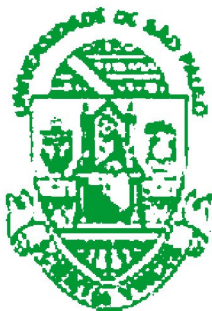


CENTRO DE ESTUDIOS DE AMÉRICA LATINA (CEAL)
U.A.M. S.C.H

**VULNERABILIDAD A LA
CONTAMINACIÓN POR NITRATOS DEL
ACUÍFERO PUELCHÉ EN LA PLATA
ARGENTINA**



Buenos Aires 2004

Autores

Prof. Dr. Miguel Auge

Director Científico del Proyecto

Universidad de Buenos Aires - Argentina

`auge@gl.fcen.uba.ar`

Prof. Dr. Ricardo Hirata

Coordinador

Universidad de São Paulo - Brasil

`rhirata@usp.br`

Prof. Dr. Fernando López Vera

Coordinador

Universidad Autónoma de Madrid - España

`fernando.lopez-vera@uam.es`

COLABORADORES

D.I. Carlos Sánchez

Universidad de Buenos Aires

Ms.C. Luiz Ferrari

Universidad de São Paulo

Dra. Carmen Gomes Artola

Universidad Autónoma de Madrid

TEMAS

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	4
3. OBJETIVOS	5
4. MÉTODOS y TÉCNICAS	5
5. UBICACIÓN	6
6. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
7. ANTECEDENTES CIENTÍFICOS	8
8. CARACTERES DEMOGRÁFICOS y ECONÓMICOS	10
9. CLIMA	12
9.1. Precipitación	13
9.2. Temperatura	14
9.3. Otras variables	14
9.4. Clasificación	15
10. BALANCE HÍDRICO	16
10.1. Edáfico	16
10.2. Generalizado	17
10.3. Subterráneo	17
11. GEOLOGÍA y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	18
11.1. Estratigrafía	18
11.1.1. Postpampeano	18
11.1.2. Pampeano	19
11.1.3. Arenas Puelches	20
11.1.4. Formación Paraná	21
11.1.5. Formación Olivos	22
11.1.6. Basamento Cristalino	22
11.2. Estructura	22
12. GEOMORFOLOGÍA	25
12.1. Planicie Costera	25
12.2. Llanura Alta	26
12.3. Escalón	27
13. HIDROGRAFÍA	27
14. AGUA SUBTERRÁNEA	30
14.1. Modelo conceptual	30
14.2. Ensayos hidráulicos	30
14.3. Recarga	31
14.4. Descarga	31
14.5. Dinámica	32
14.5.1. Lateral	32
Acuífero Puelche	32

Acuífero Pampeano	33
Acuíferos Pampeano y Puelche	34
14.5.2. Vertical	34
14.6. Profundidad	35
14.7. Vulnerabilidad	36
14.7.1. Método de vulnerabilidade GODE	37
14.7.2. Mapeamento da vulnerabilidade em La Plata	40
14.7.3. Método de vulnerabilidad $\Delta hT'$	42
14.8. Reserva	43
14.9. Química	43
14.9.1. Acuífero Puelche	43
pH	45
Nitratos	46
Conductividad Eléctrica	47
Residuo Salino	47
Bicarbonatos	48
Cloruros	49
Sulfatos	50
Sodio	51
Calcio	52
Magnesio	53
Potasio	54
Flúor	55
Arsénico	55
14.9.2. Acuífero Pampeano	56
pH	57
Nitratos	57
Conductividad Eléctrica	57
Residuo Salino	58
Bicarbonatos	58
Cloruros	58
Sulfatos	58
Sodio	59
Calcio	59
Magnesio	59
Potasio	59
Flúor	59
Arsénico	60
14.9.3. Acuíferos Pampeano y Puelche	60
15. Modelagem numérica de fluxo nos aquíferos Pampeano e Puelche	61
15.1. Modelagem matemática	61
15.1.1 Modelo conceitual	61
15.1.2. Discretização espacial e condições de contorno	62
15.1.3. Parâmetros hidrogeológicos	63
15.1.4. Dreno	63
15.1.5. Poços de bombeamento e de monitoramento	63
15.1.6. Processamento do modelo	64
15.1.7. Calibração	64
15.1.8. Resultados	65
15.1.9. Transporte de contaminantes entre os aquíferos	66
16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
17. BIBLIOGRAFÍA	68

FIGURAS

1. PERFIL GEOLÓGICO	71
2. PERFIL HIDROGEOLÓGICO	71
3. PERFIL GEOLÓGICO - Perforación Plaza de Armas, La Plata	72
4. PLUVIOGRAMA ANUAL 1909/01	73
5. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (cada 10 años)	73
6. PRECIPITACIÓN y TEMPERATURA MEDIAS MENSUALES	74
7. CLIMATOGRAMA DE KNOCHE	75
8. POTENCIALES HIDRÁULICOS NATURALES	38
9. CONTAMINACIÓN POR BOMBEO	39
10. DIAGRAMA GODE	39
11-13. DIAGRAMAS DE SCHOELLER - ACUÍFERO PUELICHE. LLANURA ALTA	76-78
14-16. DIAGRAMAS DE PIPER - ACUÍFERO PUELICHE. LLANURA ALTA	79-81
17. DIAGRAMA DE SCHOELLER - ACUÍFERO PUELICHE. PLANICIE COSTERA	82
18. DIAGRAMA DE PIPER - ACUÍFERO PUELICHE. PLANICIE COSTERA	83
19. DIAGRAMA DE SCHOELLER - ACUÍFERO PUELICHE. LA PLATA	84
20. DIAGRAMA DE PIPER - ACUÍFERO PUELICHE. LA PLATA	85
21-23. DIAGRAMAS DE SCHOELLER - ACUÍFERO PAMPEANO. LLANURA ALTA	86-88
24-26. DIAGRAMAS DE PIPER - ACUÍFERO PAMPEANO. LLANURA ALTA	89-91
27. DIAGRAMA DE SCHOELLER - ACUÍFERO PAMPEANO. PLANICIE COSTERA	92
28. DIAGRAMA DE PIPER - ACUÍFERO PAMPEANO. PLANICIE COSTERA	93
29. DIAGRAMA DE SCHOELLER - ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELICHE	94
30. DIAGRAMA DE PIPER - ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELICHE	95
31. ÁREA MODELADA E CONDIÇÕES DE CONTOURNO	96
32. TOPOGRAFIA (EXAGERO VERTICAL 100 VEZES)	96
33. INTERFACE ÁGUA DOCE – SALGADA	97
34. DISTRIBUIÇÃO DAS CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS	97
35. ZONAS DE RECARGA	98
36. COMPARAÇÃO ENTRE CARGAS HIDRÁULICAS CALCULADAS E MEDIDAS EM CAMPO	98
37. MAPA POTENCIOMÉTRICO NA COTA Z = -11,5 METROS ACUÍFERO PAMPEANO	99
38. MAPA POTENCIOMÉTRICO NA COTA Z = -41,0 METROS ACUÍFERO PUELICHE	99
39. MAPA POTENCIOMÉTRICO	100
40. LOCALIZAÇÃO DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO F	100
41. PLUMA DE CONTAMINAÇÃO NO CENÁRIO I, PARA 10.000 ANOS APÓS O INÍCIO DA ATIVIDADE DA FONTE F	101
42. PLUMA DE CONTAMINAÇÃO NO CENÁRIO II, PARA 10.000 ANOS APÓS O INÍCIO DA ATIVIDADE DA FONTE F	101

MAPAS

1. UBICACIÓN	102
2. GEOLÓGICO	103
3. ACUÍFERO PUELICHE - PROFUNDIDAD DEL TECHO	104
4. PUELICHE - ESPESOR	105
5. PUELICHE - ESTRUCTURAL DEL TECHO	106
6. PUELICHE - ESTRUCTURAL DEL PISO	107
7. ESPESOR DEL ACUITARDO	108
8. GEOMORFOLÓGICO	109
9. CUENCAS HIDROGRÁFICAS y ÁREA CULTIVADA	110
10. ACUÍFERO PUELICHE - UBICACIÓN DE POZOS	111
11. ACUÍFERO PUELICHE - RED DE FLUJO	112
12. ACUÍFERO PAMPEANO - UBICACIÓN DE POZOS	113
13. ACUÍFERO PAMPEANO - RED DE FLUJO	114

14. PAMPEANO y PUELCHÉ - UBICACIÓN DE POZOS	115
15. PAMPEANO y PUELCHÉ - RED DE FLUJO	116
16. PUELCHÉ - PROFUNDIDAD SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA	117
17. PAMPEANO - PROFUNDIDAD SUPERFICIE FREÁTICA	118
18. PAMPEANO y PUELCHÉ - PROFUNDIDAD DEL AGUA	119
19. PAMPEANO - PUELCHÉ. DIFERENCIA POT. HIDRÁULICO	120
ACUÍFERO PUELCHÉ	
20. pH	121
21. NO ₃	122
22. CE	123
23. SDT	124
24. CO ₃ H	125
25. Cl	126
26. SO ₄	127
27. Na	128
28. Ca	129
29. Mg	130
30. K	131
31. F	132
32. As	133
ACUÍFERO PAMPEANO	
33. pH	134
34. NO ₃	135
35. CE	136
36. SDT	137
37. CO ₃ H	138
38. Cl	139
39. SO ₄	140
40. Na	141
41. Ca	142
42. Mg	143
43. K	144
44. F	145
45. As	146
ACUÍFEROS PAMPEANO y PUELCHÉ	
46. pH	147
47. NO ₃	148
48. CE	149
49. SDT	150
50. CO ₃ H	151
51. Cl	152
52. SO ₄	153
53. Na	154
54. Ca	155
55. Mg	156
56. K	157
57. F	158
58. As	159

