nordpatagónico, que ocupa alrededor de 185.000 km², en el centro y E de la Provincia de Río Negro y NE de Chubut (Mapa 2).

El Macizo se caracteriza por presentar un basamento de edad precámbrica, constituido por rocas ígneas y metamórficas, cubiertas por vulcanitas y sedimentitas mesozoicas y terciarias. La secuencia remata con basaltos del Terciario superior y del Cuaternario y depósitos pedemontanos, aluviales y eólicos, del Cuaternario al Reciente.

Tal como se aprecia en el Mapa 2 (Page et al, 1999), en el ámbito estudiado (Lipetrén) dominan regionalmente vulcanitas mesosilíceas correspondientes a la Formación Taquetrén y equivalentes.

El Mapa 3, es una copia de la Hoja Geológica 41d Lipetrén, publicada en el Boletín 158 del Servicio Geológico Nacional (Nullo, 1978). La hoja, a escala 1:200.000, que cubre 3.463 km², se utilizó como base para la descripción geológica regional. En ella, el área ocupada por el proyecto, se ubica en el cuarto SE.

6.1.1. Estratigrafía

Litológicamente dominan las vulcanitas (ignimbritas, riolitas, andesitas y basaltos), correspondientes a las formaciones Garamilla, Taquetrén, Huitrera, La Cabaña, Rumay y Cráter.

Los ciclos efusivos se desarrollaron en forma discontinua desde el Triásico (Fm. Garamilla – ignimbritas y riolitas) al Cuaternario superior (Fm. Cráter – basaltos olivínicos).

En el sector Sur de la hoja, afloran rocas graníticas correspondientes a las formaciones Mail Choique (tonalitas, migmatitas y granitos del Devónico - Carbónico)

y Lipetrén (granitos y granitos porfíricos del Pérmico), que forman el cuerpo de las sierras Moligüe y Lipetrén.

Las rocas sedimentarias están representadas por las formaciones Angostura Colorada (areniscas, tobas y tufitas del Cretácico), que afloran en los sectores central y NE de la hoja y en menor proporción por la facies sedimentaria de la Formación Taquetrén (conglomerados, brechas y tobas), que se manifiestan en forma saltuaria en el cuarto SE del ámbito considerado.

Dentro de los sedimentos se reconocen: **Depósitos pedemontanos antiguos**, adosados a los frentes serranos y **Formación Choiquepal** (fanglomerados originados en la destrucción de la Fm. Lipetrén). Estos últimos constituyen depósitos de piedemonte, sobrepuestos a los antiguos, que se manifiestan principalmente en los faldeos SO y NE de la Sierra Lipetrén. **Depósitos aluviales** de poco espesor, acumulados en quebradas, valles y depresiones cerradas. En las quebradas o valles angostos, como el del Arroyo Quetrequile, dominan clastos gruesos de hasta 10 cm de diámetro, mientras que en los valles amplios (mallines) y en las depresiones cerradas (lagunas y salinas) prevalecen los sedimentos finos (limos, arcillas y arenas finas).

Las rocas basálticas son del tipo olivínico y están representadas en orden de edad decreciente por: el **Miembro Atraicó** correspondiente a la Fm. La Cabaña, de edad Pliocena superior, emplazado en el sector Norte de la hoja; el **Basalto Rumay**, que forma el Escorial Lipetrén, en el centro de la hoja, de edad Pleistocena y la **Formación Cráter**, asignada al Holoceno.

6.1.2. Estructura

Resulta difícil apreciar los rasgos estructurales distintivos de la región, debido a la obliteración producida por el vulcanismo Jurásico, Terciario y Cuartario. Al respecto, Nullo (1978) considera que el tectonismo más antiguo está representado por fallas transcurrentes, de orientación N40 a N45O, ubicadas en el sector SO, que podrían ser posteriores al emplazamiento de los cuerpos graníticos de la Fm. Lipetrén o, eventualmente anteriores, y reactivadas con posterioridad a dicho emplazamiento. Asociado al fallamiento mencionado, se presenta otro secundario de tipo tensional, de rumbo N50 a N55E, que es el responsable del desmembramiento de la Sierra Lipetrén y además es en el que se instalan los diques de cuarzo que contienen a la mineralización hipotermal. Con la misma orientación se manifiestan

otros dos grandes lineamientos estructurales; uno ubicado en el sector NE de la hoja, en coincidencia con el Arroyo Quetrequile y el Cañadón del Jagüel y el otro, en el sector NO, siguiendo la traza del Cañadón Futa-Ruin.

La configuración estructural actual, seguramente es producto de los grandes movimientos tectónicos producidos durante el Terciario, que fueron los responsables del ascenso de la Cordillera Principal y de las unidades orográficas asociadas.

De los grandes sistemas de fallamiento derivan los menores y los juegos de diaclasas, que tienen un rol preponderante en el comportamiento hidrológico subterráneo, dado la escasa representación que tienen en la región las rocas y sedimentos con porosidad intergranular. En el punto siguiente se hace una referencia más detallada de la incidencia de la estructura en la hidrodinámica subterránea.

6.2. Local

La base para la caracterización de la geología local o de detalle, fue el Mapa Geológico del Área del Proyecto, elaborado por ERM (2005), a escala 1:15.500 (Mapa 4).

El área relevada abarca 20 km² (6 x 3,4 km) y en ella se presentan afloramientos de rocas volcánicas correspondientes a las formaciones Garamilla identificada con (1) y Taquetrén (2a) y de esta última, su facies sedimentaria asociada (2b). Las formaciones mencionadas ocupan las partes altas del relieve, en general por encima de 1.200 msnm, mientras que en las partes bajas (depresiones lineales o areales) están cubiertas por depósitos sueltos de origen fluvial (7) y lagunar (6); también hay acumulaciones de origen eólico. Entre los sectores elevados y deprimidos, la cobertura sedimentaria está representada por depósitos aluvionales y fluviales indiferenciados (5), depósitos de remoción en masa (4) y depósitos de abanicos aluviales antiguos (3), restringidos estos últimos a los sectores SO y NO del ámbito relevado.

Dado el escaso espesor que poseen las unidades sedimentarias holocenas y recientes (depósitos aluviales y fluviales, de remoción en masa y abanicos aluviales), cuya potencia máxima se estima inferior a 10 m, no pueden almacenar un volumen importante de agua; **sin embargo adquieren trascendencia hidrogeológica pues actúan como vía para la transferencia de la infiltración hacia las formaciones volcánicas subyacentes.** Además, del agua freática

contenida en estos sedimentos, se abastece la mayoría de los pobladores mediante pozos cavados (aguadas) y gran parte del ganado de la región.

En las rocas, la mayor parte del agua se almacena en y fluye, a través de fracturas o diaclasas, dando origen a lo que se denomina medio hidráulico fisurado. El medio fisurado tiene la particularidad de comportarse como discontinuo hidráulicamente, por lo que es frecuente encontrar niveles y rendimientos muy diferentes y aún la desaparición del acuífero, o al menos parte del mismo, en pozos cercanos entre sí.

El volumen que puede almacenar un acuífero fisurado es significativamente menor al de otro, contenido en un medio continuo con porosidad intergranular.

En el ámbito estudiado, las rocas de las formaciones Garamilla y Taquetrén se comportan predominantemente como medios discontinuos en los que el agua ocupa los espacios abiertos debido a la fracturación y al diaclasamiento (Foto 5). Secundariamente, la facies sedimentaria de Taquetrén, en especial las tobas arenosas y las areniscas volcánicas (2b), además de la porosidad secundaria por fisuración, presentan porosidad primaria o intergranular, aunque de bajo grado (menor al 2%). El acuífero contenido en estas rocas, fue el único en alcanzar la estabilidad durante la realización de los ensayos de bombeo.

Los sistemas de fallamiento principales, orientados NE-SO y NO-SE, son los generadores de estructuras secundarias y de las diaclasas, en las que se aloja el agua subterránea. En el primero de los sistemas mencionados, se emplazaron las vetas 49 y Nelson y está representado por una falla que afecta no sólo a la continuidad estratigráfica, sino también a los potenciales hidráulicos subterráneos.

7. CLIMA

Las características climáticas regionales de la Patagonia Extra-andina, están controladas por 2 centros de alta presión (anticiclones) emplazados en los océanos Pacífico y Atlántico australes, aproximadamente a 30° de latitud S, y por la faja de baja presión subpolar ubicada a 65° S. Entre los 2 anticiclones se interpone la Cordillera de los Andes en su sector patagónico, que actúa como barrera orográfica para los vientos húmedos provenientes del Pacífico que, al elevarse y condensar, generan altas precipitaciones pluviales y nivales en los faldeos occidental y oriental, y en las altas cumbres. Dichos vientos, provenientes del cuadrante O, cruzan toda la

Patagonia Extra-andina, pero ya como vientos secos y por lo tanto, en lugar de favorecer la precipitación se transforman en efectivos agentes de evaporación.

En los Andes Patagónicos, al Sur de 40° S, se presentan los gradientes de lluvia más fuertes del país, con un descenso de 3.000 a 200 mm/año, de O a E, en el orden de 50 km.

Con el objeto de analizar el comportamiento climático en una transecta O-E, a lo largo de 830 km, se analizaron los datos de precipitación y temperatura de las estaciones Bariloche, Maquinchao y San Antonio Oeste. De las estaciones mencionadas, la más representativa de las condiciones climáticas del ámbito estudiado es Maquinchao, que se ubica 180 km al NE. La distancia, es un condicionamiento secundario de las variaciones climatológicas en la Patagonia Extra-andina y en este sentido, tiene mucho mayor incidencia la altitud, cuya diferencia es del orden de 300 a 400 m entre Maquinchao (888 m) y Calcatreu (1.200 a 1.300 m). La estación meteorológica automática instalada por Aquiline en Calcatreu mide: lluvia, temperatura, evaporación, humedad, radiación y viento. Está operando desde noviembre de 2004, pero con registros discontinuos por problemas de funcionamiento.

Para la caracterización climática, se eligieron los registros de los últimos 30 años (1976/05), siguiendo el criterio recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

7.1. Estación Bariloche Aero

Está ubicada en el Aeropuerto de Bariloche, a 840 m de altitud, a 41° 09' (S) y 71° 10' (O), es operada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y posee registros diarios continuos de precipitación y temperatura, desde 1961.

Para el lapso 1976-2005 se tiene, considerando valores medios mensuales:

7.1.1. Precipitación (1976/05)

La media anual fue de 825 mm, con junio como el mes más llovedor (180 mm) y enero y febrero con el menor registro (17 mm cada uno).

En mayo, junio, julio y agosto se concentran las mayores precipitaciones (65% del total), mientras que el verano (diciembre, enero, febrero) resulta la estación menos lluviosa (7%). En la Tabla 3, se indican las precipitaciones medias mencionadas, cuya gráfica se representa en la Figura 1.

7.1.2. Temperatura (1976/05)

La temperatura media anual fue de 8,2 °C con junio (2,7) julio (1,9) y agosto (3,0 °C) como los meses más fríos y diciembre (13,3) enero (14,6) y febrero (14,3 °C) como los más cálidos.

En la Figura 1, se representa a las temperaturas junto con las precipitaciones medias mensuales, y de ella se desprende que los mayores y menores registros de ambas están invertidos. Esto indica que la precipitación no deriva de fenómenos locales de evapotranspiración, condición que ya fue enunciada al referir la incidencia de la barrera orográfica andina, respecto a los vientos húmedos del Pacífico.

7.1.3 Clasificación climática

Adoptando el método desarrollado por Knoche y Borzacov (1947), basado en precipitaciones y temperaturas medias mensuales, representadas en el Climatograma (Figura 2) se tiene que los meses de verano caen en **a2 (muy seco-templado)** y **b2 (seco-templado)**; abril, mayo, agosto, setiembre y octubre en **d1 (húmedo-subtemplado)** y junio y julio en **0II (frío-moderado)**.

7.2. Estación Maquinchao

Se ubica en la ciudad homónima, 180 km al NE de la zona estudiada y dado que es la más cercana y con caracteres más afines, fue la elegida para calificar al clima de Calcatreu. Se mencionó que existe una diferencia de altitud del orden de 300 a 400 m a favor de Calcatreu y que esta variable posee una incidencia climática mucho mayor que la distancia. Al respecto, se considera que la precipitación tanto pluvial como nival debe ser mayor en Calcatreu y que la evapotranspiración debe ser menor que en Maquinchao, debido al incremento de altitud y a la disminución de la temperatura, respectivamente. También se señaló que la estación meteorológica automática instalada por Aquiline en el yacimiento, que opera desde noviembre/04, posee registros sin procesar y muchos de ellos discontinuos, por problemas de funcionamiento.

Maquinchao, operada por el SMN, se sitúa a 41° 15' (S) y a 68° 44' (O) y a 888 m de altura, o sea casi 50 m por encima de Bariloche.

7.2.1. Precipitación (1976/05)

La precipitación media fue de 235 mm/a (590 mm/a menos que Bariloche), con una distribución anual bastante uniforme. Los meses con mayor registro son febrero, marzo, abril, mayo y junio, en los que se concentra el 54% de la lluvia total anual. Las menores lluvias se dan en agosto, setiembre y noviembre, con 14 mm cada uno. En la Tabla 3, se vuelcan los datos mencionados, que son graficados en la Figura 3, junto con las temperaturas y las evapotranspiraciones potenciales.

7.2. 2.Temperatura (1976/05)

La temperatura media anual fue de 9,4 °C (1,2 °C mayor que en Bariloche, pero 5,6 °C menor que en San Antonio Oeste). El mes más cálido enero, con 17,6 °C y el más frío julio con 1,2 °C.

En la Figura 3 se aprecia que no existe correspondencia entre las precipitaciones y las temperaturas medias.

7.2.3. Clasificación climática

Empleado el Climatograma de Knoche surge que en lo referente a precipitación, sólo 3 meses (mayo, junio y julio) caen en el campo **d (húmedo)** y el resto en los campos **a (muy seco)** (noviembre, diciembre, enero y febrero), y **b (seco)** (marzo, abril, agosto, setiembre y octubre).

Respecto a temperatura, los meses de invierno presentan carácter subtemplado y los de verano cálido.

La Figura 4 reproduce el Climatograma de Knoche para la Estación Maquinchao.

Otro meteoro que ejerce una incidencia trascendente en el carácter climático de la Patagonia Extra-andina es el **viento**.