CUADRO

1- COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	160
----------------------------------	-----

TABLAS

1- ACUÍFERO PUELCHÉ - ANÁLISIS QUÍMICOS y POT. HIDRÁUL.	161
2- ACUÍFERO PAMPEANO - ANÁLISIS QUÍMICOS y POT. HIDRÁUL.	162
3- PAMPEANO y PUELCHÉ - ANÁLISIS QUÍMICOS y POT. HIDRÁUL.	163
4- ANÁLISIS QUÍMICOS (todas las muestras)	164-173
5- NORMAS DE POTABILIDAD	174-179
6- SUPERFICIE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	180
7- PRECIPITACIÓN MENSUAL 1909/01	180-182
8- TEMPERATURA MEDIA MENSUAL 1909/01	183-184
9- BALANCE HÍDRICO EDÁFICO	185
10- ENSAYOS DE BOMBEO	186
11- RESERVAS PAMPEANO y PUELCHÉ	187
12- DEFINIÇÃO PRÁTICA DE CLASSES DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS FRENTE A CONTAMINAÇÃO	36
13- RESULTADO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE UTILIZANDO O MÉTODO GODE, PARA AQUÍFEROS SEMICONFINADOS	41
14- VULNERABILIDAD DE UN ACUÍFERO SEMICONF. - POT. HIDR.	42
15- DESCRIÇÃO DOS VALORES DE POROSIDADE EFETIVA ADOPTADOS	63
16- PARÂMETROS CALIBRADOS DO MODELO	65
17- BALANÇO DE MASSA GERADO PELO MODELO	66

1. RESUMEN

La región estudiada abarca 1.050 km², ubicándose en el extremo Sur de la gran Llanura Chacopampeana, que en Argentina ocupa 1 millón de km². También la investigada, conforma una llanura con suave pendiente regional hacia el NE, entre cotas 30 m en el borde SO y 0 m en el límite NE, coincidente con el Río de la Plata. El gradiente topográfico medio entre ambos bordes es de 1,3 m/km.

Dentro de la región llana mencionada, se presentan dos componentes geomorfológicos principales (Planicie Costera y Llanura Alta) y otro que los ensambla (Escalón).

La Planicie Costera se extiende en forma de faja paralela a la costa del Río de la Plata, en un ancho de 6 a 10 km, constituyendo un ámbito casi sin relieve entre cotas 5 y 0 m. La pendiente casi nula y la presencia de cordones litorales de arena y conchilla, dificultan notoriamente el drenaje superficial y la descarga hacia el Río de la Plata. Ello hace que la Planicie Costera sea un ambiente cenagoso con agua subterránea a poca profundidad o aflorando, donde predomina notoriamente la dinámica vertical y la descarga subterránea. Otra característica distintiva es el control que ejerce sobre la salinidad de los 2 acuíferos más importantes de la región (Pampeano y Puelche). Debido a que la Planicie Costera fue el fondo de varias ingresiones marinas ocurridas durante el Holoceno, el Acuífero Pampeano presenta una salinidad bastante más elevada que en la Llanura Alta; esta condición se acentúa en el Puelche, dado que éste llega a tener un tenor salino similar al del agua de mar.

La Llanura Alta se desarrolla en forma de faja rectangular, entre cotas 30 y 10 m, al SO de la Planicie Costera. El incremento en la pendiente topográfica mejora notoriamente el drenaje superficial de los arroyos que finalmente descargan en la Planicie Costera, o son canalizados hasta el Río de la Plata. La Llanura Alta es una zona donde predomina la recarga y los acuíferos Pampeano y Puelche poseen aguas de baja salinidad que son aprovechadas para abastecimiento humano, riego, industria y ganado.

El Escalón conforma el ensamble entre la Llanura Alta y la Planicie Costera y se desarrolla entre cotas 5 y 10 m. Pese a registrar escasa extensión (entre 300 y 500 m de ancho) reviste importancia hidrogeológica, pues en su ámbito se produce la mayor descarga natural de agua dulce del Acuífero Puelche.

La ciudad más importante es La Plata, capital de la Provincia de Buenos Aires, cuyo ejido urbano alberga a 210.000 habitantes, que aumentan a unos 600.000 si se consideran las localidades de Tolosa, Ringuelet, Gonnet, City Bell y Villa Elisa y las ciudades de Berisso y Ensenada.

La mayor actividad de La Plata se vincula al comercio y a los servicios, aunque en su periurbano hay importantes plantas fabriles dedicadas a la refinación de petróleo, a la petroquímica, a la fabricación de acero y de buques. También existe un cinturón verde que produce hortalizas y flores, rodeando a la ciudad, que emplea un importante volumen de agua subterránea para regar.

El clima es templado - húmedo, con una lluvia media de 1.030 mm/año, que se concentra en otoño, primavera y verano, mientras que en el invierno sólo se registra el 19% del total anual. La temperatura media anual es de 16,1°C, con enero como el mes más cálido (22,7°C) y julio como el más frío (9,8°C).

El balance hídrico a nivel edáfico para valores medios de 93 años, brinda una evapotranspiración real de 812 mm/año (79% de la lluvia) y un excedente de 218 mm/a (21%). Del exceso, un 15% se infiltra (156 mm/a) y un 6% se transforma en escorrentía (62 mm/a).

La geología de superficie presenta dos unidades: Postpampeano (Pleistoceno superior - Holoceno) y Pampeano (Pleistoceno medio - superior).

El Postpampeano predomina en la Planicie Costera con sedimentos pelíticos de baja productividad, que contienen agua salobre y salada, salvo en los cordones de conchilla.

El Pampeano contiene al acuífero homónimo en limos arenosos (loess), que se desarrollan en toda la Llanura Alta, por debajo del suelo, y del Postpampeano en la Planicie Costera. El Acuífero Pampeano es empleado para consumo humano en barrios periurbanos que carecen de agua potable, en el ámbito rural para el ganado y en el cinturón verde, donde se lo capta para riego, junto con el Puelche, pues los pozos carecen de cañerías de aislación. Además de lo señalado la transcendencia del Acuífero Pampeano es que constituye la fuente para la recarga del Puelche (el acuífero mas importante de la región) del que se abastece el 60% de la población de La Plata y su periurbano, que dispone del servicio de agua potable. El Puelche también es el acuífero mas empleado para riego.

Por debajo del Puelche y hasta el Basamento Cristalino (basamento hidrogeológico) a 486 m de profundidad, el agua subterránea contenida en las

formaciones Paraná y Olivos es de elevada salinidad y por ello no se la emplea para los usos corrientes.

La recarga natural que recibe el Acuífero Puelche desde el Pampeano se estima en 53 hm³/año y artificialmente, por fugas en cañerías, recibe otros 19 hm³/a, por lo que la recarga total es de unos 72 hm³/a. La descarga del Puelche por el bombeo para agua potable es de 75 hm³/a y otros 12 hm³/a se emplean para riego; la industria utiliza sólo 1,5 hm³/a.

La red de flujo del Acuífero Puelche presenta un extenso cono de depresión que engloba a La Plata y localidades vecinas, con un perímetro de 58 km, un eje mayor de 24 km y otro menor de entre 3 y 7 km. El volumen de agua que ingresa al cono por flujo subterráneo en el Puelche es de unos 53 hm³/a; sin embargo el aporte artificial, por fugas en cañerías es de unos 19 hm³/a, por lo que las entradas son muy similares a las salidas, hecho que se verifica por la estabilidad de los niveles piezométricos en los últimos 10 años.

Respecto a la vulnerabilidad del Acuífero Puelche, que se comporta como semiconfinado, de las dos metodologías desarrolladas para este proyecto surge que el factor de mayor preponderancia para la contaminación con NO₃ del Puelche, es la diferencia de potencial hidráulico con el Pampeano sobrepuesto, concretamente cuando dicha diferencia favorece al Pampeano.

Las reservas de agua dulce almacenadas en los acuíferos Pampeano y Puelche son de 1.200 y 2.830 hm³ respectivamente.

El Acuífero Puelche tiene agua de baja salinidad (promedio 585 mg/L) y del tipo bicarbonatada - sódica en toda la Llanura Alta. En este ámbito, la potabilidad sólo se ve afectada por el contenido de NO₃, particularmente en las zonas urbanizadas, pues en las rurales la contaminación es puntual.

En la Planicie Costera el Puelche tiene agua de muy alta salinidad (promedio 12.500 mg/L) y del tipo clorurada - sódica. El elevado tenor salino, en cloruros y en sodio, la hace no potable ni tampoco utilizable para los usos corrientes.

El Acuífero Pampeano en la Llanura Alta tiene agua con características químicas similares al Puelche, aunque es algo más dura. Dicha similitud se explica fácilmente, pues la vía para la recarga del Puelche es el Pampeano. En la Planicie Costera el Pampeano también incrementa su salinidad, aunque en una proporción mucho menor que el Puelche.

2. INTRODUCCIÓN

El Acuífero Puelche fue el más utilizado de Argentina hasta mediados de la década de 1990, pues una gran parte de la población del Conurbano de Buenos Aires se abastecía con agua proveniente del mismo. Posteriormente su explotación disminuyó notoriamente en dicha región, debido al reemplazo por agua potabilizada proveniente del Río de la Plata y a la retracción industrial.

En La Plata no sucede lo mismo, pues aún hoy el 60% del agua que consume la población proviene del Acuífero Puelche, mientras que para riego, se emplea exclusivamente agua subterránea.

Actualmente se extraen del citado acuífero unos 75 millones de metros cúbicos por año para agua potable, mientras que alrededor de otros 12 se emplean para riego.

El Acuífero Puelche presenta una acentuada contaminación con NO_3 , de carácter difuso en la zona urbana y de tipo puntual en la región rural. La contaminación urbana deteriora la calidad del acuífero y obliga a mezclar agua subterránea con la del Río de la Plata, para no superar el límite establecido por la norma de potabilidad de la Provincia de Buenos Aires (50 mg/L).

Si bien se han realizado varios trabajos sobre la hidrogeología y el estado frente a la contaminación del agua subterránea de La Plata, no se tiene un modelo que reproduzca la transferencia de NO_3 desde el Acuífero Pampeano al Puelche, ni tampoco un mapa de vulnerabilidad de este último.

Con esta investigación se logró desarrollar la primera fase de una metodología aplicable a la contaminación con NO_3 de acuíferos semiconfinados, en la que el factor dominante para el deterioro, es la diferencia de potenciales hidráulicos entre el libre (Pampeano) y el semiconfinado (Puelche). Un E - book con los resultados de dicha metodología se publicó en la página HidroRed de la RedIRIS de España,.

Dado que algunos de los tópicos tratados en el informe del primer año no han tenido cambios durante el transcurso del segundo (geología, geomorfología), o estos han sido poco significativos (demografía, economía, clima, balance hídrico), se mantiene en este informe la descripción realizada en el del primer año. Por lo tanto, sólo se modifican aquellos ítems que sí han registrado cambios trascendentes, como hidrodinámica e hidroquímica subterráneas.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto de cooperación entre las universidades de Buenos Aires, Madrid y São Paulo, fue analizar, a través de modelos numéricos de simulación, el comportamiento del Acuífero Puelche frente a la contaminación con nitratos en diferentes escenarios (urbano y rural), para desarrollar una metodología de vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados, tomando como base al Puelche.

4. MÉTODOS y TÉCNICAS

La recopilación de antecedentes consistió en la identificación, análisis y evaluación de la información existente, vinculada al presente estudio.

Además de los trabajos que se mencionan específicamente en el capítulo 7 y en el resto de las citas bibliográficas, resultaron de gran utilidad los registros climatológicos de la Estación La Plata - Observatorio (1909/2002), instalada en el Observatorio Astronómico de La Plata, dentro del ejido urbano de la ciudad, en un sector parquizado, denominado “El Bosque”.

También se seleccionaron e incorporaron los mapas topográficos y las imágenes satelitales del Instituto Geográfico Militar (IGM), que sirvieron de base para todo el desarrollo cartográfico del trabajo.

Las tareas de gabinete consistieron en analizar, elaborar, interpretar y volcar la información recopilada, la obtenida en campaña y la derivada de laboratorio, que culminaron con la redacción del presente informe.

En el marco de las **tareas de campo**, se desarrolló el segundo censo hidrogeológico, que consistió en remedir y remuestrear las fuentes de agua subterránea identificadas durante el primer censo. Los registros se volcaron en una base de datos y se reprodujeron en planillas de censo.

Se censaron 53 pozos terminados en el Acuífero Puelche, 38 en el Pampeano y 12 que captan de ambos acuíferos; estos últimos son típicos del ámbito donde se riega. De los 103 pozos censados se tomaron 85 muestras para análisis químicos.

El inapropiado flujo de fondos durante el año 2003, dado que la primer partida se recibió recién en junio, impidió efectuar el censo en la época de riego de ese año, como estaba previsto en el cronograma original. Ello hizo que la tarea debiera posponerse para la campaña de riego del presente año, por lo que el censo se está realizando en la actualidad.

En las muestras de agua se registró in situ: temperatura, mientras que en laboratorio se realizaron las determinaciones que se mencionan en el punto siguiente.

Respecto a las muestras de agua, es importante señalar que la mayoría provinieron de los dos acuíferos más explotados (Pampeano y Puelche). Sin embargo, en los sectores de producción hortícola, pese a que los pozos alcanzan al Acuífero Puelche, las muestras provienen de éste y del Pampeano suprayacente, porque los sondeos carecen del entubamiento aislante.

En el laboratorio del CETA, dependiente de la UBA, se analizaron las muestras de agua, tomadas durante el censo, determinándose: pH, CE, TSD, NO₃, CO₃H, Cl, SO₄, Na, Ca, Mg, K, F y As, mediante el empleo de un equipo ICP, cuyos resultados figuran en las tablas 1, 2, 3 y 4.

5. UBICACIÓN

El ámbito estudiado se sitúa en el extremo NE de la Provincia de Buenos Aires, lindero con el Río de la Plata, y ocupa una extensión de 105.000 hectáreas (1.050 km²), con la ciudad de La Plata aproximadamente en su centro (mapa 1).

El límite NE es el Río de la Plata, mientras que el resto, coincide con divisorias hidrográficas. Las coordenadas geográficas de los extremos son: 34° 46' y 35° 10' de latitud Sur y 57° 42' y 58° 10' de longitud Oeste.

La zona tiene forma aproximadamente rectangular, con su lado mayor, de orientación NO-SE, paralelo a la ribera del Río de la Plata, de 40 km de extensión media y su lado menor, de orientación NE-SO, de unos 25 km.

La Plata, capital de la Provincia de Buenos Aires, situada a 50 km al SE de Buenos Aires, es la ciudad más importante de la región estudiada. En orden, le siguen Berisso y Ensenada, que se ubican en la vecindad del Río de La Plata. Otros sitios poblados, pero a los que todavía no se les ha otorgado la jerarquía de ciudades, son Villa Elisa, City Bell y Gonnet, ubicados al NO de La Plata, que se caracterizan por una urbanización baja, con predominio de espacios verdes.

Localidades mucho más pequeñas, y en algunos casos simplemente parajes, son: Hernández, Etcheverry, Melchor Romero, Correas, Bavio, Poblet, Arana, Villa Garibaldi, etc.

6. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La ciudad de La Plata, capital de la Provincia de Buenos Aires, fue fundada el 19 de noviembre de 1882 por el Dr. Dardo Rocha, quien en su mensaje a la Honorable Asamblea Legislativa, el 14 de marzo de 1882, hace mención a la aptitud morfológica e hidrológica del emplazamiento al decir: **"el lugar elegido ofrece las conveniencias necesarias para el abastecimiento de una ciudad populosa, es suficientemente elevado e higiénico y tiene agua abundante para satisfacer sus necesidades, para lo cual puede proveerse del Río de la Plata o de una napa subterránea de excelente calidad que hay a unos 40 m de profundidad"**.

Por lo tanto, con anterioridad a la fundación de la ciudad, ya se conocía la existencia de las dos fuentes principales para su abastecimiento: superficial (Río de la Plata) y subterránea (Acuífero Puelche).

Los estudios técnicos para la provisión de agua corriente y desagües cloacales, fueron realizados por los ingenieros Médici y Lavalle, que presentaron sus resultados al gobierno provincial el 6 de febrero de 1884. **Los citados, concluyeron en que, si bien el Río de la Plata constituía una fuente de provisión aparentemente inagotable, no estaba exenta del peligro de contaminación por los vertidos cloacales de la Capital Federal, descargados aguas arriba de La Plata, en la vecindad de Quilmes.** También destacaban el hecho del elevado gasto que insumirían las obras para conducir el agua desde el río a la ciudad.

En virtud de ello, se abocaron a estudiar las características químicas, bacteriológicas y la productividad del Acuífero Puelche, para lo que se construyó un pozo exploratorio "hasta la segunda napa o de las arenas fluidas", basándose en la información de los escasos pobladores que la empleaban. Una vez finalizada la perforación, que estaba situada en el ejido urbano (Parque Saavedra), se la equipó con una bomba accionada a vapor y se la sometió a una prueba desde setiembre/1882 hasta enero/83, lapso en que erogó un caudal medio de 35 m³/h, sin que se apreciara descenso del nivel hidráulico. Los análisis químicos y bacteriológicos del agua extraída indicaron que la misma era "potable y apta para consumo humano" (Artaza, 1943).

Dado el resultado obtenido con el pozo exploratorio, los ingenieros Médici y Lavalle se decidieron por la fuente subterránea, para lo cual instalaron un tanque elevado de 1.600 m³ para abastecer a unos 9.000 habitantes con una dotación individual de 180 L/día. **Al habilitarse el servicio de agua potable en**

1885, La Plata fue la primer ciudad importante de la República Argentina en abastecerse exclusivamente con agua subterránea.

La disputa respecto a la conveniencia en el empleo de la fuente subterránea o la superficial del Río de la Plata, se mantiene hasta el presente.

En favor de la primera opción jugaron la calidad del agua subterránea, que aunque más dura que la superficial, la aventaja por su menor costo, debido a que no necesita tratamiento previo y a que la inversión para su captación y conducción es mucho menor.

En la actualidad, funcionan en La Plata y alrededores 137 pozos que producen 75 hm³/año, cubriendo aproximadamente el 60% del consumo de agua potable.

El fundamento más sólido para la captación del Río de la Plata es la inmensa disponibilidad de agua dulce (20.000 m³/s), con la que podría abastecerse a la población mundial actual (6.000 millones de habitantes) a razón de 290 litros/día por habitante. Sin embargo, ya en la primera década del siglo pasado, se tenía conocimiento del alto grado de contaminación del Río de la Plata, especialmente por la descarga de la cloaca máxima de Buenos Aires, que servía a 1 millón de habitantes y el peligro que significaba para una toma en la vecindad de La Plata, ubicada a 30 km aguas abajo de la anterior, situación que se ha agravado en la actualidad pues el vertido cloacal sin tratamiento, involucra a unos 6 millones de personas.