En 7 (Clima), se citó que los vientos dominantes cruzan la Patagonia de O a E, desde la cordillera hasta la costa atlántica y que al ser secos favorecen la evaporación. Considerando el lapso 1981/90 la velocidad media anual del viento en Maquinchao fue de 11,3 km/h, con los mayores registros entre noviembre y enero y los menores en julio. Respecto a la frecuencia anual, durante 6 meses soplan vientos del cuadrante O y durante 4 meses domina la calma. El viento del O, además de dominante, es intenso con una media de 18 km/h y ráfagas de hasta 100 km/h.

En la Figura 5 se representa la velocidad media mensual y la frecuencia del viento (1981/90) en la Estación Maquinchao.

7.3. Estación San Antonio Oeste Aero

Es operado por SMN, se sitúa en la vecindad de la costa atlántica, en la ciudad homónima, a 7 m smm y a 40° 44' (S) y a 64° 47' (O).

7.3.1. Precipitación (1976/05)

La lluvia media anual para el lapso considerado fue 284 mm, un 21% mayor que la registrada en Maquinchao. Los meses más lluviosos fueron febrero, marzo y abril y los de menor registro julio, agosto, setiembre y noviembre. Existen algunas diferencias en el comportamiento pluviométrico respecto a Maquinchao, debido a la incidencia del mar en San Antonio Oeste.

7.3.2. Temperatura (1976/05)

La media anual fue de 15,0 °C (5,6 °C mayor que Maquinchao, debido a la menor cota topográfica y al efecto atenuador del mar). El mes más frío julio (7,4 °C) y el más cálido enero (22,6 °C).

En la Figura 6 se representan las precipitaciones, las temperaturas y las evapotranspiraciones potenciales medias de San Antonio Oeste.

7.3.3. Clasificación climática

Del Climatograma de Knoche (Figura 7) se desprende que noviembre, diciembre y enero caen en **a3, (muy seco-cálido)**, mientras que junio, julio y agosto lo hacen en **b1 (seco-subtemplado)**; el resto de los meses se reparte entre **a2** (setiembre), **b2** (abril, mayo y octubre) y **b3** (febrero y marzo).

7.4. Utilidad

De la comparación entre el Climatograma y los balances hídricos de las 3 estaciones analizadas, surge que el campo que presenta mejor condición para el exceso hídrico y por ende mayor posibilidad de escorrentía e infiltración, es el **d1**, ocupado por abril, mayo, junio, agosto, setiembre y octubre, únicamente en la Estación Bariloche Aero.

8. GEOMORFOLOGÍA

Las geoformas de una región derivan principalmente del componente geológico y de la acción que sobre el mismo ejerce el clima. El término componente geológico incluye a la litología y a la estructura. La primera incide en las geoformas, fundamentalmente en relación a su resistencia frente a los procesos erosivos y en este sentido, en general, se puede diferenciar a las rocas, que por su compacidad, son más resistentes, de los sedimentos (menos resistentes a la erosión). Sin embargo entre ambos tipos litológicos, existe una amplia gama de variedades, en las que no sólo influye la compacidad sino también el componente mineralógico, en relación a su estabilidad frente a procesos como el ataque químico y la existencia de estructuras menores como las diaclasas, que favorecen dicho ataque.

La estructura es el otro factor geológico de fuerte incidencia en las geoformas. En las regiones montañosas los desniveles son fuertes y los valles angostos y profundos. Adosados a los frentes serranos se desarrollan los piedemontes que se caracterizan por una marcada disminución de la pendiente topográfica y la presencia de abanicos aluviales. Del piedemonte se pasa gradualmente a la llanura, con menor pendiente aún y cauces más anchos y menos profundos.

En las zonas tectónicamente deprimidas predominan las llanuras y en las elevadas la formas montañosas. Entre ambas se desarrollan los ambientes pedemontanos o, como sucede frecuentemente en la Patagonia, las mesetas, generalmente coronadas por formaciones geológicas horizontales o subhorizontales, entre las que se destacan las rocas basálticas.

El otro componente natural que ejerce fuerte incidencia en las geoformas es el clima. En las regiones húmedas, que son las que tienen exceso en el balance hídrico (precipitación mayor que evapotranspiración real), es típica la presencia de una profusa red de drenaje que permite, por la acción de los fluvios, la modelación del paisaje. En las regiones áridas (precipitación menor que evapotranspiración potencial), la red hidrográfica tiene poco desarrollo y el componente eólico suele ser el principal responsable de las geoformas. En las regiones semiáridas o semihúmedas, participan tanto el agua como el viento como agentes geomórficos principales.

Con el objeto de analizar el comportamiento geomorfológico general de la región estudiada, se reconocen los siguientes ambientes:

Elevado (sierras, cerros); **Deprimido** (valles, lagunas); **Intermedio** (piedemonte, mesetas). Dichos ambientes, inciden notoriamente en el comportamiento hidrológico superficial y subterráneo.

8.1. Ambiente elevado

Está compuesto por sierras y cerros, entre los que se destacan las sierras Lipetrén, Moligüe y Villar, en el sector Sur y Atraicó en el NE (Mapa 5) y los cerros: Mesa, Leonera, Negro y La Papa (NE); Yuquiche (NO); Puntudo, Horqueta y Mojón (Centro); Tintero, Buitrera y Moligüe (SE); Bella Vista y Fritz (SO).

El ambiente elevado presenta algunos caracteres fisiográficos distintivos en función del componente litológico que lo constituye.

En el sector SO, la Sierra Lipetrén, compuesta por rocas graníticas, presenta sus crestas orientadas N-S y fuertes pendientes, particularmente en el frente oriental, con valores que superan con frecuencia el 20%. Caracteres similares tiene la Sierra Moligüe en el Sector SE, aunque adopta una forma de arco, cambiando su orientación de S-N a O-E.

En el sector SE, la Sierra Villar, está formada por tranquiandesitas, andesitas y brechas volcánicas, en mantos de hasta 10 m de espesor (Fm. Taquetrén). La orientación de las crestas es NNO y las pendientes son menores a las existentes en las serranías graníticas, oscilando en el 13%.

En el sector centro-N, en coincidencia con vulcanitas riolíticas de la Fm. Gararamilla, el ambiente elevado (La Buitrera), tiene pendientes del 15 al 20% (más fuertes que la Sierra Villar). En las serranías riolíticas existe una intensa fracturación que permite la formación de manantiales en los ensambles entre los frentes serranos y el piedemonte.

El ambiente elevado (sierras y cerros) constituye uno de los sitios de recarga subterránea preferencial, particularmente cuando la fracturación y el diaclasamiento son intensos y las crestas y pendientes de los frentes no son pronunciados. Ello facilita la infiltración de la lluvia y el agua derivada de la fusión de la nieve. Cuando las pendientes son fuertes y la fisuración escasa, se potencia la escorrentía y se restringe la infiltración.

8.2. Ambiente deprimido

Las depresiones son de dos tipos: lineales y areales.

Entre las lineales se destaca el Arroyo Quetrequile, que tiene sus nacientes en la Sierra Moligüe (vértice SE) y de allí fluye hacia el N, saliendo de la Hoja 41d (Mapa 5) por su vértice NE. En el sector NO se desarrollan los arroyos Futa-Ruin y Yuquiche, este último menos importante que los anteriores. El Arroyo Cansucó tiene sus nacientes en el faldeo occidental del Cerro Potrero y luego de atravesar la Sierra Lipetrén de Este a Oeste, se insume en el Valle Mamuel Choique, en la vecindad del Puesto Antinau.

El régimen de flujo dominante es de tipo temporario, por lo que los arroyos llevan agua luego de lluvias importantes y del aporte debido a la fusión de la nieve, especialmente en primavera. Sin embargo, dado que constituyen los sitios de descarga preferencial del agua subterránea, suelen fluir también en épocas sin precipitación, debido al aporte freático, como sucede en el tramo NE del A° Quetrequile.

Los otros cuerpos deprimidos, que también actúan como ámbitos de descarga preferencial para el agua subterránea, son las lagunas, que se ubican en las partes más bajas de los sistemas de drenaje endorreicos.

La mayoría de las lagunas, al igual que los arroyos, también presentan carácter temporario y es frecuente encontrar eflorecencias salinas en sus fondos, debido a la concentración por evaporación del agua superficial y de la subterránea.

En la Laguna Mojón Grande (Mapa 6), una muestra tomada de un pozón en su margen (Foto 9), dio 64 g/L de salinidad total. En la Laguna Escondida, 2.300 m al NE de la anterior, Ambiental (2005) midió 23,6 g/L y en la Laguna Paredes, fuera del área del proyecto, en el borde SE del Escorial Lipetrén 12,9 g/L (feb/04) y 2,7 g/L (ago/04). La diferencia en la salinidad deriva de la dilución por aporte superficial en la época de lluvias.

8.3. Ambiente intermedio

Los piedemontes serranos y las mesetas en general, son geoformas intermedias en el relieve, entre las sierras y las depresiones.

El piedemonte más importante se desarrolla rodeando la Sierra Lipetrén, en coincidencia con la Fm. Choiquepal, constituída por fanglomerados poco cementados, con rodados y bloques angulosos de granitos porfíricos, provenientes

de la erosión, transporte y acumulación de la Fm. Lipetrén en el sector occidental del área del proyecto (Mapa 3).

Otros niveles más modernos se presentan al pie de las sierras y de los cerros existentes en toda la región estudiada.

La pendiente media de los piedemontes es inferior al 5%. Esta condición, junto al componente litológico (fanglomerados y arenas permeables), hacen de los piedemontes ámbitos favorables para la infiltración.

Los relieves mesetiformes de altitud intermedia, constituidos por rocas basálticas, como los escoriales Lipetrén y Quetrequile (Foto 6), también son sitios favorables para la infiltración de la lluvia y de la fusión de la nieve. Estos en general presentan pendientes muy abajas, del orden del 1% y un fuerte diaclasamiento, debido a contracción por enfriamiento. Al pie de la colada basáltica, en el contacto con el sustrato, es común el afloramiento de agua subterránea en forma de manantiales u ojos de agua.

9. EDAFOLOGÍA

Para la descripción edafológica, se seguirán los lineamientos generales desarrollados por Ambiental (2005).

A nivel regional, los suelos tienen muy poco desarrollo, destacándose los asociados a **mallines**, o sea los emplazados en los **sectores topográficamente deprimidos de los valles fluviales**. Aquí los suelos presentan contenidos en materia orgánica superiores al 1%, son profundos y de textura gruesa a media. El drenaje es pobre, pues el agua freática se emplaza a menos de 1,5 m de profundidad y es común su afloramiento. Dichas características y la cobertura de una abundante vegetación higrófila, los convierte en los lugares más importantes para el aprovechamiento **agropecuario**.

En los **ambientes deprimidos cerrados (lagunas)**, ubicados entre 1 y 5 m por debajo de la topografía circundante, la textura del suelo asociado es fina a media, presentando acumulación de sales y/o sodio intercambiable. La permeabilidad es baja y el drenaje malo. Cuando las lagunas están secas, el suelo sufre erosión por acción eólica.

En los **sectores medios a altos** del paisaje, los suelos se caracterizan por un escaso desarrollo pedogenético y en profundidad. Domina la textura arenosa y es

frecuente la presencia de cenizas volcánicas. Suelen presentar bloques y gravas, que le otorgan un buen drenaje.

En los niveles de piedemonte intermedios, la evolución edafogenética es anterior a la actual, constituyendo paleosuelos arcillosos, pardos y rojizos, bien drenados, desprovistos de materia orgánica, pero bien provistos de fósforo y potasio.

10. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La red de drenaje de la región está representada por cuencas cerradas (endorreicas) en las que se emplazan lagunas y salinas y por cuencas lineales (arroyos y cañadones). En ambos casos domina el régimen temporario, con ocupación de las depresiones por el agua, especialmente en invierno (junio y julio), cuando existe exceso en el balance hídrico (precipitación mayor que evapotranspiración real) y en menor medida en la primavera, debido al aporte por derretimiento de la nieve.

Entre las cuencas cerradas, en el ámbito regional, se destacan las lagunas Paredes y Lipetrén, ambas en la vecindad del Escorial Lipetrén y, localmente, las lagunas Mojón Grande, Escondida y Colorada (Mapa 6).

Entre las cuencas lineales se destaca la del Arroyo Quetrequile (Foto 6), que fluye de Sur a Norte, en el sector oriental del ámbito regional, recibiendo el aporte del Cañadón que surca la Pampa Canale, cuyas nacientes se ubican en la Sierra Moligüe; también del Arroyo Painemil, con nacientes en el área del proyecto y del Cañadón del Jagüel, en el sector NE.

El A° Quetrequile deja la hoja topográfica Lipetrén (Mapa 5) por su vértice NE, luego de un recorrido de unos 50 km, entre cotas 1.600 m al S (nacientes) y 950 m al N y con una pendiente del cauce principal menor al 1%. Finalmente desagua, a través del Arroyo Maquinchao, en la Laguna Carrilauquen Chica, ubicada a unos 15 km al NE de Ing. Jacobacci (Mapa 7).

En el sector NO de la hoja Lipetrén se desarrollan los arroyos Futa-Ruin y Yuquiche y en el SO, los cañadones Cansucó y Chapingo, estos dos últimos vinculados a la Sierra Lipetrén.

Tanto las depresiones cerradas (lagunas, salinas) como las lineales (arroyos, cañadones), actúan fundamentalmente como ámbitos de descarga preferencial para el agua subterránea. En el primer caso por evaporación y en el segundo, al proceso de evaporación, se le agrega el aporte de agua freática que contribuye al

escurrimiento superficial, como sucede en el sector N del A° Quetrequile, donde se comporta como un flujo permanente.

Secundariamente, las depresiones cerradas y lineales pueden funcionar como ámbitos de recarga subterránea, cuando permiten la infiltración de los excedentes de la lluvia o de la fusión de la nieve, que se concentran en los bajos topográficos. Esto sucede cuando los lechos son permeables y la superficie freática se emplaza por debajo de unos 2 m de profundidad.

10.1. Caudal

No se dispone de aforos representativos para cuantificar con precisión la escorrentía ni de mediciones de alturas en los espejos de agua, para establecer variaciones en los volúmenes de las lagunas. Al respecto, Ambiental (2005) estima para el A° Maquinchao, fuera del ámbito estudiado, un caudal de 1,5 m³/s, para el A° Quetrequile 500 L/s y para algunos de sus afluentes 300 L/s, en agosto del 2004.

Pese a la escasa representatividad del dato de 500 L/s y asumiendo una precipitación media de 250 mm/a, el índice de escorrentía del A° Quetrequile, considerando la totalidad de su cuenca hidrográfica (1.220 km²), es del orden del 5% de la lluvia. Dicho porcentaje no aparece como desproporcionado en relación a las características climáticas, geomorfológicas, geológicas e hidrológicas de la región estudiada.