En definitiva, pasaron 73 años desde la inauguración del servicio de agua potable, para que se habilitara el sistema de captación y potabilización de agua del Río de la Plata, en Punta Lara, hecho acaecido en 1958.

En la actualidad, el abastecimiento se cubre con un 60% de agua subterránea y un 40% de agua del Río de la Plata, siendo la dotación anual de unos 125 hm³.

7. ANTECEDENTES CIENTÍFICOS

Seguidamente se efectúa un análisis sintético y cronológico de los trabajos hidrogeológicos que tratan específicamente sobre el ámbito estudiado.

Artaza (1943), realiza un detallado análisis de los caracteres hidrogeológicos de La Plata, incorporando los perfiles litológicos de los pozos del servicio de agua potable y otros de localidades cercanas (Melchor Romero, Abasto, Olmos y Punta Lara). Adjunta datos del volumen explotado (33,3 hm³ en 1941), resultados de análisis químicos, estima la reserva almacenada en el Acuífero Puelche bajo el

casco urbano en 100 hm³ y presenta un mapa con curvas equipotenciales, en el que se aprecia claramente el cono de depresión con dos ápices. Uno, producido por los pozos del Bosque con cota -16 m y el otro por los pozos del Parque Savedra con el ápice a cota -20 m.

Figgini et al (1975), sobre la base de consideraciones hidrodinámicas, hidroquímicas e isotópicas, concluyen en que la salinización del Acuífero Puelche en La Plata, se produce por la influencia lateral de la planicie inundable con una velocidad efectiva de avance de 6,5 m/mes, como consecuencia de la sobreexplotación.

Sala et al (1982), estiman la velocidad de desplazamiento hacia el SO de la interfase agua dulce - agua salada, basándose en el incremento del residuo seco. De esa manera, determinan que el ritmo medio de avance de la interfase es de 77 m/año.

Lozano et al (1985), realizan una evaluación del estado del recurso hídrico subterráneo de la ciudad de La Plata, sobre la base de antecedentes históricos y concluyen en que el estado del Acuífero Puelche es crítico, debido al descenso de los niveles dinámicos por debajo del horizonte de confinamiento y al aumento en el contenido salino y de nitratos

Jiménez Pérez y Raskovsky (1987), estudian la contaminación por NO₃ del agua subterránea de La Plata, llegando a la conclusión de que la contaminación se produjo por dos factores coadyuvantes: uno fue "la existencia de un foco contaminante ubicado en la antigua zona destinada al vertido de residuos domiciliarios" y el otro, "la sobreexplotación del acuífero que modificó la dirección de escurrimiento natural".

Castro et al (1988), evalúan el sistema de provisión de agua a la ciudad de La Plata, concluyendo en que el Acuífero Puelche se encuentra al límite de rendimiento en la zona de explotación actual.

Auge (1990), analiza la morfología e hidrografía del ámbito objeto, efectúa un balance hídrico y evalúa la aptitud del agua subterránea, concluyendo que en La Plata y alrededores, el agua subterránea ha sufrido un importante deterioro tanto en calidad como en cantidad.

Auge (1991), se refiere a la sobreexplotación del Acuífero Puelche en La Plata, comparando la situación hidrodinámica imperante en 1941 con la existente en 1989. De la comparación surge que en 1941 el cono de depresión tenía menor expresión

areal (2.500 ha) pero mayor desarrollo vertical (–15 m), respecto a 1989 (5.500 ha y –10 m). Esto debido a que en 1941, los 39 pozos que abastecían a la ciudad, estaban ubicados en la planta urbana. También estima en 33,2 hm³/año, el caudal subterráneo que fluye hacia el cono de depresión del Acuífero Puelche y en 44,4 hm³ la recarga por infiltración de lluvia en el Acuífero Pampeano. Basado en la transmisividad vertical del acuitardo que separa ambos acuíferos, calcula en 0,75 m la diferencia media de potencial hidráulico a favor del Pampeano, para que ingresen 33,2 hm³/año en el Puelche.

Logan (1993), desarrolla su Tesis Doctoral para la Universidad de Waterloo (Canadá), que se basa en la investigación hidrológica de un sector de la Planicie Costera (Bañado Maldonado), concluyendo en que la salinidad del agua subterránea proviene de diversas fuentes, a través de una evolución compleja. Una facies clorurada de elevada salinidad, es agua fósil, aportada por una ingresión marina ocurrida entre 7.000 y 3.000 años atrás. Otra, presenta alto contenido en SO₄, derivado de la oxidación de piritita y una tercera, de baja salinidad, es del tipo CO₃HNa y proviene de la recarga focalizada de agua dulce, en los ámbitos anegados del bañado.

Auge y Bucich (1996), realizan una caracterización hidrogeológica general del ámbito de estudio y proponen una batería de 30 pozos para reforzar el suministro de agua potable a La Plata. Con la batería, situada en la zona rural, se podría abastecer a unos 185.000 habitantes carecientes de agua potable.

Auge (1997), desarrolla su Tesis Doctoral para la Universidad de Buenos Aires, en un ámbito coincidente con el estudiado, realizando un tratamiento profundo y detallado de temas como: demografía y economía, morfología, hidrografía, clima, geología, balance hídrico, exploración, explotación, uso del agua, hidrodinámica, hidroquímica, reservas y contaminación, de los acuíferos Pampeano y Puelche. De este trabajo se ha tomado la mayor parte de la información de base empleada en el proyecto y volcada en este informe.

8. CARACTERES DEMOGRÁFICOS y ECONÓMICOS

Los datos que se mencionan a continuación, derivan del censo nacional realizado en el 2001.

El ámbito estudiado ocupa la totalidad de los partidos de Berisso (135 km²) y Ensenada (101 km²) y la zona del Puerto de La Plata (26 km²) y parcialmente los de

La Plata (926 km²), Magdalena (1.863 km²) y Berazategui (221 km²). De estos 3 últimos, la superficie efectivamente abarcada por el estudio es: La Plata 580 km², Magdalena 125 km² y Berazategui 81 km².

Con relación a la cantidad y distribución demográfica, el Partido de La Plata es el más poblado con 572.000 habitantes de los cuales 566.000 viven en centros urbanizados y 6.000 en la zona rural. El ejido urbano de La Plata alberga a 208.000 personas con una densidad de 8.320 hab/km², mientras que en la zona rural, ésta descende a 42 hab/km².

Le sigue, el Partido de Berisso con 80.000 habitantes, de los cuales 78.000 viven en áreas urbanizadas y sólo 2.000 en la zona rural.

Ensenada, registró 51.000 habitantes con 50.000 en sectores urbanos y 1.000 en el campo.

Del partido de Berazategui, en el que se censaron 287.000 habitantes, sólo una fracción de la zona rural está contenida en el ámbito estudiado. En ella, se estima que viven 2.500 personas.

Algo similar sucede con el Partido de Magdalena, aunque este es el más extenso (1.863 km²) y el menos poblado (16.500 habitantes) de todos los citados. De la población rural total (7.900 habitantes) se estima que sólo 300, habitan en los 125 km² comprendidos en la zona estudiada.

Con relación a los aspectos económicos y de producción, las mayores plantas fabriles, se ubican en la Zona del Puerto La Plata y en el Partido de Ensenada, entre la ciudad de La Plata y la costa del río homónimo. Allí funcionan:

- La refinería de petróleo más grande del país (Destilería Repsol - YPF).
- Una importante productora de acero en chapa (Siderar S.A.).
- Dos grandes petroquímicas (PLP y Petroken).
- El astillero naval más grande del país (AFNE).
- Una planta que produce ácido (Maleic).
- Una fábrica de coque.

Prácticamente la totalidad del agua utilizada por la industria citada, proviene del Río de la Plata, ya sea a través de captaciones individuales o de la suministrada por ABSA (Aguas Bonaerenses Sociedad Anónima), dado el elevado tenor salino que caracteriza al agua subterránea de la Planicie Costera.

Contrariamente, en el Partido de La Plata, emplazado casi totalmente por encima de la cota 10 m (Llanura Alta), "la aptitud del agua subterránea, hace que la

industria se abastezca mediante perforaciones que captan del Acuífero Puelche. Además, existe una importante zona rural de producción flori-hortícola, que también emplea agua subterránea para riego, pero en este caso aprovechando a los acuíferos Pampeano y Puelche en forma conjunta, pues las perforaciones que alcanzan a este último, carecen de cañería de aislación” (Auge, 1990).

En este Partido, las plantas industriales más importantes se dedican a la fabricación de: tejidos; cojinetes; instrumentos de precisión; medicamentos; lácteos; aluminio; ladrillos; fósforos; alimentos; muebles; derivados del petróleo y del carbón; plásticos; vidrio; chacinados y embutidos; etc.

En la zona rural, del Partido de Berazategui, al igual que en el de La Plata, existen importantes plantaciones de hortalizas y de flores, que se riegan de 6 a 7 meses al año, utilizando perforaciones que captan los acuíferos Pampeano y Puelche en forma conjunta.

En el sector del Partido de Magdalena contenido en el ámbito estudiado, sólo hay una planta láctea relativamente importante en la localidad de Bavio. En el resto, predomina la agricultura extensiva y los campos destinados al pastoreo.

9. CLIMA

La precipitación y la temperatura, son las variables que ejercen mayor influencia en las características climáticas de una región y por ello, son las más utilizadas en las clasificaciones.