10.2. Calidad

Existen notorias diferencias en la salinidad y la composición química del agua superficial, en función de las características de la fuente muestreada (depresiones abiertas o cerradas, lagunas o salinas), de su ubicación geomorfológica y de su relación con la geología local. También se han verificado fuertes cambios en la composición química de la misma fuente, en muestreos realizados en diferentes épocas.

Respecto a las lagunas (Ambiental, 2005) menciona para la Escondida, ubicada a 2.300 al E de la Veta 49 (Mapa 6) 33.700 µS/cm, en nov/03. En la Laguna Paredes (Almacén Lipetrén), midió 5.800 µS/cm, en nov/03, 18.500 en feb/04 y 3.870 µS/cm, en ago/04. Las fuertes diferencias en la salinidad se deben a la dilución, controlada por el régimen de aporte superficial, vinculado a las lluvias. En la

Laguna Carrilauquen Chica (Mapa 7), registró 888 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en feb/04 y 772 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en ago/04 y en Carrilauquen Grande 2.340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ago/04.

En relación a los arroyos, en el Mallín del Quetrequile, Ambiental midió 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en nov/03, 825 en feb/04 y 1.124 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ago/04. En el A° Painemil, en el cruce con la huella rural de acceso a la Veta 49: 612 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en nov/03, 1002 en feb/04 y 1.608 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ago/04.

Respecto a metales pesados, sólo el **hierro** se presenta en concentraciones mayores a la máxima admitida por la norma del COFES (Anexo VII), que es de 0,3 mg/L. Las lagunas analizadas por Ambiental en relación al Fe fueron: La Escondida (22 mg/L en nov/03), Paredes (21,5 en nov/03 y 0,6 mg/L en ago/04); Carrilauquen Chica (1,5 feb/04 y 0,75 mg/L en ago/04); Carrilauquen Grande (2,1 mg/L en ago/04).

11. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

11.1. Generalidades

El recurso subterráneo es la reserva de agua más importante que tiene la región, dado la localización y los cambios significativos de caudal y calidad que presenta el agua superficial.

En el punto 6.2. se mencionó que: “debido al escaso espesor que poseen las unidades sedimentarias holocenas y recientes (depósitos aluviales y fluviales, de remoción en masa y abanicos aluviales), cuya potencia se estima inferior a 10 m, no pueden almacenar un volumen importante de agua; sin embargo adquieren trascendencia hidrogeológica pues actúan como vía para la transferencia de la infiltración hacia las formaciones volcánicas subyacentes”. También de estas unidades, que se caracterizan por presentar porosidad intergranular y por ende conformar medios hidrogeológicos continuos, se abastecen mediante aguadas la mayoría de los pobladores de la región. El ganado también abreva en las aguadas, en los mallines y en las lagunas, en estas últimas, cuando la salinidad no es elevada.

Dado el notorio predominio que poseen las rocas volcánicas en el componente geológico, constituyen el reservorio de agua subterránea más importante del ámbito estudiado.

Cuando las rocas presentan un elevado grado de litificación, conforman medios discontinuos en los que el agua sólo puede almacenarse en y fluir, a través

de superficies de debilidad abiertas, representadas por diaclasas, fracturas y contactos.

Considerando la geología a nivel local, el medio discontinuo está representado por las formaciones Garamilla y la facies volcánica de Taquetrén, mientras que las facies piroclástica o sedimentaria de esta última, manifiesta un comportamiento dual, con participación de ambos medios (discontinuo y continuo).

El desarrollo básico para el entendimiento del flujo subterráneo, que tiene como punto de partida la ecuación propuesta por Darcy (1856), se aplicó a medios continuos. También a los medios con porosidad intergranular, les cabe la aplicación de parámetros hidráulicos como conductividad hidráulica o permeabilidad, transmisividad, porosidad total y efectiva, coeficiente de almacenamiento y retención específica.

El análisis del comportamiento hidrogeológico en los medios discontinuos es mucho más reciente que el anterior y todavía no se ha llegado a definiciones precisas en relación a la hidrodinámica, parámetros hidráulicos e interpretación de ensayos de bombeo, entre otras cosas. Por ello, la mayoría de los autores (Meier et al, 1998; Sánchez-Vila et al, 1999; Kránsný, 2002; Sankar et al, 2002; Martínez-Landa y Carrera, 2005a, Martínez-Landa y Carrera, 2005b), interpretan dicho comportamiento asimilando las condiciones de los medios discontinuos o con porosidad secundaria, a los continuos, que se caracterizan por presentar una porosidad primaria o intergranular.

Este criterio es el que se sigue en el presente informe, pese a que como ya se señaló, parámetros como conductividad hidráulica, transmisividad y porosidad, tendrán que ser redefinidos y eventualmente modificados, para que puedan ser aplicados adecuadamente a los medios discontinuos.

11.2. Comportamiento hidráulico

Se menciona a continuación, el comportamiento hidráulico de las unidades geológicas reconocidas en el ámbito estudiado.

11.2.1. Depósitos modernos

Se incluye en esta denominación a los sedimentos del Holoceno al Reciente, que se caracterizan por su escasa agregación y variado origen. Respecto al último

punto, se mencionó en 8 (Geomorfología) que los sedimentos modernos se ubican en los ambientes deprimido e intermedio.

En el primero, se corresponden con acumulaciones aluviales de variado tamaño (grava, arena, limo) emplazados en los cauces y terrazas de las vías fluviales entre las que se destaca el A° Quetrequile. No se han efectuado ensayos para determinar la permeabilidad y la porosidad efectiva de esta unidad, pero teniendo en cuenta la granometría, se estima para la primera, extremos de 25 m/día (grava) y 0,05 m/d (limo), mientras que la porosidad efectiva variaría de 0,25 a 0,02 respectivamente.

También en las depresiones, pero cerradas, se emplazan sedimentos modernos de granometría fina (limo-arcilla) en las márgenes y fondos de lagunas y salinas. Estos son menos permeables y tienen menor porosidad efectiva que los anteriores. Sobre la base granométrica se estima un K entre 0,05 y $5 \cdot 10^{-3}$ m/d y Pe entre 0,02 y $2 \cdot 10^{-3}$.

Ya se mencionó que las depresiones lineales (arroyos) y areales (lagunas) funcionan como ámbitos preferenciales para la descarga natural del agua subterránea.

En los ámbitos de posición intermedia en el relieve (piedemontes serranos, abanicos aluviales y bajadas), también se presentan sedimentos modernos (cobertura detrítica), pero de mayor tamaño que los existentes en los deprimidos. En general dominan arena mediana y gruesa, gravilla y grava, con permeabilidades estimadas entre 5 y 25 m/d y Pe entre 0,10 y 0,25. El escaso espesor de la unidad, normalmente menor a 5 m, hace que el agua freática se ubique por debajo de la misma.

Tal como ya se mencionó, la mayor trascendencia hidrogeológica de esta unidad, es que permite la rápida transferencia de la infiltración hacia la roca subyacente.

11.2.2. Rocas antiguas

Afloran en forma restringida en los sitios elevados del relieve (Foto 1), pues en la mayor parte del ámbito estudiado, están cubiertas por depósitos detríticos (Foto 2). Están representadas por rocas volcánicas correspondientes a las formaciones Garamilla (Triásico superior 165 millones de años) y Taquetrén (Jurásico superior – 135 millones de años).

La primera, integrada por un conjunto de rocas ácidas, entre las que predominan riolitas y riodacitas y en menor grado tobas riolíticas, también conocidas como “Complejo Porfírico” (Volkheimer, 1965), está fuertemente tectonizada y se dispone por debajo de la Fm. Taquetrén. La Fm. Garamilla no fue alcanzada por ninguna de las perforaciones hidrogeológicas ejecutadas en el área del proyecto.

La Formación Taquetrén está integrada de abajo hacia arriba por: una **facies brechosa**, predominantemente andesítica, una **facies sedimentaria o piroclástica**, compuesta por areniscas, tobas arenosas y conglomerados, y una **facies lávica**, formada por andesitas, basandesitas y basaltos.

Las **facies brechosa y lávica** no alteradas o poco alteradas, carecen de porosidad primaria y sólo pueden almacenar y conducir agua a través de superficies de debilidad como diaclasas, fallas y contactos entre coladas. Una característica particular tiene la zona de meteorización, que alcanza profundidades de 10 a 70 m. Aquí el comportamiento dominante es el de un medio con continuidad hidráulica, pero la existencia de abundante material arcilloso, limita la permeabilidad y por ende la productividad de los pozos.

La **facies sedimentaria o piroclástica**, manifiesta un comportamiento dual, pues presenta ambos tipos de porosidad (intergranular y por fractura). En este tipo de roca está perforado el pozo PB23 (PW23), que fue el único de los ensayados en alcanzar la estabilidad hidráulica (ensayo de bombeo # 6) a partir de 1200' de bombeo (Figura 69).

Golder Associates (2005) realizó un estudio geotécnico para establecer el diseño de las excavaciones en las vetas 49 y Nelson.

Las conclusiones de Golder se basaron en la información de 10 sondeos inclinados (7 en Veta 49 y 3 en Nelson) de entre 70 y 160 m de profundidad, en los que se obtuvieron testigos orientados. En la sección de andesitas lávicas, la consultora reconoció las siguientes unidades geotécnicas:

Zona de oxidación o meteorización, con una profundidad de 10 a 70 m en Veta 49, y de 10 a 40 m en Nelson. La roca es extremadamente débil, con bajo RQD, alto número de diaclasas, fuerte alteración arcillosa y baja permeabilidad primaria.

Zona silicificada y mineralizada, producto de la intrusión hidrotermal, de rumbo NE e inclinación 65 a 80° al SE. Presenta 3 o más sistemas de diaclasas, está altamente fracturada, tiene bajo RQD y buena permeabilidad secundaria.

Zona de andesitas, compuesta por lavas del tipo estratiformes y rocas volcánicas asociadas. Tiene 4 o más sistemas de diaclasas. Esta zona se subdivide en fuerte y moderadamente alterada. Las rocas fuertemente alteradas se presentan en la vecindad de cuerpos mineralizados, fallados y fracturados.

Para la roca maciza menciona una permeabilidad de 10^{-7} a 10^{-9} m/s ($9 \cdot 10^{-3}$ a $9 \cdot 10^{-5}$ m/d) y para la fisurada $7 \cdot 10^{-6}$ m/s (0,6 m/d).

En lo referente a la identificación de las secciones más permeables, Major (2005) cita valores que van desde 1 a 7,5 L/s (3,6 a 27 m³/h) y también menciona que los pozos GWP5, GWP13 y GWP16, fueron improductivos.

La afluencia a las perforaciones para monitoreo y a los piezómetros para los ensayos, pudo estimarse debido al método empleado para perforar (aire por circulación inversa).

En la Tabla 4, tomada de Major 2005, se indica la ubicación de los pozos, las cotas de sus bocas y las profundidades finales. En la Tabla 5, modificada de Major 2005, se reproducen los caudales medios, agrupando los pozos de acuerdo a su ubicación (Rajo de la Veta 49, Dique de colas, Campo de pozos, etc). En la Figura 9 se representa la posición de las secciones productivas señaladas, en la Tabla 5, apreciándose una marcada variación en las cotas del techo y el piso y en el espesor de las mismas. Los pozos GWP3B y GWP25 presentan 2 secciones productivas y en general hay correspondencia entre los mayores espesores y las mayores productividades.

En las figuras 10 a 35 (WMC 2005) se reproducen los perfiles litológicos y de entubamiento de los 34 pozos de monitoreo, piezómetros, y de bombeo, la velocidad de avance y el flujo de entrada. En algunos casos, la sección más permeable está restringida a unos pocos metros (GWP1 de 90 a 95 y GWP14 de 64 a 67 m), siendo más frecuente una distribución más extendida de la misma (GWP3B, GWP7, GWP8, GWP9 y GWP10, entre otros), aunque también se aprecia alternancia entre secciones productivas e improductivas (GWP2 y GWP6).

En la Tabla 6 se sintetiza el comportamiento hidrogeológico de las unidades geotécnicas, en el ámbito de las vetas 49 y Nelson.

En la distribución vertical de las secciones productivas influye notoriamente la posición de las fisuras (diaclasas, fracturas, contactos) respecto al sondeo. Si estas son subhorizontales, como los contactos entre coladas, serán atravesadas por las perforaciones verticales, pero si su posición es subvertical (buzamiento 65 a 80°), como los sistemas de diaclasas asociadas al fallamiento, en el que se emplazó el cuerpo hidrotermal mineralizado, la posibilidad de ser cortadas por los sondeos se reduce notoriamente. Esta condición hace que en la generalidad, los parámetros obtenidos con los ensayos de bombeo, particularmente los referidos a transmisividad y permeabilidad, sean menores a los reales. **Por ello, los cálculos de afluencia hacia grandes excavaciones, resultan deficientes y la mayoría de las veces la entrada real es mayor que la calculada previamente.**

11.3. Ensayos de bombeo

Tuvieron por finalidad establecer los parámetros hidráulicos del medio discontinuo.

Además, con los parámetros hidráulicos y empleando la red de flujo, se puede estimar el caudal subterráneo y por analogía, la recarga (Auge, 2006).

11.3.1. Generalidades

En 11.1. se hizo referencia a que el análisis del comportamiento hidrogeológico en los medios discontinuos es mucho más reciente que el realizado en los medios con porosidad intergranular y, a que existen indefiniciones respecto a la hidrodinámica, parámetros hidráulicos e interpretación de los ensayos de bombeo, entre otros factores. En virtud de ello, la mayoría de los investigadores de la hidráulica subterránea en medios discontinuos o fisurados, terminan asimilando sus comportamientos a los de los medios continuos.

Este criterio es el que se seguirá al analizar los parámetros hidráulicos, obtenidos con los ensayos de bombeo, a los que se identificará con el subfijo **f** para indicar su equivalencia al medio con porosidad intergranular. Así **T_f** representa la transmisividad equivalente del fisurado, respecto a la del medio con porosidad primaria, **S_f** el coeficiente de almacenamiento y **K_f** la conductividad hidráulica.