En ámbitos de llanura como el estudiado, la precipitación presenta una variabilidad espacial y temporal mucho más marcada que la temperatura y por ello, es necesario disponer de series prolongadas para lograr una caracterización del clima sobre la base de valores medios. **Sin embargo, la variabilidad citada hace que la lluvia, durante determinados lapsos, supere con amplitud y en otros sea marcadamente inferior a la media, cuya obtención representativa, de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), debe basarse en registros de al menos 30 años consecutivos.** Respecto a la temperatura, la OMM considera un lapso mínimo de 10 años, para lograr valores medios representativos.

Para la caracterización climática se emplearon los datos de la Estación Climatológica La Plata - Observatorio Astronómico, dado que cuenta con el mayor registro continuado de precipitación y temperatura (1909 al presente). La Estación se

ubica en el Bosque, en el ejido urbano, a 34° 55' de latitud S y 57° 56' de longitud O y a cota 15 m.

La reducida extensión del ámbito estudiado, con relación a su carácter llano, permite extrapolar los registros de la Estación Climatológica La Plata, al resto del mismo.

9.1. Precipitación

En la tabla 7 se vuelcan los datos mensuales de lluvia para el período 1909/01 y en la fig. 4 el pluviograma de paso anual.

Tomando los valores medios, la precipitación anual en el período considerado fue de 1.030 mm; el mes más lluvioso marzo (111 mm) y el menos lluvioso junio (62 mm). Para valores absolutos, el año de mayor precipitación fue 1914 (1.926 mm) y el más seco 1916 (415 mm), mientras que a nivel mensual, el de mayor registro fue abril/59 (356 mm) y el menor, julio/16 (0 mm).

El análisis de la marcha de la precipitación en lapsos de 10 años (fig. 5), resulta en los siguientes valores medios: 1911/20 (1.092 mm), 1921/30 (926 mm), 1931/40 (1.028 mm), 1941/50 (883 mm), 1951/60 (1.075 mm) 1961/70 (1.024 mm), 1971/80 (1.068 mm), 1981/90 (1.094 mm) y 1991/00 (1.120 mm), indicativos de la existencia de dos períodos secos (1921/30 y 1941/50), otros dos con valores similares al medio (1931/40 y 1961/70) y los cinco restantes húmedos (1911/20, 1951/60, 1971/80, 1981/90 y 1991/00).

El incremento de la lluvia a partir de la década del 60, caracteriza al resto de la Provincia de Buenos Aires y es particularmente notorio en el sector NO de la misma (González et al, 1991).

En relación a la distribución estacional, los valores medios son muy parecidos en otoño, verano y primavera (28, 27 y 26%, respectivamente), mientras que el invierno es la estación menos lluviosa, con el 19% del total anual.

En la fig. 6 se representan las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales, apreciándose una notable coincidencia en la marcha de ambas. Así, al aumentar la temperatura aumenta la lluvia y viceversa. En este sentido, de los tres meses que no siguen la tendencia (diciembre, julio y marzo), el último es el que presenta mayor desviación.

La correspondencia entre temperatura y precipitación, se debe a que la primera controla a la evapotranspiración y ésta a la lluvia que, por lo expuesto, tiene un origen predominantemente local.

9.2. Temperatura

Respecto a la temperatura ya se señaló que observa menor variabilidad temporal y espacial que la precipitación, especialmente en llanuras.

De los registros obtenidos en la Estación Climatológica La Plata, surge una temperatura media anual de 16,1°C en el período 1909/01, con enero como el mes más cálido (22,7°C) y julio como el más frío con 9,8°C (fig. 6 y tabla 8).

9.3. Otras variables

Se describe seguidamente el comportamiento de otras variables meteorológicas que también inciden en el clima de la región.

A partir de los registros de la Estación Observatorio Astronómico, publicados por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes al período 1941/80, se tiene:

La **humedad relativa** media anual fue del 77%, el mes más húmedo junio (85%) y el que registró menor humedad enero (70%).

Con relación al **viento**, la intensidad media anual fue de 12 km/h, predominando el proveniente del Este y secundariamente del NE y NO. Las mayores intensidades se dan en octubre, diciembre y enero, con valores medios de 15 a 17 km/h, apreciándose un aumento general de la velocidad en la década 1971/80, respecto a las anteriores.

La **presión atmosférica** media anual, medida al nivel de la Estación (15 m) fue de 1.014 milibares, con julio como el mes de mayor registro (1.017 mb) y enero el de menor presión atmosférica media (1.009 mb).

La **heliofanía o insolación**, presentó un promedio de claridad es de 6,7 horas diarias al año, siendo los meses de verano (diciembre, enero y febrero), los que observaron mayor insolación media (8,7 hs) y los de invierno (mayo, junio y julio), los de menor claridad (4,7 hs diarias).

La **nubosidad**, para una escala de 0 a 8, registró un valor medio anual de 4,1 con junio y julio como meses más nubosos con valores de 4,6 a 5,4.

La frecuencia media de días con **heladas** fue 5 por año, siendo junio y julio los meses de mayor registro con 2 días cada uno, seguidos por agosto con 1 día.

Se nota una disminución de los días con heladas, pues en la década 1951/60, el promedio fue 7 días por año en 1961/70 5 días y en 1971/80 4 días por año. Esto se condice con el incremento de la temperatura media anual, que de 15,8°C en 1951/60 pasó a 16,9°C en 1971/80.

9.4. Clasificación

Para la clasificación climática se emplearon los métodos desarrollados por Knoch y Borzacov (1947) y Thornthwaite (1948).

El primero, se basa en la precipitación y temperatura medias mensuales, adoptando 5 escalas para cada una (fig. 7). La combinación de ambas variables origina 21 campos principales y 4 subordinados (Climatograma de Knoch).

En la figura se aprecia que:

- diciembre, enero y febrero caen en el campo 3C (cálido seco - húmedo).
- marzo, abril y noviembre se ubican en 3Id (cálido - moderado húmedo).
- mayo, junio, agosto, setiembre y octubre, se disponen en 2d (templado húmedo).
- julio cae en 1d (subtemplado - húmedo).

La clasificación de Thornthwaite, se basa en la relación entre la disponibilidad y la demanda de agua y para su determinación es necesario desarrollar previamente el balance hídrico a nivel edáfico. Los índices ideados por dicho autor son:

Índice de aridez (Ia) = $100 \cdot \text{deficiencia de agua} / \text{necesidad de agua}$

Índice de humedad (Iu) = $100 \cdot \text{exceso de agua} / \text{necesidad de agua}$

Índice hídrico (Ih) = $\text{exceso} \cdot 100 - \text{deficiencia} \cdot 60 / \text{necesidad de agua}$

A partir de los valores mencionados (déficit, exceso y evapotranspiración potencial), el clima se clasifica como **B 1 B' 2 r a'** o sea: **húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival.**

10. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se desarrolló con tres alcances. **Uno a nivel edáfico**, para establecer la evapotranspiración real (E_{tr}), los excedentes y déficit hídricos y la clasificación climática.

El segundo, de alcance global, tuvo por finalidad cuantificar las variables primarias, para resolver la ecuación generalizada del ciclo hidrológico y **el tercero, para establecer las entradas y las salidas al y del sistema subterráneo**, a fin de estimar la relación entre la recarga y la descarga de los acuíferos Pampeano y Puelche.

10.1. Edáfico

Se realizó empleando la metodología de Thornthwaite et al (1957), dado que ha brindado buenos resultados en este mismo ámbito y en otros similares morfológica, geológica y climáticamente (Auge, 1991).

Con el objeto de disponer de un panorama general respecto a la magnitud de la evapotranspiración potencial (E_{tp}), de la real (E_{tr}), de los déficit (D) y de los excesos (E), se consideraron las precipitaciones (P) y las temperaturas medias mensuales (T), correspondientes al período 1909/01, registradas en la Estación Climatológica La Plata - Observatorio. Para la capacidad de campo (C_c), se optó por el valor 200 mm, en virtud del suelo y vegetación dominantes (franco limoso, con raíces de moderada profundidad ~ 1 m).

En la tabla 9, se resume el balance hídrico edáfico para las condiciones hidrometeorológicas medias registradas en un lapso de 93 años **y de la misma surge que la E_{tp} (822 mm/año) difiere sólo en 1,2% de la E_{tr} (812 mm/año), lo que indica una ínfima deficiencia de agua.**

Los excedentes en cambio llegan a 218 mm/a, o sea el 27% de la evapotranspiración real y el 21% de la precipitación media anual (1.030 mm).

Para los valores medios considerados, sólo 3 meses del año presentan déficit hídrico (diciembre - 2 mm, enero - 5 y febrero - 3 mm), pese a que la precipitación en el verano (27% del total anual) supera holgadamente a la del invierno (19%). Sin embargo, en los 3 meses invernales (jun, jul, ago), se da el mayor exceso hídrico (117 mm), que representa el 54% del total.

La aparente contradicción señalada, es consecuencia de la marcada disminución de la evapotranspiración durante el invierno, debido fundamentalmente al descenso de la temperatura.

En definitiva, el resultado del balance hídrico edáfico para valores medios de P y T, señala el notorio predominio de los excedentes sobre los déficit hídricos, lo que constituye un indicio favorable para la recarga subterránea.

En lo referente a la clasificación climática de Thornthwaite (1948), ya se dijo que el clima es del tipo **B 1 B' 2 r a'** (húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y concentración estival de la eficiencia térmica del 44%).