Uno de los países que más investigaciones ha realizado en relación a la hidráulica de medios fisurados es la India, debido a que la mayor parte del Sur de su

territorio está formado por rocas con porosidad secundaria (granito, gneiss y basalto). Al respecto, Maréchal et al (2003) proponen 4 métodos para la interpretación de ensayos hidráulicos de acuíferos en rocas. El método de Neuman (1975) para acuíferos libres anisótropos, el método de Gringarten y Witherspoon (1972) para el caso de flujo a través de una fractura horizontal, el método de Warren y Root (1963) aplicable a rocas con doble porosidad y el método de Barker (1988) para vincular la dimensión del flujo, a la distribución espacial y comunicación de las fracturas conductivas.

La mayoría de los métodos aplicados a medios discontinuos, se basa en la interpretación de la depresión en función del tiempo, en relación semilogarítmica, de acuerdo al postulado hidráulico realizado por Cooper y Jacob (1946).

Meier et al (1998) concluyen que el método de Jacob brinda valores representativos de transmisividad y almacenamiento en acuíferos heterogéneos, para tiempos prolongados de bombeo. A la misma conclusión llegan Sánchez-Vila et al (1999).

Por lo expuesto, para la interpretación de los ensayos de bombeo, se emplearon las metodologías clásicas Cooper y Jacob (1946) y Theis (1935), aparentemente con buenos resultados.

11.3.2. Ejecución

Se realizaron 6 ensayos de bombeo (5 a caudal constante y 1 a caudal variable). Para ello se empleó una bomba eléctrica con motor sumergido capaz de erogar un caudal máximo de 25 m³/h (Foto 7); el caudal se midió con 2 caudalímetros de registro continuo (Foto 8) y las variaciones del nivel piezométrico en los pozos de bombeo y de observación, con sondas eléctricas, graduadas al cm (Foto 3).

El bombeo de mayor duración se efectuó en el pozo PB27 e insumió 72 horas, mientras que la recuperación más prolongada se logró en el PB23, con 27 hs.

Para la representación gráfica y la interpretación se empleó el programa Aquifer Test 2.0, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic (2000).

En la Tabla 7 se sintetiza el resultado de los 6 ensayos.

11.3.3 Interpretación

11.3.3.1. Ensayo # 1

a) Bombeo

Se realizó empleando a **PB20** como pozo de bombeo y a **PO3, PO21A, PO21B, PO22A y PO22B**, como pozos de observación. El bombeo insumió 47 horas 5 minutos a un caudal medio de 23,5 m³/h. Se produjeron 4 detenciones inesperadas del equipo de bombeo por fallas en el grupo electrógeno: la primera a 1705' de iniciado el ensayo, duró 3'; la segunda entre 2005 y 2095', en que se produjeron varias detenciones; la tercera a 2115', duró 9' y la última a 2825', obligó a dar por finalizado el ensayo de bombeo. La recuperación se midió durante 22 horas, al cabo de las cuales el nivel dinámico se ubicó 1,22 m por debajo del estático de partida.

En el Anexo IV figuran las planillas de ensayo para el pozo de bombeo y los 5 de observación.

Pozo de bombeo PB20 (equivale a PW-20)

Está ubicado en el valle que separa a las vetas 49 y Nelson (Mapa 8), más específicamente, aguas abajo del open pit previsto para la Veta 49 y del sitio elegido para la escombrera.

El perfil geológico está compuesto exclusivamente por andesitas, desde 10 hasta 120 m de profundidad y, de acuerdo a lo que se desprende del perfil del pozo (Figura 33), el espesor productivo tiene unos 70 m (de 45 a 115 m). Posee 2 tramos de filtros del tipo SCH 80 – PVC de 0,5 mm; el más somero desde 60 a 90 m y el más profundo de 96 a 120 m (profundidad final).

Se partió de un nivel estático de 0,43 m* y se finalizó con un dinámico de 7,5 m y una depresión estimada de 7,1 m, dado que el nivel dinámico no pudo medirse correctamente, debido a la detención inesperada del equipo de bombeo.

Considerando el caudal medio (23,5 m³/h) y la depresión (7,1 m) el caudal específico alcanzó a 3,3 m³/h.m.

En la Figura 8 se representa en relación aritmética, la curva de depresión de

* Todos los niveles hidráulicos medidos en los ensayos, están referidos a las bocas de los pozos.

PB20 y en ella puede apreciarse una tendencia declinante bastante uniforme hasta 1800'; luego, hasta 2196' se produce una suave recuperación del nivel hidráulico, producto de las detenciones de la bomba entre 2005 y 2115'. Finalmente, hasta 2825' (fin del bombeo) el nivel retoma la tendencia descendente, con una depresión final estimada en 7,1 m.

Pozo de observación PO3 (equivale a GWP-3)

Está ubicado a 33,7 m de PB20. Su profundidad inicial fue de 126 m, pero sufrió un derrumbe, quedando la profundidad final a 78 m. En el perfil litológico se citan andesitas desde los 6 hasta 126 m. Aunque existen diferencias entre el perfil de entubamiento y la mención respecto a la posición del filtro (Figura 12), se puede asumir para el mismo el tramo de 48 a 78 m de profundidad.

Empleando el método de Cooper y Jacob (**Jacob**), se observan dos alineamientos en el gráfico semilogarítmico. El primero, entre 6 y 120' de iniciado el bombeo y el segundo, donde se incrementa la pendiente de la recta, entre 240 y 1.800' (Figura 36).

Considerando la pendiente correspondiente al primer alineamiento se obtiene:

$$\mathbf{Tf = 65 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 2,6 \cdot 10^{-4}}$$

No se calcula la conductividad hidráulica, pues resulta difícil establecer con certeza el espesor productivo, que además es muy cambiante en cortas distancias.

De los flujos de entrada indicados en la Figura 12, puede estimarse un espesor productivo de 10 m, valor éste significativamente menor que el establecido para el pozo de bombeo (PB20), que fue del orden de 70 m (Figura 33). En virtud de lo expuesto, se considera más representativa del comportamiento hidráulico del medio fisurado a la transmisividad.

Asumiendo la pendiente del segundo tramo:

$$\mathbf{Tf = 38 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 8,6 \cdot 10^{-4}}$$

Resulta evidente la disminución de la transmisividad y el aumento del almacenamiento para el tramo más prolongado del ensayo. El incremento en la

depresión puede deberse a que el cono haya alcanzado una barrera impermeable, del tipo de los diques de cuarzo mineralizados.

Por lo tanto para la predicción en tiempos prolongados, se consideran más representativos estos últimos parámetros.

Empleando el método de **Theis** (Figura 37), se aprecia una buena correspondencia entre las curvas teórica y de ensayo, entre 3 y 300' de iniciada la extracción, para luego desplazarse la última por encima de la tipo, manifestando una depresión mayor que la que le correspondería a un acuífero confinado de comportamiento ideal. Los parámetros calculados con Theis son:

$$\mathbf{Tf = 56 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 3,1 \cdot 10^{-4}}$$

O sea intermedios entre ambas determinaciones con Jacob.

Pozo de observación PO21A (equivale a GWP-21A)

En la Figura 38 se aprecia un buen alineamiento de puntos, en la gráfica semilogarítmica, entre 240 y 1800' de iniciado el bombeo. Aplicando Jacob se tiene:

$$\mathbf{Tf = 32 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 4,8 \cdot 10^{-4}}$$

El piezómetro PO21A, está perforado hasta 103 m en una secuencia de andesitas que se desarrolla desde la superficie hasta el fondo del pozo y tiene 18 m de filtro de PVC ranurado a mano (Figura 27); se ubica a 71,1 m de PB 20.

Con **Theis** se obtiene:

$$\mathbf{Tf = 41 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 3,6 \cdot 10^{-4}}$$

Aunque la coincidencia de la curva de ensayo con la teórica (Figura 39), se logra en un tramo reducido de tiempo (90 a 420'), los resultados obtenidos con Theis son muy similares a los de Jacob.

Pozo de observación PO21B (equivale a GWP-21B)

Este piezómetro se instaló junto al PO21A, en la misma perforación, pero a una profundidad final de 41 m. Para aislar ambos piezómetros se emplearon bentonita y cemento (Figura 27).

Pese a la diferencia de cotas de los filtros (1.200 a 1.139 msnm) en el pozo de bombeo PB20, respecto de 1.238 a 1.226 msnm en PO21B, este piezómetro respondió ante el impulso del bombeo, aunque en forma retardada.

Aplicando **Jacob** se aprecia un alineamiento apropiado entre 90 y 1.800' de iniciado el ensayo y considerando la pendiente de la recta (Figura 40) se tiene:

$$Tf = 306 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

Los valores de transmisividad y almacenamiento son significativamente mayores que en PO21A, hecho que también se atribuye a la escasa profundidad de PO21B. Por lo tanto, el resultado de los parámetros hidráulicos (Tf y Sf) obtenidos con este piezómetro, se consideran anómalos y su mayor aporte radica en la verificación de la existencia de comunicación hidráulica en el medio fisurado, a diferentes profundidades.

Con **Theis** (Figura 41) se tiene:

$$Tf = 351 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

Pozo de observación PO22A (equivale a GWP-22A)

Alcanzó una profundidad final de 102 m atravesando andesitas desde 7 m. El filtro se ubica entre 84 y 102 m (Figura 28) y está a 100,1 m de distancia de PB20.

En la Figura 41 se visualiza un buen alineamiento entre 90 y 1800' de bombeo. Aplicando **Jacob** se tiene:

$$Tf = 48 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,3 \cdot 10^{-4}$$

Con **Theis** (Figura 42) se tiene:

$$Tf = 46 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,6 \cdot 10^{-4}$$

Pozo de observación PO22B (equivale a GWP-22B)

Como PO21B es un pozo somero, en este caso de 36 m de profundidad y que observa un comportamiento hidráulico muy parecido al primero; o sea responde al bombeo de PB20, pero en forma retardada.

En la figura 43 se observa un salto brusco de la depresión entre 120' (0,15 m) y 180' (1,21 m), que no tiene explicación clara. A partir de allí y hasta la finalización del ensayo la depresión sólo se incrementa en 0,15 m. La recta tiene una pendiente muy suave y aplicando **Jacob** se tiene:

$$\mathbf{Tf = 370 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 4,2 \cdot 10^{-7}}$$

La transmisividad está en el orden de PO21B, pero el coeficiente de almacenamiento da un valor absurdo, menor aún que el de compresibilidad del agua.

Con **Theis** (Figura 44):

$$\mathbf{Tf = 267 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 5,5 \cdot 10^{-6}}$$

En la Figura 45 se representa en relación semilogarítmica a la depresión versus el tiempo de todos los pozos de observación. En la misma se visualizan pendientes similares en PO3, PO21A y PO22A, cuyos resultados se asumen como representativos de los parámetros hidráulicos del acuífero fisurado andesítico, en el valle, aguas abajo de la Veta 49. Promediando los valores de Jacob, con los de Theis se tiene:

$$\mathbf{Tf = 45 \text{ m}^2/\text{d} \quad \mathbf{Sf = 4,1 \cdot 10^{-4}}$$

En la tabla 7 se indican los resultados obtenidos con los ensayos de bombeo.

b) Recuperación

El pozo de bombeo **PB20** presenta una curva de recuperación muy tendida (Figura 46), en la que recién a los 152' de detenido el bombeo, se logró el 50% (3,54 m) de la depresión final (7,1 m). Al finalizar las mediciones (1320') el nivel dinámico aún se ubicaba a 1,22 m por debajo del estático de partida (0,43 m).

La disposición de puntos de depresión residual respecto a t/t' , es cóncava hacia arriba lo que limita el cálculo de la transmisividad. De cualquier manera, en la Figura 47 se intenta una interpretación que deriva en una **$Tf = 32 \text{ m}^2/\text{d}$** .

El pozo de observación **PO3** observa un buen alineamiento entre t/t' 700 y 182 (Figura 48) del que surge **$Tf = 61 \text{ m}^2/\text{d}$** .

El pozo de observación **PO21A**, también presenta una forma de tipo cóncava hacia arriba para la depresión residual versus t/t' (Figura 49) hasta $t/t' = 9,4$; a partir de allí y hasta el fin de la recuperación ($t/t' = 3,1$) se aprecia un alineamiento aceptable del que se obtiene: **$Tf = 31 \text{ m}^2/\text{d}$** .

El pozo de observación **PO22A** observa una disposición de puntos similar al anterior, pero con un mejor alineamiento (Figura 50), que se manifiesta entre $t/t' = 15,7$ y la finalización de la recuperación ($t/t' = 3,1$). Adoptando dicho alineamiento se tiene: **$Tf = 45 \text{ m}^2/\text{d}$** .

No se analiza el comportamiento de los pozos PO21B y PO22B, porque como ya se mencionó están terminados a menor profundidad que PB20 y ello hace que brinden valores de transmisividad significativamente mayores que los reales.

Resumiendo:

- El ensayo de bombeo # 1, pese a sufrir algunas interrupciones imprevistas, brindó una buena definición de los parámetros hidráulicos del acuífero fisurado andesítico, en el valle, aguas abajo de la Veta 49.
- El pozo de bombeo (PB20) erogó un caudal medio de 23,5 m³/h durante 2825'. Se partió de un nivel estático de 0,43 m y se llegó a un dinámico final de 7,5 m, pero sin alcanzar la estabilización; la depresión fue de 7,1 m y el caudal específico de 3,3 m³/h.m.
- De los 5 pozos de observación, sólo 3 funcionaron correctamente (PO3, PO21A y PO22A) pues están terminados a profundidades similares a la del pozo de bombeo.
- Los parámetros hidráulicos medios derivados de aplicar los métodos de Jacob y de Theis fueron:

$$Tf = 45 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 4,1 \cdot 10^{-4}$$

- El coeficiente de almacenamiento es el de un acuífero confinado de bajo grado.
- Resulta complicado el cálculo de la conductividad hidráulica, debido a que es difícil cuantificar el espesor productivo del medio fisurado ya que éste varía significativamente en distancias cortas. De cualquier manera, adoptando el espesor saturado productivo registrado en PB20 (70 m) resulta una permeabilidad $K_f \approx 0,6 \text{ m/d}$. Este valor es equivalente al de una arena muy fina.
- Durante el bombeo no se llegó a la estabilidad hidráulica y la recuperación fue bastante lenta, lo que apunta a que el cono no alcanzó un ámbito de recarga y a que la salida del sistema fue mayor que la entrada, por lo que el agua extraída derivó fundamentalmente de la reserva.

11.3.3.2. Ensayo # 2

Se realizó a caudal variable, empleando a **PB19** como pozo de bombeo y a **P07, P016 y P018**, como pozos de observación. Se ubica en el open pit previsto para el laboreo de la Veta 49 (Mapa 8).

Debido a la baja productividad de PB19, no se pudo superar 2,5 m³/h en el tercer escalón, donde se alcanzó la máxima depresión (25,06 m). Considerando el caudal medio de este escalón (2,1 m³/h) el específico fue de sólo 0,084 m³/h.m (84 L/h.m).

PB19 está perforado hasta 137 m de profundidad, habiendo registrado un perfil predominantemente andesítico hasta 60 m siguiendo, entre 60 y 120 m, andesitas con venas cuarzosas y entre 120 y 137, venas cuarzosas dominantes en una caja andesítica (Figura 32).

El primer escalón insumió 180' a un caudal medio de 0,55 m³/h; se partió de un nivel estático de 31,94 m y se llegó a un dinámico de 34,08, con una depresión de 2,14 m y un caudal específico de 0,26 m³/h.m. En las planillas del Anexo IV, se vuelcan las mediciones realizadas en los pozos empleados en el ensayo # 2.

En la Figura 51 se representa en relación aritmética a la depresión en función del caudal y del tiempo. En la misma se aprecia un marcado incremento de la depresión, con una tendencia más declinante a medida que aumenta el caudal. En el

primer escalón la tendencia del nivel piezométrico es suavemente descendente con un $Q_e = 0,26 \text{ m}^3/\text{h}$. En el segundo, la depresión (s) se incrementa a 10,49 m para un incremento de $Q = 1,02 \text{ m}^3/\text{h}$ y un $\Delta Q_e = 0,097 \text{ m}^3/\text{h.m}$ y finalmente en el tercer escalón, para un $\Delta Q = 0,53 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta s = 12,42 \text{ m}$ y $\Delta Q_e = 0,043 \text{ m}^3/\text{h.m}$. Es importante señalar que en el 3er. escalón, el caudal específico hubiese sido menor aún, de haber continuado con el bombeo hasta 180' como los dos anteriores, hecho que no pudo concretarse porque se trabó la sonda piezométrica a partir de la última lectura de nivel dinámico (57,00 m) a los 90' de iniciado el escalón.

El pozo de observación **P07**, ubicado a 3,25 m de PB19 registró 1,11 m de depresión al finalizar el 1er. escalón, 3,83 m al finalizar el 2do. y 5,39 m al terminar el ensayo.

El pozo **P016**, a 57,9 m de PB19, sólo registró 0,13 m de depresión al finalizar el 3er. escalón.

Resumiendo:

- El ensayo # 2 a caudal variable indicó un muy bajo rendimiento de PB19, con un caudal máximo medio de $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ y una depresión final de 25,06 m, lo que deriva en un caudal específico de $0,084 \text{ m}^3/\text{h.m}$.
- También se observó una disminución significativa del caudal específico que pasó de $0,26 \text{ m}^3/\text{h.m}$ en el 1er. escalón para $Q = 0,55 \text{ m}^3/\text{h}$, a $0,097 \text{ m}^3/\text{h.m}$ para un $\Delta Q = 1,02 \text{ m}^3/\text{h}$ y finalmente a $0,043 \text{ m}^3/\text{h.m}$ para un $\Delta Q = 0,53 \text{ m}^3/\text{h}$ en el 3er. escalón.
- La disminución exponencial del caudal específico, es producto del flujo turbulento en el medio fisurado.
- No se alcanzó la estabilidad hidráulica en ninguno de los escalones.

11.3.3.3. Ensayo # 3

a) Bombeo

También se realizó bombeando el pozo **PB19**, pero a caudal constante. Las mediciones en el pozo de bombeo sólo pudieron efectuarse hasta 20' de iniciado el ensayo, porque la sonda piezométrica se trabó a 52 m y a partir de allí no se pudo

seguir la evolución de PB19, pero sí la de los pozos de observación **PO7**, **PO16** y **PO18** (Anexo IV).

PB19 partió de un nivel estático de 33,09 y llegó a un dinámico de 51,61 m a los 20' del inicio. La depresión fue de 18,52 m, el caudal medio 2,4 m³/h y el caudal específico parcial 0,13 m³/h.m.

En la Figura 52 se representa la curva de depresión-tiempo, en relación aritmética y de la misma se desprende una tendencia fuertemente descendente entre los niveles dinámicos registrados a 15' (17,035 m) y a 20' (18,525 m).

El pozo de observación **P07**, ubicado a 3,25 m del de bombeo, registró una depresión final de 6,55 m, pues arrancó con un estático de 33,23 m y llegó a un dinámico de 39,78 m.

En la Figura 53 se representa en relación semilogarítmica a la depresión versus el tiempo. En la misma se aprecia un buen alineamiento entre 90 y 840' de ensayo. Aplicando Jacob se tiene:

$$Tf = 1,9 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 5,7 \cdot 10^{-3}$$

Con Theis (Figura 54):

$$Tf = 2,1 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 6,1 \cdot 10^{-3}$$

La transmisividad ronda **2 m²/d**, o sea es 22,5 veces menor que la media estimada en el ensayo # 1 (45 m²/d) y el coeficiente de almacenamiento está en el orden de los acuíferos semiconfinados.

Los pozos de observación **P016** y **P018** tuvieron comportamientos anómalos por los que sus curvas no fueron representadas.

Resumiendo:

- La transmisividad del acuífero fisurado en el ámbito de la Veta 49 (2 m²/día) es significativamente menor que en el valle aguas abajo de la misma (45 m²/d). Ello hace que también sea notoriamente menor el caudal específico de PB19 (0,1 m³/h.m) respecto de PB20 (3,3 m³/h.m).

- La conductividad hidráulica, asumiendo un espesor productivo de 50 m en PB19 (Figura 32), es del orden de 0,04 m/d, equivalente al de un limo-arenoso.

11.3.3.4. Ensayo # 4

a) Bombeo

Se realizó bombeando el pozo **PB27 (PW-27)** durante 4320' a un caudal medio de 24,6 m³/h. El nivel estático fue de 2,70 m y el dinámico final de 6,17 m, por lo que la depresión alcanzó a 3,47 m y el caudal específico $Q_e = 7,1$ m³/h.m. Este pozo, pese a no haber alcanzado la estabilidad hidráulica, fue el de mayor rendimiento de los 4 ensayados.

En la Figura 55 se visualiza una tendencia declinante continuada del nivel piezométrico, indicativa de la ausencia de recarga en el lapso bombeado (4.320').

PB27 se ubica en el ámbito previsto para la construcción del dique de colas (Mapa 8), en la vecindad de la Laguna Mojón Grande.

En la descripción litológica se cita **basalto** desde 6 m hasta la profundidad final (100 m). El filtro ocupa el tramo de 48 a 96 m, es del tipo SCH 80 - PVC, con una ranura de 0,5 mm (Figura 35). En dicha figura también se aprecia que el flujo de entrada crece de 1 L/s (3,6 m³/h) a 25 m de profundidad, hasta 8 L/s (29 m³/h) entre 85 y 95 m.

Lamentablemente los pozos de observación disponibles se ubican a distancias considerables del de bombeo, por lo que el resultado del ensayo debe tomarse con reservas.

Pozo de observación PO26A (equivale a GPW-26A)

Es el más cercano a PB27, ubicándose a 183,3 m y tiene la misma profundidad (100 m). El filtro de PVC es del tipo SCH - 80, de 0,5 mm de abertura y se emplaza de 78 a 96 m. En la Figura 31 se cita, a partir de 6 m y hasta la profundidad final, un componente litológico del tipo piroclástico; o sea diferente a PB27 (basalto). También se menciona un flujo de entrada de 1 a 4 L/s de 60 a 100 m.

En la Figura 56 (semilogarítmica) se aprecian dos alineamientos con pendientes muy diferentes. El primero entre 3 y 420' de iniciado el bombeo, deriva, aplicando Jacob en:

$$T_f = 382 \text{ m}^2/\text{d} \quad S_f = 5,1 \cdot 10^{-5}$$

El segundo, entre 2157' y la última medición (4315'), no tiene buena definición, pero una pendiente notoriamente mayor que la anterior. Es la que se representa en la Figura 56 y brinda:

$$Tf = 46 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

O sea una transmisividad 8 veces menor y un coeficiente de almacenamiento 25 veces mayor.

Resulta evidente la interposición de barreras impermeables en el desarrollo lateral del cono de depresión. Por ello, si bien los parámetros correspondientes al primer tramo son más representativos del comportamiento hidráulico del acuífero fisurado, a los fines de la predicción respecto a la evolución temporal de la superficie piezométrica, deben emplearse los derivados del segundo (**$Tf = 46 \text{ m}^2/\text{d}$ $Sf = 1,3 \cdot 10^{-3}$**).

En la Figura 57 se observa una coincidencia aceptable entre los puntos que representan a las depresiones medidas y la curva de Theis, entre 6 y 420'. A partir de allí y hasta la finalización de los registros, los puntos se desplazan por encima de la curva teórica, lo que indica la llegada del cono de depresión a barreras hidráulicas, tal como se mencionó en el punto anterior.

Aplicando Theis al tramo inicial del ensayo (hasta 420') se tiene:

$$Tf = 370 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 6,0 \cdot 10^{-5}$$

Considerando el segundo tramo, que es el representado en la Figura 57, se obtiene:

$$Tf = 45 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

Estos últimos valores, son prácticamente iguales a los calculados con Jacob.

Pozo de observación PO26B (equivale a GW-26B)

Está ubicado dentro de la misma perforación que contiene a P026A y a P026C (Figura 31). P026B tiene 59 m de profundidad, con un filtro SCH - 80, de PVC y 0,5 mm de abertura, entre 41 y 59 m. La aislación con P026A y P026C se realizó empleando bentonita y cemento. También está ubicado a 183,3 m de PB27.

En la Figura 58 se aprecia un comportamiento muy parecido al de PO26A o sea, un tramo inicial (hasta 420'), con un alineamiento de pendiente mucho menor que el que le sigue, especialmente a partir de 2.160'.

Considerando la recta correspondiente al primer tramo y aplicando Jacob se tiene:

$$Tf = 477 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 5,7 \cdot 10^{-4}$$

Mientras que con el segundo, que es el representado en la Figura 58:

$$Tf = 73 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,5 \cdot 10^{-3}$$

Estos últimos parámetros hidráulicos son algo mayores que los calculados en PO26A ($Tf = 46 \text{ m}^2/\text{d}$ $Sf = 1,3 \cdot 10^{-3}$). Se mantiene para este pozo el criterio citado en PO26A, respecto a que deben considerarse los efectos producidos por las barreras hidráulicas, en las predicciones de depresión para bombeos prolongados. Estas, además, son las responsables de la disminución de la transmisividad.

Aplicando Theis (Figura 59) se repite el comportamiento observado en PO26A, con una buena coincidencia inicial hasta 420' y luego un desplazamiento de las depresiones medidas por encima de la curva teórica. Empleando el primer tramo:

$$Tf = 466 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 6,2 \cdot 10^{-4}$$

Considerando el segundo tramo, que es el representado en la Figura 59, con una coincidencia regular a partir de 1440':

$$Tf = 74 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,8 \cdot 10^{-3}$$

Valores estos últimos prácticamente iguales a los calculados con Jacob.

El PO26B, pese a tener una profundidad (59 m) significativamente menor que el pozo de bombeo PB27 (100 m), responde ante la extracción, pues el tramo filtrante de PB27 (48 a 96 m) enfrenta parte del filtro de PO26B (41 a 59 m).

Pozo de observación PO26C (equivale a GWP-26C)

En la Figura 31 se representa, además de la litología, la velocidad de avance y

el flujo de entrada, el perfil de entubamiento de los 3 piezómetros (PO26A, PO26B y PO26C) dentro del nicho correspondiente a la perforación de $\varnothing 5,75''$.

PO26C tiene 30 m de profundidad y un filtro entre 12 y 24 m, cuyo extremo inferior queda 25 m por encima del superior correspondiente a PB27. Sin embargo, PO26C deprime durante el bombeo, lo que demuestra la existencia de comunicación hidráulica vertical desde profundidades someras.

En la Figura 60 se repite el comportamiento mencionado para PO26A y PO26B, en el sentido de producirse 2 alineamientos.

Adoptando el primero (hasta 905') con Jacob se tiene:

$$Tf = 477 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,4 \cdot 10^{-3}$$

Mientras que el segundo, con un alineamiento regular, brinda:

$$Tf = 112 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 4,0 \cdot 10^{-3}$$

Tanto la transmisividad como el coeficiente de almacenamiento derivados de PO26C, son bastante mayores que los calculados en PO26A ($Tf = 45 \text{ m}^2/\text{d}$ $Sf = 1,5 \cdot 10^{-3}$) que son los más representativos del acuífero fisurado ensayado, debido a que tiene la misma profundidad que el pozo de bombeo.

En la Figura 61, comparando el segundo tramo de la curva de ensayo con la de Theis se tiene:

$$Tf = 114 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 4,6 \cdot 10^{-3}$$

Pozo de observación PO15A (equivale a GWP-15A)

Se ubica a 224,2 m del pozo de bombeo y a una profundidad similar (103 m). El filtro de PVC con ranuras manuales, ocupa el tramo de 75 a 99 m (Figura 23).

En el perfil litológico se citan andesitas hasta 58 m y piroclastitas desde 58 m hasta el fondo (103 m). En lo referente al flujo, se menciona un caudal de entrada de 1 L/s (3,6 m³/h) de 80 a 85 m y de 2 a 3 L/s, entre 90 y 103 m.

En la Figura 62 se repite el comportamiento señalado para PO26A y PO26B, o sea el fuerte cambio de pendiente, con un tramo inicial más suave, en el caso de PO15A hasta 894' y otro mucho más fuerte, a partir de 2160'.

Considerando el primer tramo, Jacob brinda:

$$Tf = 502 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 8,3 \cdot 10^{-4}$$

El segundo tramo, como se aprecia en la Figura 62, presenta un alineamiento pobre, con tendencia a mantener la forma curva y a continuar con el incremento de la depresión:

$$Tf = 92 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,2 \cdot 10^{-3}$$

El pozo de observación **PO15B**, a 224,2 m de PB27 registró una depresión de sólo 1 cm al cabo de 3605' de bombeo y el **PO1** a 293,85 m de PB27, acusó 35 cm.

b) Recuperación

En la Figura 63 se representa en relación aritmética a la recuperación en función del tiempo, del pozo de bombeo **PB27**. En los primeros 90' el nivel dinámico se ubicó a 1,95 m por debajo del estático (2,70 m), por lo que la recuperación alcanzó al 44% de la total (3,47 m). A partir de allí la curva se hace tendida y al finalizar las mediciones de recuperación (1446'), el nivel hidráulico estaba a 3,80 m, o sea aún quedaba 1,10 m por recuperar (el 32% del total).