10.2. Generalizado

El balance hídrico generalizado, se desarrolló con la finalidad de conocer los órdenes de magnitud de las variables fundamentales que integran el ciclo hidrológico, obteniéndose el siguiente resultado para los valores medios correspondientes al lapso 1909/01, expresados en mm/año.

$$I = P - E_{tr} - E_f$$
$$156 = 1.030 - 812 - 62$$

O sea, que en relación a la precipitación (P) se tiene: **evapotranspiración real E_{tr} = 79%, infiltración I = 15%, escurrimiento fluvial E_f = 6%.**

10.3. Subterráneo

Como se mencionó al inicio del capítulo, este balance tiene por finalidad establecer las entradas y las salidas, naturales y artificiales, al y del sistema hidrológico subterráneo, para estimar la relación entre la recarga y la descarga.

Del análisis realizado en el punto anterior, surge que los excedentes superan con amplitud a los déficit hídricos naturales y dado que el escurrimiento fluvial constituye un pequeño porcentaje de la precipitación (6%), la infiltración asume una magnitud significativa (15%).

El cambio en las prácticas y en la superficie cultivada, acaecido en los últimos 7 años, derivó en una modificación apreciable del volumen empleado para regar, que se capta exclusivamente del subsuelo.

Hasta 1995 se cultivaban hortalizas a la intemperie y se regaba por surco, con un retorno aproximado del 50%, que en definitiva se transformaba en recarga para el Acuífero Pampeano. Dicha práctica requería un caudal de unos 30 m³/h para regar 5 hectáreas, volumen que podía lograrse fácilmente con una perforación. Durante los 6 meses de riego intensivo (octubre a marzo), la extracción alcanzaba a unos 70 hm³ de los cuales un 70% provenían del Acuífero Puelche y el 30% restante el Pampeano; con dicho caudal se regaban unas 13.000 ha (Auge, 1997).

Actualmente se cultivan a la intemperie unas 3.000 hectáreas, que se riegan por surco y otras 1.000, bajo techo, con riego por goteo. El volumen total empleado para regar es de unos 17 hm³/a, de los cuales 12 provienen del Puelche y 5 hm³/a del Pampeano. Los datos mencionados son preliminares y están sujetos a revisión.

11. GEOLOGÍA y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

La región presenta una marcada monotonía en su condición geológica, superficial, hecho que tipifica a los ambientes llanos (Auge y Hernández, 1984).

En la descripción, se hará referencia a la constitución geológica de la zona estudiada y a su incidencia sobre el comportamiento hidrogeológico, comenzando por las unidades más modernas, debido a que son las que están en contacto directo con las fases atmosférica y superficial del ciclo hidrológico.

11.1. Estratigrafía

11.1.1. Postpampeano (Pleistoceno superior - Holoceno)

También se lo conoce como Sedimentos Postpampeanos y está constituido por arcillas y limos arcillosos y arenosos de origen marino, fluvial y lacustre, acumulados en ambientes topográficamente deprimidos (Planicie Costera, valles fluviales y bañados o lagunas).

Los Sedimentos Postpampeanos, cuyo espesor varía entre algunos centímetros en la Llanura Alta y unos 25 m en la ribera del Río de la Plata, poseen muy poca capacidad para transmitir agua por lo que actúan como acuitardos o acuicludos (Auge, 1990). Logan (1993) obtiene un valor medio de conductividad hidráulica de $1,2 \cdot 10^{-3}$ m/día, a partir de 18 ensayos por inyección realizados en la Planicie Costera.

Además, existe una notable correspondencia entre el Postpampeano y la presencia de agua salada en el perfil, aún en las unidades más profundas (Pampeano y Arenas Puelches). Esta relación es clara en la Planicie Costera, ocupada totalmente por los Sedimentos Postpampeanos, pero pierde definición en la Llanura Alta, debido a la reducción del espesor y extensión areal de los mismos, que están restringidos a los cauces menores de los arroyos y a los fondos de algunas cerradas (lagunas, bañados).

En los sedimentos pelíticos superiores del Postpampeano, es frecuente registrar salinidades superiores a 15 g/L, de aguas con predominio de SO₄ y Cl.

En la figura 1 se representa la disposición vertical del Postpampeano y otras unidades más antiguas, a lo largo de una traza que atraviesa la Llanura Alta y la Planicie Costera hasta el Río de la Plata. En la misma se aprecia el acuñaamiento del Pampeano a la altura de la ribera actual y su reemplazo por el Postpampeano. Esto configura una evidencia de la capacidad erosiva que tuvo el antiguo Río de la Plata, cuando el nivel del mar se ubicó a unos 100 m por debajo del actual durante la última glaciación.

También se aprecia en el perfil, el contacto directo entre el Postpampeano (Formación Querandí) y las Arenas Puelches, lo que evidentemente facilitó la entrada de agua de origen marino a esta última unidad, durante las ingresiones holocenas.

11.1.2. Pampeano (Pleistoceno medio - superior)

También denominado Sedimentos Pampeanos, se emplaza por debajo del Postpampeano en la Planicie Costera y subyace a la cubierta edáfica en la Llanura Alta, donde, localmente, puede estar cubierto también por un delgado espesor de Sedimentos Postpampeanos en los fluvios y en algunas depresiones cerradas.

En el mapa 2 se indica la distribución areal del Pampeano, que está formado por limo arenoso de origen eólico (loess) y fluvial, con abundante plagioclasa, vidrio volcánico y CO₃Ca pulverulento, nodiforme y estratiforme (tosca).

El espesor del Pampeano está controlado por los desniveles topográficos y por la posición del techo de las Arenas Puelches, variando entre extremos de 50 m en la Llanura Alta y 0 m en la costa del Río de la Plata, donde fue totalmente erosionado.

La trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche subyacente y también para la

transferencia de las sustancias contaminantes, generadas principalmente por actividades domésticas y agrícolas, como los nitratos.

La sección superior del Pampeano contiene a la capa freática y su base está formada por un limo arcilloso de unos 6 m de espesor medio, y apreciable continuidad areal que lo separa del Puelche, otorgándole a este último un comportamiento de acuífero semiconfinado.

La comunicación hidráulica entre los acuíferos Pampeano y Puelche, señalada por Auge (1986) para la cuenca del Río Matanza, se produce de la misma manera en la zona estudiada (fig. 2).

Además de la capa freática, el Acuífero Pampeano suele presentar uno o dos niveles de mayor productividad los que, debido al incremento de la profundidad, alcanzan un bajo grado de confinamiento. **Sin embargo, al conjunto se lo puede asimilar hidráulicamente a un acuífero multiunitario, con comportamiento libre en la sección superior y levemente semiconfinado en la inferior.**

En relación a los parámetros hidráulicos del Pampeano, la conductividad hidráulica y la porosidad efectiva más frecuentes varían entre 1 y 10 m/día y entre 5 y 10% respectivamente. Dado que el caudal puede alcanzar a 30 m³/h por pozo, se lo puede considerar como un acuífero de mediana productividad.

En la zona rural cultivada, la falta de entubamiento y aislación del Pampeano, hace que los pozos capten en forma conjunta a éste y al Acuífero Puelche.

El agua contenida en el Pampeano es del tipo bicarbonatada sódica y cálcica, con salinidades inferiores a 1 g/L en la Llanura Alta, pero con incrementos notorios en la Planicie Costera.

11.1.3. Arenas Puelches (Plio-Pleistoceno)

Constituyen una secuencia de arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, blanquecinas y amarillentas, con estratificación gradada. Se sobreponen en discordancia erosiva a las arcillas de la Formación Paraná y constituyen el acuífero más importante de la región por su calidad y productividad. Las Arenas Puelches son de origen fluvial, ocupan en forma continua unos 89.000 km² en el subsuelo del NE de la Provincia de Buenos Aires y se extienden también hacia el N en la de Entre Ríos y hacia el NO en las de Santa Fe y Córdoba (Auge et al, 2002).

El Acuífero Puelche es uno de los más explotados del país, pues de él se abastece en gran medida el Conurbano de Buenos Aires que, con unos 8 millones de habitantes, es el núcleo más densamente poblado de la Argentina.

En la zona estudiada el techo del Puelche se ubica entre 20 y más de 50 m de profundidad (mapa 3) y su espesor varía entre algo menos de 20 y algo más de 30 m (mapa 4).

Todos los pozos del servicio de agua potable de La Plata y alrededores captan este acuífero, que también se aprovecha para riego y para la industria, con producciones individuales entre 40 y 160 m³/h, de agua bicarbonatada sódica, con una salinidad total menor a 1 g/L. En la Planicie Costera, la salinidad del Puelche aumenta notablemente, superando en algunos casos 20 g/L (Punta Lara), con agua clorurada sódica.

La transmisividad media del Puelche (500 m²/día), deriva en una conductividad hidráulica de 25 m/d para un espesor medio de 20 m (Auge, 1991).

Es muy poco lo que se conoce respecto a las unidades hidrogeológicas que subyacen al Puelche, porque son muy escasas las perforaciones que las alcanzan o las atraviesan, debido a que tanto en la zona estudiada como en otras vecinas, han brindado aguas con elevados tenores salinos.

La descripción que sigue se basa en el perfil litológico del pozo Plaza de Armas de 495 m de profundidad (fig. 3), perforado en el ejido urbano de La Plata.

11.1.4. Formación Paraná (Mioceno superior)

Tiene origen marino, subyace al Puelche y está integrada por dos secciones de características disímiles.

La superior, netamente arcillosa, de tonalidad verdosa dominante y con fósiles marinos, se desarrolla entre 63 y 154 m de profundidad y la inferior, más arenosa y calcárea desde 154 hasta 297 m.