En relación semilogarítmica (Figura 64) aparecen tres tendencias. La primera, hasta $t/t' = 145$ (30') brinda:

$$Tf = 405 \text{ m}^2/\text{d}$$

La segunda, entre $t/t' = 217$ (20') y $t/t' = 19$ (240') da:

$$Tf = 219 \text{ m}^2/\text{d}$$

La tercera, entre $t/t' = 9$ (540') y el fin de las mediciones (1446'), que es la representada en la Figura 64, deriva en:

$$\mathbf{Tf = 96 \text{ m}^2/\text{d}}$$

El pozo de observación **PO26A** (Figura 65) presenta dos tendencias. La primera entre $t/t' = 541$ (8') y $t/t' = 15,4$ (300') da:

$$\mathbf{Tf = 322 \text{ m}^2/\text{d}}$$

La segunda, que es la que se representa en la Figura 65, entre $t/t = 11,3$ (420') y el fin de los registros, brinda:

$$\mathbf{Tf = 153 \text{ m}^2/\text{d}}$$

El pozo de observación **PO26B** (Figura 66) también presenta dos tendencias en el alineamiento. La primera, entre $t/t' = 109$ (40') y $t/t' = 9$ (540') deriva en:

$$\mathbf{Tf = 480 \text{ m}^2/\text{d}}$$

La segunda, entre $t/t' = 9$ (540') y el fin de los registros, brinda:

$$\mathbf{Tf = 209 \text{ m}^2/\text{d}}$$

El pozo de observación **PO26C** (Figura 67), repite la doble tendencia al alineamiento. La inicial, entre $t/t' = 109$ (40') y $t/t' = 9$ (540'), da:

$$\mathbf{Tf = 691 \text{ m}^2/\text{d}}$$

La final, entre $t/t' = 9$ (540') y $t/t' = 4$ (1448'), brinda:

$$\mathbf{Tf = 352 \text{ m}^2/\text{d}}$$

El pozo de observación **PO15A** (Figura 68), entre $t/t' = 109$ (40') y $t/t' = 11,3$ (420') da:

$$\mathbf{Tf = 784 \text{ m}^2/\text{d}}$$

Entre $t/t' = 11,3$ (420') y $t/t' = 4$ (1446'), brinda:

$$Tf = 372 \text{ m}^2/\text{d}$$

El pozo de observación **PO1** registró una recuperación de sólo 7 cm.

Resumiendo:

- El pozo de bombeo **PB27**, emplazado en el ámbito previsto para la construcción del dique de colas, y perforado en su totalidad en una roca del tipo basáltico, fue el que brindó el mayor caudal específico (7,1 m³/h.m) de todos los ensayados. Sin embargo, el nivel hidráulico mantuvo una tendencia descendente a lo largo de todo el bombeo (4320'), lo que indica ausencia de una recarga equivalente a la extracción.
- Los pozos de observación se ubican a distancias considerables respecto al de bombeo, condición que en general resulta en valores de transmisividad mayores a los reales.
- Los 4 pozos de observación analizados presentan un comportamiento hidráulico similar, con dos tendencias al alineamiento en relación semilogarítmica. La primera, para los tiempos iniciales (hasta 420' en PO26A), brinda una transmisividad del orden de 380 m²/d y un almacenamiento de $5 \cdot 10^{-5}$. La segunda, con un desarrollo a partir de unos 2100' y hasta finalizar el ensayo, da una transmisividad significativamente menor (**45 m²/d**) y un almacenamiento significativamente mayor (**$1,3 \cdot 10^{-3}$**). Estos últimos valores se consideran más representativos del comportamiento del acuífero fisurado, para predicciones de depresión durante bombeos prolongados.
- Adoptando el espesor productivo reconocido en PB27 (70 m), la permeabilidad equivalente del medio fisurado (K_f) es del orden de **0,6 m/día**.
- El cambio de pendiente, es producto de la intersección del cono con barreras hidráulicas.

- PO26A es el pozo de observación más representativo en relación al cálculo de los parámetros hidráulicos, pues es el más cercano al de bombeo que tiene la misma profundidad, pero un componente litológico diferente, constituido en todo su desarrollo (100 m) por rocas piroclásticas. En el perfil de PO15A se citan andesitas en la sección superior y piroclastitas en la inferior. Estos cambios litológicos en cortas distancias apuntan a un origen tectónico, que puede ser el responsable de la existencia de las barreras hidráulicas.
- Los parámetros hidráulicos transmisividad y permeabilidad calculados en este ensayo son iguales a los determinados en el # 1 (45 m²/d y 0,6 m²/d), mientras que el coeficiente de almacenamiento ($1,3 \cdot 10^{-3}$) es 3,2 veces mayor que del Ensayo # 1 ($4,1 \cdot 10^{-4}$).

11.3.3.5 Ensayo # 5

Este ensayo, realizado mediante el bombeo de **PB23**, en el ámbito previsto para la construcción de la batería de pozos de explotación para el emprendimiento minero, se interrumpió imprevistamente a 720' de iniciada la extracción, debido a una falla eléctrica. Se partió de un nivel estático de 24,94 m y se llegó a un dinámico de 51,91 m (depresión 26,97 m), para un caudal de 15,3 m³/h, lo que brindó un caudal específico de 0,6 m³/h.m. Debido al inconveniente mencionado, se lo repitió al día siguiente, abarcando 2880' de bombeo continuado y 1620' de recuperación. Este último ensayo, identificado con el # 6, es el que se interpretará seguidamente, para establecer el comportamiento hidráulico del acuífero en el ámbito del campo de pozos.

11.3.3.6 Ensayo # 6

a) Bombeo

Pozo de bombeo **PB23** (equivale a **PW-23**)

Este pozo fue el impulsor del ensayo y funcionó en forma continuada durante 2 días a un caudal medio de 16,4 m³/h. El nivel estático fue de 25,25 m y el dinámico final de 54,54 m, con una depresión de 29,29 m y un caudal específico de 0,6 m³/h.m.

Respecto a la profundidad del nivel estático, es importante señalar la marcada diferencia entre **PB23** (25,25 m) y **PB20** (0,43 m), pese a ubicarse ambos en el

mismo ámbito geomorfológico (valle). Además, la menor cota topográfica de PB23 (1.238 msnm) en relación a PB20 (1.260 msnm) indicaría, para un comportamiento hidrodinámico subterráneo normal, una menor profundidad del agua en PB23. La inversión hidráulica respecto a la topografía, se interpreta como producto de la interposición de una barrera impermeable aguas abajo de PB20. Esta barrera es muy probable que se deba a la presencia en el subsuelo de los diques de cuarzo que contienen a las vetas 49 y Nelson.

En la Figura 34 se describe el perfil litológico como integrado por areniscas volcánicas desde 4 hasta 97 m (profundidad final) y con un flujo de ingreso que crece desde 1 L/s a 50 m hasta 4 L/s a 75 m y decrece a 2-3 L/s entre 80 y 95 m. El filtro, del tipo SCH 80 - PVC, de 0,5 mm de abertura, se instaló entre 49 y 91 m.

En la Figura 69 se reproduce en relación aritmética, a la depresión de PB23 en función del tiempo y en la misma se aprecia un fuerte descenso inicial, con una depresión a los 10' (23,12 m) que alcanzó al 79% de la final (29,30 m). También que existe una tendencia a la estabilización del nivel piezométrico a partir de 2160' de bombeo, constituyéndose en el único de los pozos ensayados en alcanzar el equilibrio hidráulico. En el Anexo IV pueden consultarse las planillas de ensayo de este y del resto de los pozos ensayados.

Lamentablemente los pozos de observación disponibles está ubicados a distancias considerables de PB23.

Pozo de observación PO24A (equivale a GWP-24)

Es el que mayor depresión registró (0,52 m) y está ubicado a 228,8 m de PB 23. En la Figura 29 se indica un perfil litológico similar a PB23, una profundidad final de 102 m, filtro entre 78 y 96 m y un flujo de entrada creciente de 0,5 a 1,5 L/s, entre 75 y 95 m.

En la Figura 70 se representa a la depresión respecto al tiempo, en relación semilogarítmica, observándose un buen alineamiento a partir de 1200' y hasta finalizar el bombeo (2880'). Considerando la recta resultante y empleando Jacob se obtiene:

$$Tf = 80 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 1,8 \cdot 10^{-3}$$

En relación logarítmica (figura 71) y empleando Theis se tiene:

$$Tf = 43 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,5 \cdot 10^{-3}$$

Pozo de observación PO14 (equivale a GWP-14)

Se ubica a 230,3 m de PB23, tiene 76,5 m de profundidad y filtro fabricado manualmente, de 42 a 72 m. en el perfil se cita arenisca hasta 34 m y arenisca cuarzosa desde 34 hasta 91 m (Figura 22). Se menciona un ingreso de 2 L/s alrededor de los 65 m de profundidad.

En la Figura 72 se reproduce a la depresión versus el tiempo en relación semilogarítmica. En la misma se observa un regular alineamiento entre 1445 y 2880' con el que se obtiene, empleando Jacob:

$$Tf = 116 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,3 \cdot 10^{-3}$$

Con Theis (Figura 73) se tiene:

$$Tf = 120 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,7 \cdot 10^{-3}$$

El pozo PO25A deprimió sólo 1 cm y PO25B 7,5 cm, pero en forma discontinua, por lo que no se los incluye en el análisis del ensayo.

Pozo de observación PO24B

Está ubicado en el mismo nicho que PO24A, pero tiene sólo 54 m de profundidad, con un tramo filtrante entre 30 y 48 m. Manifiesta una respuesta más atenuada que PO24A, dado que su depresión final fue de 0,25 m (Anexo IV).

En la Figura 74 se representa en relación semilogarítmica a la depresión frente al tiempo.

El alineamiento es aceptable entre 1440 y 2880'. Aplicando Jacob se tiene:

$$Tf = 117 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 3,9 \cdot 10^{-3}$$

En la Figura 75 es difícil lograr una buena coincidencia entre las curvas de ensayo y teórica, pese a lo cual puede intentarse el cálculo:

$$Tf = 35 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 4,2 \cdot 10^{-3}$$

b) Recuperación

Se registró durante 1620', al cabo de los cuales la depresión residual en PB23 fue de 0,11 m, por lo que el índice de recuperación alcanzó al 99,6% de la total (29,30 m). El análisis de la recuperación valida la interpretación realizada en la faz de bombeo, en el sentido de que PB23 recibió durante el ensayo un aporte (recarga) equivalente al volumen extraído.

Esto resulta sencillo de explicar, teniendo en cuenta que las areniscas volcánicas manifiestan un comportamiento dual con porosidades primaria y secundaria y que además PB23 por su posición, recibe un aporte por flujo de prácticamente de la totalidad del ámbito estudiado, salvo del sector deprimido donde se ubica la batería de PB27 (dique de colas – Mapa 9).

En la Figura 76 se vuelca a la recuperación de **PB23** respecto al tiempo en relación aritmética, apreciándose una fuerte recuperación inicial que a los 10', alcanzó al 78% de la total.

En la Figura 77 se reproduce a la depresión residual (eje aritmético) respecto a t/t' (eje logarítmico), con un alineamiento aceptable a partir de 300' de recuperación que brinda:

$$\mathbf{Tf = 35 \text{ m}^2/\text{d}}$$

En la Figura 78 se representa la depresión residual versus t/t' del pozo **PO24A**, con un buen alineamiento aceptable a partir de 780' que da:

$$\mathbf{Tf = 76 \text{ m}^2/\text{d}}$$

En la Figura 79 se emplea el mismo método (Theis – Jacob) en el pozo **PO14**, observándose un alineamiento aceptable a partir de 780':

$$\mathbf{Tf = 98 \text{ m}^2/\text{d}}$$

Finalmente en la Figura 80 se representa a la depresión residual versus t/t' del pozo **PO24B**, con un buen alineamiento a partir de 780' que deriva en:

$$\mathbf{Tf = 174 \text{ m}^2/\text{d}}$$

Resumiendo:

- El pozo de bombeo **PB23**, ubicado en el valle interpuesto entre las dos serranías que contienen a las vetas 49 y Nelson, en el sitio previsto para la construcción de la batería de pozos de explotación, fue el único de los ensayados en lograr la estabilidad hidráulica a partir de 2160' de iniciado el bombeo. Alcanzó un caudal específico de 0,6 m³/h.m, con un caudal medio de 16,4 m³/h, durante 2 días de extracción continuada. Este pozo de 97 m de profundidad atravesó, desde 4 m y hasta el fondo, una secuencia de areniscas volcánicas correspondiente a la facies sedimentaria de la Fm. Taquetrén.
- A las areniscas volcánicas se les asigna un comportamiento hidráulico dual, con una porosidad primaria intergranular y otra secundaria por fisura.
- La diferencia en la posición del nivel piezométrico en reposo entre PB20 (0,43 m) ubicado aguas arriba y PB23 (25,25 m), se interpreta como producto de la interposición de una barrera impermeable aguas abajo de PB20. Esta barrera muy probablemente se deba a la presencia en el subsuelo de los diques de cuarzo que contienen a las vetas 49 y Nelson.
- Considerando los resultados obtenidos durante la faz de bombeo en los pozos de observación PO24A, PO14 y PO24B, se obtienen los siguientes parámetros hidráulicos medios, que se consideran representativos del ámbito ensayado:

$$Tf = 100 \text{ m}^2/\text{d} \quad Sf = 2,3 \cdot 10^{-3}$$

- Asumiendo un espesor saturado productivo del acuífero, de acuerdo al perfil de PB23 de 45 m, se tiene una permeabilidad **Kf ≈ 2 m/d**, que se corresponde con una litología de arenas muy finas.

11.4. Hidrodinámica

11.4.1. Lateral

En el Mapa 9 se representa la red de flujo subterráneo mediante curvas equipotenciales, construidas a partir de las profundidades del agua medidas en 81 pozos. Para la confección de las curvas, las profundidades fueron transformadas en

potenciales hidráulicos, deduciéndoles las cotas de los puntos de medición (bocas de pozos).

Para la construcción de la red de flujo se emplearon 31 pozos de bombeo, piezómetros y pozos de monitoreo, identificados con la letra W (W23) y 64 pozos de exploración minera, identificados sólo con un número (51-2), o con un número precedido de la letra A (A317). Dado que la mayoría de las perforaciones de exploración minera fueron oblicuos, la profundidad medida del agua se corrigió para llevarla a la posición vertical.

En la Tabla 1 se indica el # de pozo, la inclinación, la profundidad inclinada y vertical, y la cota del nivel de agua en cada pozo.