En la perforación Plaza de Armas no se citan niveles piezométricos ni composición de las aguas, por ello se eligió otra más somera de 82 m (Jockey Club de Punta Lara), para caracterizar químicamente a la unidad. Aquí, la secuencia arcillosa cuspidal se extiende entre 47 y 78 m de profundidad y la unidad arenosa subyacente, ocupa el tramo de 78 a 82 m, que fue la profundidad final del pozo, por lo que, al no ser atravesada, se desconoce el espesor de esta última. El Acuífero Paraná de 78 a 82 m, presentó una salinidad de 7,5 g/L con agua clorurada sódica.

Al respecto, resulta importante señalar que en la misma perforación el Acuífero Puelche, emplazado entre 23 y 47 m de profundidad, brindó agua con 18,2 g/L de sales totales disueltas y también del tipo clorurado sódico.

11.1.5. Formación Olivos (Oligoceno – Mioceno inferior)

Tiene origen continental, con participación eólica y fluvial. Subyace a la Formación Paraná mediante una superficie de discordancia erosiva y en la Perforación Plaza de Armas, se apoya sobre el Basamento Cristalino. En la Fm. Olivos predomina la tonalidad rojiza por lo que también se la denomina El Rojo (Groeber, 1945).

En la perforación citada, ocupa el tramo del perfil que va desde 297 a 486 m de profundidad, con predominio de pelitas yesíferas de 297 a 447 m y un conglomerado cuarzoso y de rocas cristalinas (conglomerado basal) desde 447 a 486 m de profundidad. El acuífero contenido en el conglomerado basal registró un nivel piezométrico de 7,35 m referido al cero del Riachuelo.

No se indica en el perfil la composición del agua contenida en el Acuífero Olivos, pero en la cuenca del Río Matanza, la sección más profunda, registró una salinidad de 40 g/L (Auge, 1986).

11.1.6. Basamento Cristalino (Precámbrico)

Constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo. En el sitio estudiado está formado por rocas cristalinas del tipo gneis granítico, que por su textura carecen de porosidad primaria y por lo tanto actúan como acuífugas. Sólo pueden transmitir agua, pero generalmente en cantidades reducidas, a través de fisuras (esquistosidad, diaclasas, fracturas).

El basamento, de edad Proterozoica, fue alcanzado por la perforación Plaza de Armas a 486 m de profundidad y puede asimilarse al que aflora en las Sierras de Tandil, en la Isla Martín García y en la costa uruguaya.

En el cuadro 1 se sintetiza el comportamiento hidrogeológico de las unidades descriptas.

11.2. Estructura

Una de las características distintivas de la geología de los ambientes llanos, es la escasa deformación tectónica, particularmente de las unidades más modernas, lo

que se traduce en una posición estratigráfica subhorizontal (Auge y Hernández, 1984).

Para analizar el comportamiento estructural de las Arenas Puelches, se elaboraron los mapas 5 y 6.

El mapa 5 indica mediante líneas estructurales la posición del techo de las Arenas Puelches, que conforma una superficie de discordancia erosiva sobre la que se asienta el Pampeano. En la mayor parte del ámbito estudiado, el techo de emplaza entre -20 y -30 m, respecto al cero del IGM, resaltando un sector caracterizado por 4 altos cerrados de -20 m que se ubican en la ciudad de La Plata y sus vecindades. La mayor parte de uno de los bajos más importantes, subyace al Bañado Maldonado y está limitado por la curva paleomorfológica de -30 m, mientras que el sector más deprimido se emplaza en el extremo Norte de la ciudad y está encerrado por la curva de -40 m.

Otro sector deprimido, se inicia 12 km al O del centro de La Plata y también está circundado por la curva de -30 m (arroyos Martín, Carnaval y Pereyra).

El gradiente más fuerte se da entre las curvas de -20 , -30 y -40 m, en el extremo N de La Plata, con 33 m/km y los más frecuentes oscilan entre 2,5 y 5 m/km.

No hay un patrón definido respecto al tipo de forma dominante. Algunas son elongadas y otras subcirculares y dentro de las primeras, predominan las que se orientan NO-SE y NE-SO.

Un diseño similar presentan las paleoformas de la superficie de erosión que constituye el contacto entre las Arenas Puelches y las arcillas de la Fm. Paraná. Aquí la información es más escasa, porque son menos las perforaciones con perfil disponible que llegan a las "arcillas verdes".

La posición más frecuente de la paleoforma del piso, es entre cotas -50 y -60 m y en general se observa correspondencia entre los altos paleomorfológicos de éste y los del techo. Lo mismo sucede entre los bajos, como el de -60 m del piso, coincidente con el de -40 m del techo, en el sector N de La Plata (mapa 6).

Los gradientes de la superficie de erosión del piso son similares a los del techo, registrando el más fuerte el mismo valor que en el techo (33 m/km) y oscilando los más frecuentes entre 3 y 5 m/km.

La continuidad de las líneas paleomorfológicas y la ausencia de fuertes desniveles, tanto en el piso como en el techo, indican que las Arenas Puelches no sufrieron fallamiento. Por lo tanto, se concluye que la actividad tectónica no incide en el comportamiento hidrogeológico de las unidades de mayor interés (Pampeano y Puelche).

En el mapa 4 se representan las variaciones de espesor de las Arenas Puelches, apreciándose que las mayores potencias (más de 30 m) se dan en el subsuelo de La Plata y alrededores y en Bavio (más de 40 m), y espesores menores de 20 m, se presentan al O de la ciudad (arroyos Martín, Carnaval y Pereyra).

Tampoco surgen evidencias de fallamiento, al analizar el mapa de espesor.

En el mapa 3 se indica la variación en la profundidad del techo de las Arenas Puelches, apreciándose que ésta oscila entre 20 m en Punta Lara y más de 50 m en el borde S del ámbito estudiado.

Respecto a la batimetría citada, el mayor control lo ejerce la topografía y por ello en la Planicie Costera dominan profundidades entre 20 y 40 m y en la Llanura Alta, particularmente hacia la divisoria SO, se registran valores mayores a 50 m. Secundariamente, la profundidad está controlada por la paleoforma, como sucede en el extremo Norte de La Plata, donde el techo se ubica a más de 50 m por debajo de la Planicie Costera, o al NO de la ciudad, donde su profundidad es menor a 30 m en el subsuelo de la Llanura Alta.

El interés práctico de esta batimetría radica en que resulta de utilidad a los perforadores, para programar la profundidad de los sondeos previamente a su ejecución.

Con relación al Acuífero Pampeano, la profundidad de su base (techo de las Arenas Puelches) deducida de la profundidad de la superficie freática, brinda el espesor saturado. Esta variable, junto con el área y la porosidad efectiva, permiten calcular el volumen de agua almacenada en este acuífero.

El acuitardo está compuesto por un limo arcilloso, ocasionalmente arenoso, que se extiende en forma ininterrumpida en el subsuelo del ámbito estudiado, separando al Acuífero Pampeano del Puelche. Su importancia radica en que conforma la unidad a través de la cual se recarga y descarga este último (Auge, 1986).

Respecto a su geometría, en el mapa 7 se representan las variaciones de espesor, apreciándose que la más frecuente oscila entre 4 y 8 m, con extremos inferiores a 2 m (vértice NO y mayores de 10 m sector SE de La Plata).

12. GEOMORFOLOGÍA

La región estudiada integra el sector austral de la gran Llanura Chacopampeana y se caracteriza por ser un ámbito con pendiente dominante hacia el NE y cotas extremas de 30 m en la divisoria coincidente con el límite SO y de 0 m en la ribera del Río de La Plata (mapa 8, A - B). Entre dichos ámbitos, separados por 23 km, el gradiente topográfico medio es de 1,3 m/km.

Una disposición similar se aprecia entre los puntos C y D (mapa 8), a lo largo de un perfil ubicado en el sector SE de la zona estudiada pero aquí el gradiente es menor (0,8 m/km), dado que la cota máxima en divisoria es de 23 m y la distancia a la costa es de 30 km.

Dentro de la región llana mencionada, se pueden distinguir dos componentes morfológicos principales (Planicie Costera y Llanura Alta) y otro que ensambla a los anteriores (Escalón).

12.1. La Planicie Costera (Auge, 1990) que ocupa 318 km², se extiende en forma de faja paralela a la costa del Río de la Plata, en un ancho de 6 a 10 km, constituyendo un ámbito casi sin relieve, entre cotas 5 y 0 m (mapa 8), lo que deriva en gradientes topográficos extremos de 0,5 y 0,8 m/km. Esta condición topográfica limita notoriamente el flujo superficial, dificultando severamente la llegada natural de las aguas provenientes de la Llanura Alta, hasta el nivel de base regional constituido por el Río de la Plata. A esto coadyuva la existencia de cordones o albardones costeros de arena y de conchilla, generalmente emplazados por encima de la cota 2,5 m que, dispuestos paralelamente a la línea de ribera, actúan como barreras para los fluvios. Por ello, para que las aguas superficiales lleguen al Río de la Plata, generalmente es necesario efectuar canalizaciones.

Lo antedicho da lugar a la formación de un ambiente mal drenado, de tipo cenagoso, con agua subterránea aflorante o a muy poca profundidad (generalmente a menos de 1 m), **donde predomina notoriamente la dinámica vertical sobre la lateral, lo que hace que funcione como el principal ámbito de descarga subterránea natural de la región.**

Otra característica distintiva de la Planicie Costera, es el control que ejerce sobre la salinidad. En efecto, el agua subterránea asociada, generalmente presenta elevada salinidad en el Acuífero Pampeano, condición que se acentúa en el Acuífero Puelche, dado que en algunos sitios este último posee un tenor salino similar al del agua de mar.