El censo hidrogeológico se realizó en la primer quincena de marzo del 2006.

En el mapa con la red de flujo subterráneo se aprecia una distribución concentrada de puntos de medición en los sectores de las vetas Nelson y 49, dique de colas y campo de pozos, en ese orden, pero también huecos importantes particularmente entre las vetas y el campo de pozos.

El ámbito abarcado por el relevamiento es de unos 8 km² (800 ha) y la escala de representación aproximada 1:15.000.

El análisis general del flujo subterráneo muestra una orientación dominante hacia el O (campo de pozos) con componentes secundarias paralelas al rumbo de las vetas, hacia el SSO en el caso de la Veta 49 y hacia el NNE en la vecindad de la Veta Nelson. Otra componente secundaria del flujo se orienta de O-E hacia el dique de colas, en coincidencia con la Laguna Mojón Grande.

De la comparación entre la topografía y el flujo surge el neto control que ejerce la primera en el movimiento del agua subterránea. En este sentido la pendiente topográfica no sólo controla la orientación del flujo, sino también el valor del gradiente hidráulico (a mayor pendiente mayor gradiente y a menor pendiente menor gradiente).

Lo antedicho puede apreciarse en la depresión hidráulica que concentra el flujo subterráneo, en coincidencia con el valle entre las dos serranías que lo limitan por el N y el S y en el escaso gradiente hidráulico entre las equipotenciales de 1.260 y 1.255 m, que sólo es de 0,4%. El pronunciado lóbulo hacia el Oeste de la isolínea de 1.260 m, se interpreta como producto de la barrera hidráulica originada por la interposición frente al flujo de los diques de cuarzo que contienen a la mineralización. Como contracuadro, en coincidencia con los faldeos que descienden al valle, en la

vecindad de las vetas Nelson y 49, el gradiente hidráulico llega a crecer hasta 27% en los alrededores de W19. Valores intermedios de gradiente hidráulico se dan en el valle, con flujo hacia el O, entre las equipotenciales de 1.250 y 1.225 m, con 3,5%.

Para lograr una red de flujo más representativa, es necesario ejecutar 9 pozos más; 5 al Norte de la línea de flujo E-O, que pasa por B y otros 4 al Sur de la misma (Mapa 9).

A efectos de estimar el flujo subterráneo se eligió como sección de paso a la equipotencial de 1.220 m, entre los puntos A y C diferenciando 2 subsecciones (AB y BC). La subsección AB tiene una longitud de 575 m y un gradiente hidráulico (i) medio de 0,025 medido entre las curvas de 1.225 y 1.215 m. Entre B y C hay 425 m de distancia curva y un i medio de 0,026.

Por lo tanto, considerando una transmisividad media $T_f = 100 \text{ m}^2/\text{d}$, obtenida en el ensayo # 6 (Campo de pozos) y aplicando Darcy se obtiene:

$$Q = T \cdot i \cdot L \quad Q_{AB} = T \cdot i_{AB} \cdot L_{AB} \quad Q_{BC} = T \cdot i_{BC} \cdot L_{BC}$$

$$Q_{AB} = 100 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 0,025 \cdot 575 \text{ m} = 1.437 \text{ m}^3/\text{d} = 17 \text{ L/s}$$

$$Q_{BC} = 100 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 0,026 \cdot 425 \text{ m} = 1.105 \text{ m}^3/\text{d} = 13 \text{ L/s}$$

$$Q_{TOT} = Q_{AB} + Q_{BC} = 2.542 \text{ m}^3/\text{d} \approx 30 \text{ L/s}$$

El flujo subterráneo natural en el ámbito del campo propuesto para los pozos, con los que se prevé abastecer el emprendimiento minero, es del orden de **2.500 m³/d (30 L/s)**.

Con la finalidad de preservar la condición hidrodinámica y evitar una disminución significativa del caudal subterráneo aguas abajo del campo de pozos, se considera conveniente no extraer más del 50% del mismo. Por lo tanto la extracción por bombeo no debe superar los **1.250 m³/d (15 L/s)**.

El flujo subterráneo mencionado (2.500 m³/d) es equivalente a la recarga en condiciones hidrodinámicas estacionarias, o sea sin variación en el volumen de agua almacenada. Si se considera la variación en el volumen almacenado, el flujo pasa a ser variable y en este caso, la recarga es equivalente al caudal subterráneo ± la variación.

En el caso que nos ocupa, el coeficiente de almacenamiento es bajo (10^{-3} a 10^{-4}) y también la porosidad efectiva, porque se trata de un acuífero con un comportamiento dual (porosidad intergranular y por fisura). Por lo tanto, a los fines de estimar la recarga se puede asumir con cierta representatividad la condición de flujo estacionario, De cualquier manera para verificar el comportamiento mencionado, sería conveniente elaborar más redes de flujo, agregando los 9 pozos propuestos, a partir de monitoreos efectuados en diferentes años y estaciones.

El método descrito para el cálculo de la recarga, se considera mucho más representativo que el que se fundamenta en el desarrollo de balances hídricos a nivel edáfico.

Respecto a la recarga de acuíferos en regiones áridas como la estudiada, Hernández (2005) concluye que generalmente convergen una serie de mecanismos que permite la concreción de la misma, entre los que se destacan:

- **Reducción de la pérdidas consuntivas.** Se refiere a la escasa transpiración que produce la vegetación de las zonas áridas.
- **Infiltración rápida.** Favorecida por la elevada permeabilidad del componente geológico superficial (gravas, arenas fluviales, arenas eólicas).
- **Concentración rápida.** Debida al flujo superficial rápido desde los ámbitos altos, constituidos por material rocoso, hacia las depresiones ocupadas por depósitos permeables, donde se produce la mayor infiltración.
- **Recarga diferida.** Producto de la fusión de la nieve o el hielo en primavera, o en sucesivos días soleados.

Al referirse a los métodos empíricos o semiempíricos, como el balance hídrico a nivel edáfico desarrollado por Thornthwaite y Mather 1957, concluye en que la estimación de la evapotranspiración real va a arrojar un estado deficitario y por ende no hay posibilidad de recarga subterránea. Sin embargo, la existencia de la misma se verifica por la presencia de cantidades importantes de agua subterránea joven y de baja salinidad.

11.4.2. Vertical

Se analiza en forma preliminar el flujo subterráneo vertical, a partir de los registros realizados por Aquiline en los pozos en monitoreo. En la Figura 81 se indican las variaciones de nivel piezométrico registradas entre agosto/04 y febrero/05.

En la misma se aprecia una tendencia ascendente del nivel hidráulico en los pozos GWP4, GWP10, GWP12, GWP13 y GWP16, que no supera 1 m, salvo GWP13 con algo más de 3 m. Otro grupo de pozos manifiesta una tendencia descendente (GWP1, GWP2, GWP6, GWP7, GWP8, GWP9, GWP15B, GWP17 y GWP18), con una oscilación mayor al metro en los 3 primeros y menor en los restantes. Por último, los pozos GWP3B, GWP5, GWP14, GWP15A, GWP19, GWP20, GWP21A, GWP21B, GWP22A, GWP22B, PW23, GWP24A, GWP24B, GWP25A, GWP25B, GWP26B, PW27, todos los AQI y 58-2, mantienen una tendencia a la estabilidad piezométrica.

También se observan algunas oscilaciones puntuales, tanto descendentes (GWP1, GWP2, GWP3B, GW15B, PW19, GWP26B, AQI184, AQI191 y AQI 277), como ascendentes (GWP2, GWP5, GWP6, GWP14, GWP15B, PW19 y AQI290), que superan 1 y aún 4 m (GWP1).

Para verificar si existe correspondencia entre la precipitación y la recarga, será necesario disponer de los registros de la primera en la Estación Calcatreu y de un lapso mayor de mediciones del nivel piezométrico en los pozos que integran la red de monitoreo.

En virtud de la escasa capacidad de almacenamiento que posee el medio fisurado (andesitas), es esperable una mayor oscilación de la superficie piezométrica en éste respecto del medio con porosidad intergranular existente en los piedemontes, valles, terrazas fluviales y lagunas, y una oscilación intermedia en el acuífero de comportamiento dual, contenido en rocas piroclásticas y sedimentarias de origen volcánico (campo de pozos).

11.5. Hidroquímica

Para establecer las características químicas del agua subterránea, se tomaron 27 muestras: 8 en pozos de monitoreo, 8 en pozos de bombeo durante los ensayos, 3 en pozos oblicuos de exploración minera, 1 en pozo para el abastecimiento del campamento, 4 en aguadas de puestos, 1 en laguna, 1 en mallín y 1 en pozón vecino al emplazamiento previsto para el dique de colas. En los mapas 10 y 11 se indica la ubicación de los puntos de muestreo.

En la Tabla 2 se vuelcan los resultados de todas las muestras y en el Anexo V los protocolos del Laboratorio M.A.S. Agua, que tuvo a su cargo de realización de los análisis.

En los pozos de monitoreo, la salinidad total varía entre extremos de 5.400 (GWP1) y 260 mg/L (GWP2), con un promedio de 1.920 mg/L. La muestra correspondiente a GWP1 es clorurada-sódica y GWP3, GWP6, GWP10, GWP16, y GWP17 son sulfatadas-cálcicas. Las muestras con menor salinidad son bicarbonatadas: cálcica (GWP8) y sódica (GWP2). En los gráficos de Schoeller – Berkaloff (figuras 82 a 85) se pueden visualizar claramente los caracteres mencionados.

Las muestras obtenidas en los pozos ensayados oscilan entre 2.000 y 2.500 mg/L de sólidos totales disueltos en PB19 y PB20, en 1.000 mg/L (PB23) y 400 (PB27). Todas son sulfatadas cálcicas, salvo PB27(1) que es bicarbonatada-sódica-cálcica, pero que evoluciona a sulfatada-cálcica en la segunda extracción [PB27(2)].

Los pozos de exploración minera presentan salinidades totales entre 400 (AQI241) y 950 mg/L (AQI381) con aguas del tipo sulfatadas-cálcicas (AQI260 y AQI381) y bicarbonatada cálcica (AQI241).

El pozo para el abastecimiento del campamento, tiene una salinidad total muy baja (340 mg/L) y es agua del tipo bicarbonatada-cálcica.

Las muestras identificadas con las letras A a D, corresponden a pozos cavados, conocidos como aguadas, de los que se abastecen los pobladores de los puestos. A (Foto 11), B y C tienen salinidades entre 200 y 250 mg/L y son aguas bicarbonatadas-cálcicas; D registra 1.600 mg/L y es clorurada-sódica.

La muestra E es de un pozo excavado en la Laguna Lipetrén (3.500 mg/L) y la F de mallín (310 mg/L). El agua del sustrato de la laguna (Foto 12) es sulfatada-clorurada-sódica y la del mallín (F) bicarbonatada-sódica.

La muestra G se tomó de un pozo cavado o pozón, vecino a la Laguna Mojón Grande (Foto 9) y dio el mayor contenido salino del muestreo (64.200 mg/L), el agua es clorurada-sulfatada-sódica.

En las figuras 86 y 87 se representa la composición química de las muestras citadas, empleando el diagrama de Piper, en el que se vuelcan los porcentajes de los contenidos iónicos, expresados en meq/L. En el mismo se aprecia una concentración dominante de puntos en los campos con más del 50% de SO₄ y de Ca, seguidos por el CO₃H y el Na; en ninguna muestra domina el Mg.

Concluyendo: el agua con menor contenido salino (menos de 400 mg/L) es bicarbonatada, cálcica y sódica, la que tiene una salinidad intermedia (entre 500 y

2.500 mg/L) es sulfatada-cálcica y la de elevada salinidad (mayor de 3.000 mg/L) es clorurada sódica.

Este comportamiento tipifica la evolución química normal del agua subterránea en función de la salinidad.

11.6. Calidad

A efectos de establecer la aptitud del agua subterránea para consumo humano, se compararon los resultados de los análisis químicos con la norma de potabilidad del COFES (Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios), que es la que adopta la Provincia de Río Negro (Anexo VII). Este organismo diferencia dos grupos de sustancias en relación a la calidad del agua: en el primero incluye a aquellas que pueden afectar la **aceptabilidad** y en el segundo las que pueden afectar la **salud**.

Dentro de las vinculadas a la **aceptabilidad**, incluye a las **características físicas**: color, sabor, olor, turbiedad y dentro de los **componentes inorgánicos**, a los que les fija los límites superiores que siguen en mg/L: aluminio (0,2), cinc (3), cloruro (250), hierro (0,3), sodio (200) sulfato (250), sólidos disueltos totales (1.500), pH (6,5 - 8,5)*.

Aclara COFES que: “Las concentraciones no son números precisos. Pueden surgir reclamos a menores o mayores concentraciones dependiendo de circunstancias locales”.

Dentro de los componentes inorgánicos que **afectan a la salud** establece los siguientes límites, también expresados en mg/L: arsénico (0,05), cadmio 0,003, cianuro (0,07), cobre (2), cromo total (0,05), flúor (1,5), manganeso (0,5), mercurio total (0,001), nitrato (50), nitrito (3), plomo 0,01, selenio (0,01).

Los análisis químicos efectuados para este estudio comprendieron determinaciones de pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, sólidos disueltos totales, aniones y cationes mayoritarios, mientras que de los minoritarios, sólo se analizaron flúor y arsénico (Tabla 2, Anexo V).

* Expresado en unidades de pH

Las muestras tomadas en las aguadas de los puestos Guzmán, Honorio e Hinostraza, son aptas para consumo humano, pero la del Puesto Collueque tiene 2,0 mg /L de flúor y 404 mg/L de Na (Tabla 2).

Las tomadas en las perforaciones de monitoreo, de bombeo, e inclinadas varían significativamente respecto a la potabilidad y en este sentido, el **Flúor** es el componente que la limita en mayor medida. De las 27 muestras analizadas, 18 (67%) superan el límite de potabilidad establecido por la norma del COFES (1,5 mg/L). El contenido más alto corresponde a la muestra G (pozón vecino a la Laguna Mojón Grande) con 60 mg/L, que tiene una salinidad total de 64.200 mg/L, por lo que resulta inapta hasta para el ganado ovino. Otro valor extremadamente elevado registró el pozo GWP16 con 14 mg/L y también se destacan las muestras GWP1 (4,80 mg/L) y E (Laguna Collueque con 4,50 mg/L). Además de los pozos de monitoreo citados, otros 11 poseen tenores de flúor más altos que el admitido por la norma de potabilidad (1,5 mg/L).

Respecto al **Arsénico** sólo la muestra E (Laguna Collueque) presenta un contenido (0,20 mg/L) que supera el máximo establecido en la norma (0,05 mg/L), mientras que la del Puesto Collueque alcanza el mismo valor.

Dentro de los componentes que inciden en la aceptabilidad del agua, el que mayor afectación genera es el **SO4** con 17 muestras (63% del total), que superan el límite de 250 mg/L, siguiéndole el Na con 4 muestras (15%) y el Cl, con 3 muestras (11%), que superan los límites de potabilidad (200 y 250 mg/L), respectivamente.

Respecto a los metales pesados, Major (2005) refiere que de 20 muestras tomadas en perforaciones terminadas en rocas volcánicas, 7 superan 0,3 mg/L de hierro, que es otra de las sustancias incluidas en la aceptabilidad.

12. BALANCE HÍDRICO

Es la relación entre las entradas y las salidas de un sistema hidrológico, y la variación de agua almacenada en el mismo. De acuerdo a la ley de conservación de la masa y la energía de Lavoiser, el desarrollo del balance hídrico puede sintetizarse como:

$$E - S = \pm\Delta V$$

E: entradas S: salidas ΔV : variación del volumen almacenado (+ si aumenta, - si disminuye).

El balance hídrico constituye el procedimiento más adecuado para establecer el estado de un sistema hidrológico respecto a la disponibilidad de agua. Lamentablemente, su resolución es complicada y generalmente sólo se llega a valores indicativos de las variables que integran la ecuación básica.

Con el objeto de disponer de un panorama regional O-E respecto a la situación hídrica, se efectuaron los **balances a nivel edáfico** con los datos de las estaciones climatológicas Bariloche, Maquinchao y San Antonio Oeste. En la región estudiada, además del balance hídrico edáfico (Maquinchao), se desarrolló un **balance global** y otro **subterráneo**.

El realizado a **nivel edáfico** tuvo por finalidad establecer la situación hídrica respecto a la relación entre exceso y déficit. El de **alcance global** apuntó a cuantificar las variables primarias para resolver la ecuación generalizada del ciclo hidrológico y el **subterráneo**, para establecer las entradas y salidas al y del sistema subterráneo.

12.1. Edáfico

Se lo realizó empleando la metodología de Thornthwaite y Mather (1957) que pese a ser antigua, es una de las más utilizadas. Para el cálculo matemático se empleó el programa desarrollado por Forte Lay (1978), que cambia la ecuación básica de Thornthwaite (1948), para la determinación de la evapotranspiración potencial (Etp), por la de Penman (1948). Esta última es más representativa para la Patagonia en general y para el ámbito estudiado en particular, porque además de temperatura e insolación, considera al viento. Sin embargo, empleando Penman para el cálculo de Etp en Maquinchao, no se da ningún exceso en los 30 años considerados (Tabla 8). Sólo mayo, junio y julio de algunos años (1978, 1984, 1991 y 2001), presentan un estado hídrico neutro, sin exceso ni déficit (0 mm). De cualquier manera, los promedios mensuales para el lapso 1976/05, arrojan un déficit medio anual de 663 mm, con diciembre (-135) y enero (-134 mm) como los meses más deficitarios y mayo (-4), junio (-2) y julio (-6 mm) como los menos (Figura 7a).

Para todos los balance hídricos edáficos se adoptó una capacidad de campo de 100 mm, en función de la textura del suelo y la cobertura vegetal dominantes.

El desarrollo del balance para Maquinchao, utilizando la ecuación de Thornthwaite para el cálculo de la evapotranspiración potencial, deriva en un déficit

medio anual de 373 mm, un 44% menor que con Penman. En este caso (Tabla 9) aparece julio, con un exceso de 0,4 mm y junio con sólo -0,2 mm de déficit. Del análisis de la tabla surge que sólo julio (21 mm) y setiembre (10) presentan excesos en el año 2000 (Figura 7b).

Cualquiera sea la metodología empírica empleada para calcular Etp (Penman o Thornthwaite) el balance hídrico a nivel edáfico para Maquinchao, resulta en que prácticamente no hay disponibilidad de agua para la escorrentía ni para la recarga subterránea.

De las otras dos estaciones analizadas con Penman, sólo Bariloche presenta un exceso medio anual de 46 mm (Figura 7c), con junio (122), julio (107) y agosto (72 mm), con los mayores excesos y diciembre (-62), enero (-92) y febrero (-75 mm), con los mayores déficit (Tabla 10).

San Antonio Oeste (Tabla 11) registra un déficit medio anual (935 mm) mayor aún que Maquinchao (-663).

De lo expuesto se desprende que considerando los resultados de los balances hídricos a nivel edáfico, solamente Bariloche dispone de un excedente para la escorrentía y la infiltración o recarga subterránea.

En la zona estudiada resulta evidente que esto no es así y que existe recarga la que se manifiesta por el flujo subterráneo; la escasa profundidad que tiene el agua en los sectores bajos; la existencia de mallines, cuyo mayor aporte es el subterráneo; la presencia de manantiales y la baja salinidad del agua en la mayor parte de la región. Lo expresado apunta a una comunicación directa de la subterránea con las fases superficial y atmosférica del ciclo hidrológico.

Ya se mencionó en 11.4.1. que la recarga podía asimilarse al flujo subterráneo, que en la vecindad del campo de pozos es del orden de 2.500 m³/d (912.000 m³/a).

12.2. Global

Se basa en el desarrollo de la ecuación que explica el ciclo hidrológico:

$$P = Etp + Es + I \pm \Delta V$$

P: precipitación Etp: evapotranspiración potencial Es: escorrentía

I: infiltración ΔV : variación de agua almacenada.

Considerando que la variación en el volumen almacenado es despreciable, el término ΔV sale de la ecuación y la estimación de la infiltración se hace por defecto:

$$I = P - E_{tp} - E_s$$

A la precipitación, que es la variable de entrada, tanto para el sistema hidrológico superficial como subterráneo, le corresponde el 100%, al escurrimiento superficial o escorrentía el 5%, de acuerdo a lo estimado en 10.1. y dado que E_{tp} ronda el 85% de la precipitación, a la infiltración le corresponde el 10% de la precipitación. Por lo tanto, expresando las variables en mm/año:

$$P = 235 \quad E_{tp} = 200 \quad I = 23 \quad E_s = 12$$

12.3. Subterráneo

En los puntos 11.4.1. y 12.1. se hizo referencia a que el flujo subterráneo era del orden de 2.500 m³/d (912.000 m³/a) en la vecindad del campo previsto para los pozos de explotación y, considerando una superficie de afluencia hacia el sitio elegido para el cálculo de unos 30 km², se tiene que la recarga es del orden de 30 mm/año, valor que difiere sólo en un 25% respecto del estimado en el punto anterior.

La extracción actual es muy escasa, pues el agua se emplea para el abastecimiento humano (unas 60 personas) y en parte para abrevar al ganado; WMC (2005) cita una extracción total de 56.948 L/día (0,66 L/s), equivalente al 2,3% de la recarga (2.500 m³/d).

Por lo tanto, en la condición actual la incidencia antrópica es despreciable en relación a la descarga, cuyo mayor componente es el natural, por afloramiento del agua subterránea en los mallines, ojos de agua, manantiales, lagunas y arroyos de la región estudiada.

13. RESULTADOS

- El estudio confirmó la presencia de agua subterránea en las rocas volcánicas de la Formación Taquetrén, de calidad apropiada para consumo humano. En este sentido la mayor limitación está dada por el contenido relativamente elevado de flúor. En lo referente a productividad, el acuífero contenido en el medio discontinuo puede brindar caudales más que significativos para los usos

corrientes de la región (abastecimiento humano y ganadero).

- El AT se recarga por infiltración de la lluvia y de la fusión de la nieve, en forma directa en los sitios donde aflora, o a través de sedimentos modernos y recientes, donde está cubierto por los mismos. La magnitud de su recarga es del orden del 10% (23 mm/a) de la precipitación media (230 mm/a), lo que implica un caudal de unos 2.500 m³/d (30 L/s).
- Los resultados de la investigación pueden extrapolarse a otros ámbitos de la Provincia con caracteres geomorfológicos y geológicos similares al estudiado. En el aspecto geomorfológico, resulta trascendente la configuración del relieve con elevaciones serranas, que son los sitios de recarga preferencial y las depresiones lineales (valles), o areales (lagunas), donde se concentra el flujo subterráneo y conforman los ambientes más propicios para la explotación respecto al caudal. Geológicamente resulta de gran importancia la estructura de la roca volcánica, debido a que el agua subterránea se ubica en fisuras (diaclasas, fracturas, contactos), cuyo origen puede deberse a la contracción de la colada al enfriarse, o al tectonismo posterior. En este sentido la región estudiada presenta un fuerte tectonismo, que originó grandes fallas de orientación NE-SO, en las que posteriormente se emplazaron los diques de cuarzo, portadores de la mineralización epitermal.
- Para la prospección hidrogeológica de la región conocida como Línea Sur, se considera fundamental la interpretación del diseño geomórfico - estructural, mediante el empleo de imágenes satelitales, mapas topográficos, mapas geológicos y reconocimiento de campo. Posteriormente, una vez identificados los sitios más favorables, podrá desarrollarse exploración geofísica, mediante el empleo de técnicas geoeléctricas y de ser posible, sísmica de refracción. Finalmente, deberían ejecutarse las perforaciones exploratorias para verificar el grado de precisión logrado con la prospección.

14. AGRADECIMIENTO

A Mauricio Gómez Santa María por la diagramación y los dibujos.

15. BIBLIOGRAFÍA

AMBIENTAL. 2005. "Diagnóstico ambiental. Proyecto Calcatreu. Provincia de Río Negro". Para Minera Aquiline Argentina S.A. Inéd. Buenos Aires

AUGE, M.P. 2006. "Estudio hidrogeológico del área Lipetrén". Informe Parcial. CFI. Inéd. Buenos Aires.

BARKER, J.A. 1988. "A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock". Water Resour. Res. # 24.

COOPER, H.H. y JACOB C.E. 1946. "A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history". Am. Geophys. Union Trans. # 27.

DARCY, H. 1856. "Les fontaines publiques de la ville de Dijon". V. Dalmont. París.

ERM ARGENTINA S.A. 2005. "Estudio ambiental de base de Veta-49 y Área Nelson. Proyecto Calcatreu, Río Negro, Argentina". Para Minera Aquiline Argentina S.A. Inéd. Buenos Aires.

GOLDER ASSOCIATES Ltd. 2005. "Pit slope design for Nelson an Vein 49 open pits. Calcatreu Project, Argentina". Draft Report. Para Aquiline Resource Inc. Inéd. Toronto.

GRINGARTEN, A.C. y WITHERSPOON, P.A. 1972. "A method of analysing pump test data form fractured aquifers". Percolation through Fisured Rock. Deustche Gesellschaft fur Red and Grundbau. Stuttgart.

HERNÁNDEZ, M.A. 2005. "Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas (Síntesis)". II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. Actas. Río Cuarto.

KNOCHE, W. y BORZACOV, V. 1947. "Provincias climáticas de la Argentina". En Geografía de la República Argentina (GAEA). T. VI. Buenos Aires.

KRÁSNÝ, J. 2002. "Distribución espacial de los parámetros hidráulicos en medios hidrogeológicos diferentes". XXXII Intern. Hydrogeol. Congress. Actas. Mar del Plata.

MAJOR, M. 2005. "Informe del estudio de caracterización del agua subterránea ejecutado por Minera Aquiline Argentina S.A.". Inéd. Ing. Jacobacci.

MARÉCHAL, J.C. DEWANDEL, B. SUBRAHMANYAM, K. y TORRI, R. 2003. "Specific methods for the evaluation of hydraulic properties in fractured hard-rock aquifers". Current Science. Vol. 85 # 4.

MARTÍNEZ-LANDA, L. y CARRERA, J. 2005a. "A methodology to interpret cross-hole tests in a granite block". Journ. of Hydrology # 325.

MARTÍNEZ-LANDA, L. y CARRERA, J. 2005b. "An analysis of hydraulic conductivity scale effects in granite (Full scale Engineered Barrier Experiment (FEBEX), Grimsel, Switzerland)". Water Resour. Res. Vol. 41.

MEIER, P.M. CARRERA, J. y SÁNCHEZ-VILA, X. 1998. "An evaluation of Jacob's method for the interpretation of pumping tests in heterogeneous formations". Water Resour. Res. Vol. 35 # 5.

NEUMAN, S.P. 1972. "Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table". Water Resour. Res. Vol. 8 # 4.

NEUMAN, S.P. 1975. "Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response". Water Resour. Res. Vol. 11 # 2.

NULLO, F.E. 1978. "Descripción geológica de la Hoja 41d, Lipetrén. Provincia de Río Negro". Servicio Geológico Nacional. Bol. # 158. Buenos Aires.

PAGE, R. ARDOLINO, A. DE BARRIO, R. FRANCHI, M. LIZUAIN, A. PAGE, S. y SILVA NIETO, D. 1999. "Estratigrafía del Jurásico y Cretácico del Macizo de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut". En Geología Argentina. SEGEMAR. Anal. 29. Buenos Aires.

PENMAN R. 1948. "Natural evaporation from open water, bare soils and grass". Proceed. Royal Soc. Series A. Vol. 193: 120-145.

SANKAR, R. JADOO, L. INGARI, J. HOAG, R.B CORMIER, C, y VISÓN, R.A. 2002. "Exploration and pumping test results for a high-yield crystalline bedrock well in Tobago".

THEIS, C.V. 1935. "The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage". Am. Geophys. Union Trans. # 16.

THORNTHWAITE, C.W. 1948. "An approach toward a rational classification of climate". Geologic Rev. Vol. 38.

THORNTHWAITE, C.W. y MATHER, J.R. 1957. "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance". Climate Drexel Inst. of Tech. # 10.

VOLKHEIMER, W. 1965. "Bosquejo geológico del noroeste del Chubut extrandino (zona Gastre-Gualjaina)". Rev. de la Asoc. Geol. Argentina. XX # 3. Buenos Aires.

WARREN, J.E. y ROOT, P.J. 1963. "The behaviour of naturally fractured reservoirs". Eng. Journ. # 3.

WATER MANAGEMENT CONSULTANTS Ltda. 2005. "Caracterización hidrológica e hidrogeológica y análisis de impactos. Proyecto Calcatreu, Argentina". Para Aquiline Resources Argentina S.A. Inéd. Santiago de Chile.

WATERLOO HYDROGEOLOGIC Inc. 2000. "Aquifer Test 2.0". Waterloo.