En la Planicie Costera dominan superficialmente, depósitos pelíticos de origen marino y edad Holocena, cubiertos localmente por sedimentos arenosos y conchiles, que forman los cordones costeros. Al conjunto se lo denomina Sedimentos Postpampeanos y poseen significativa trascendencia hidrogeológica.

Los pelíticos porque generalmente se asocian con aguas de elevada salinidad y los conchilíferos porque conforman acuíferos de baja salinidad, debido a que por su elevada porosidad y conductividad hidráulica, favorecen la infiltración del agua de lluvia y de la proveniente de las crecidas del Río de la Plata. Estos acuíferos, pese a ser de dimensiones reducidas (lentiformes) y a almacenar volúmenes relativamente pequeños, constituyen las únicas fuentes de provisión de agua apta para consumo humano en la Planicie Costera.

12.2. La Llanura Alta (Auge, 1997), denominada así por su posición topográfica más elevada respecto a la Planicie Costera, se desarrolla en una superficie de 689 km². Se dispone en forma de faja rectangular, orientada de NO a SE (mapa 8), entre cotas 30 y 10 m en el sector NO de la zona estudiada y entre cotas 23 y 7,5 m en el sector SE.

Presenta ondulaciones muy suaves originadas por la erosión fluvial y una pendiente topográfica dominante hacia el NE de 20 m en 14 km (1,4 m/km) en el sector NO y de 13 m en 12 km (1,1 m/km) en el sector SE.

En la Llanura Alta, por debajo del suelo, se disponen los Sedimentos Pampeanos (Pampeano), que son limos arenosos de características loésicas, constituidos por abundante plagioclasa y feldespato y en menor proporción por vidrio volcánico y cuarzo. También abunda el CO₃Ca en forma de nódulos, concreciones o estratificado.

El Pampeano, de edad Pleistocena, es de origen eólico y fluvial y por su conformación granométrica, textural y mineralógica, es más permeable y resistente a la erosión que el Postpampeano.

Las condiciones morfológicas y geológicas que caracterizan a la Llanura Alta, ejercen notable incidencia en la dinámica y en la química del agua subterránea. En ella domina la infiltración o la recarga, particularmente en las divisorias de aguas superficiales, que son las formas de menor pendiente topográfica. Respecto a la salinidad, prácticamente toda el agua subterránea de la Llanura Alta es de bajo contenido salino (menos de 1 g/L), tanto en el Acuífero Pampeano como en el Puelche.

12.3. El Escalón (Cappannini y Mauriño, 1966) conforma el ámbito de ensamble entre la Llanura Alta y la Planicie Costera y se desarrolla aproximadamente entre las isohipsas de 5 y 10 m, manifestándose con mayor claridad entre la ciudad de La Plata y el extremo NO de la región estudiada. Al SE de La Plata pierde definición, por disminución del resalto vertical, disponiéndose entre cotas 5 y 7,5 m. La erosión fluvial corta al Escalón, desplazándolo por las márgenes de los cauces, aguas arriba, lo que le otorga una forma irregular.

La extensión lateral del Escalón es variable, en La Plata registra entre 300 y 500 m de ancho, amplitud que mantiene hacia el NO. Al SE de La Plata, ya se mencionó que pierde definición morfológica por disminución del gradiente topográfico, dado que el ancho normalmente supera los 500 m. Arealmente ocupa sólo 43 km².

El Escalón es una forma erosiva labrada en los Sedimentos Pampeanos y representa la antigua línea de ribera que limitó la ingresión del Mar Querandino.

En coincidencia aproximada con el Escalón, se produce la mayor descarga natural de agua dulce del Acuífero Puelche (fig. 2).

13. HIDROGRAFÍA

Las cuencas hidrográficas presentan características muy diferentes de acuerdo al ámbito morfológico en que se desarrollen (mapa 9).

En la Llanura Alta, las cuencas tienen bordes bien definidos y los colectores principales presentan trayectorias relativamente rectas, con cauces menores que rara vez superan los 5 m de ancho. Las llanuras de inundación, por su parte, pueden alcanzar hasta unos 500 m de ancho (A° El Pescado).

En la Planicie Costera los cauces se tornan divagantes, perdiéndose en el Bañado Maldonado; prácticamente desaparecen las divisorias por lo plano del

relieve y en la mayoría de los casos, sólo puede lograrse la descarga en el Río de la Plata, mediante canalizaciones.

En la Llanura Alta, la cuenca del Arroyo El Pescado se destaca notoriamente de las otras, por su forma de bota, originada por la existencia de dos orientaciones principales en la red de drenaje (NE y N). Además, su superficie (356 km²) es casi igual a la sumatoria de las otras 8 cuencas hidrográficas (376 km²), que se caracterizan por una forma de tipo rectangular con una relación media de tamaños de 3,5 a 1 y extremos de 6,5 a 1 (A° Martín) y 1,75 a 1 (A° Garibaldi).

Domina en la cuenca del A° El Pescado el diseño dendrítico frente al de tipo recto que caracteriza al resto (Pereyra, Carnaval, Martín, Rodríguez, del Gato, Pérez, Maldonado y Garibaldi). En estos últimos, también se destaca la escasa cantidad de afluentes que tienen los colectores principales (mapa 9).

La mayoría de los arroyos es de tipo perenne o permanente en los tramos inferiores de sus cuencas, por el aporte subterráneo, mientras que en los tramos medios y altos se transforman en intermitentes, debido a que los cauces se ubican por encima de la superficie freática. Al carácter de influencia de las aguas superficiales sobre las subterráneas contribuye en gran medida la explotación, particularmente la que se efectúa en la ciudad de La Plata.

En la tabla 6 se señalan las superficies de cada cuenca hidrográfica y de ella se desprende que la del A° El Pescado es 5,8 veces mayor que la que le sigue en tamaño (A° Carnaval).

Existen aforos en siete de las nueve cuencas hidrográficas (Auge, 1997), debido a que los arroyos Pérez y Garibaldi no poseen condiciones favorables para ello.

Respecto al régimen fluvial, es bastante frecuente el desborde de los arroyos menores por: el escaso desarrollo de sus cuencas hidrográficas, la rápida concentración del escurrimiento superficial y la existencia de algunas obras que dificultan el flujo natural, como los terraplenes del ferrocarril y de los caminos Gral. Belgrano y Centenario y el de la Autopista La Plata – Buenos Aires. Estos actúan como verdaderos embalses, particularmente cuando en los cruces con los cauces, la sección para la descarga no tiene el tamaño suficiente.

Los daños producidos por los desbordes en las zonas urbanizadas de La Plata, Gonnet, City Bell y Villa Elisa, hicieron necesario la canalización de los arroyos del Gato, Rodríguez, Martín y Carnaval, especialmente en las cercanías de la Planicie

Costera y a lo largo de la misma, hasta el Río de la Plata. Sin embargo los problemas de desbordes e inundaciones se mantienen, debido a la causa ya mencionada y a que, si el pico de crecida de los arroyos coincide con una posición de agua alta en el Río de la Plata, la descarga se dificulta más aún. Esta situación suele darse cuando se combinan la lluvia y la crecida del Río de la Plata, originadas por una tormenta de origen polar, conocida como Sudestada.

En el aspecto hidrogeológico, la cuantificación de la escorrentía asume significativa trascendencia, dado que es una de las variables primarias del ciclo y por ello, junto con la precipitación y la evapotranspiración, permiten resolver la ecuación generalizada y así obtener la infiltración, que participa como variable dependiente y constituye la recarga subterránea.

El índice de escorrentía (**le**) se estimó a partir de aforos realizados en noviembre de 1994, en 7 de las 9 cuencas hidrográficas presentes en la región (Auge, 1997). De ellos surgen dos **le** muy diferentes para el Aº El Pescado (0,6%) y el Aº del Gato (65%), en relación al resto de las cuencas.

En el primer caso, lo bajo del índice puede atribuirse a la escasa pendiente topográfica que caracteriza a la cuenca del Aº El Pescado, pero el **le** del Aº del Gato es anómalo, porque la mayor parte de su caudal proviene de vertidos industriales y domésticos. En efecto el Aº del Gato, además de estar profundamente canalizado, lo que favorece la descarga subterránea, atraviesa una zona densamente poblada en la que la mayoría de sus habitantes carece de desagües cloacales, por lo que los vertidos de aguas servidas son importantes. Además, en sus cabeceras se emplaza una importante planta petroquímica, que contribuye en gran medida al flujo superficial, con sus efluentes.

El resto de los arroyos observaron caudales medios entre 30 y 70 L/s, con índices de escurrimientos extremos de 3,9% (Aº Pereyra) y 9,1% (Aº Maldonado).

Considerando el promedio de los arroyos aforados, excluidos El Pescado y del Gato, este es del 6,2% respecto a la lluvia.

En virtud de lo expuesto, se toma como magnitud indicativa para el escurrimiento fluvial el equivalente al 6% de la lluvia.

14. AGUA SUBTERRÁNEA

14.1. Modelo conceptual

La relación hidráulica entre los acuíferos Pampeano y Puelche, fue propuesta por Auge (1986) para la Cuenca del Río Matanza y demostrada para el ámbito estudiado, a partir de mediciones piezométricas y freáticas (Auge, 1997). Dicho funcionamiento hidráulico se esquematiza en la figura 2.

La comunicación entre ambos acuíferos a través del acuitardo, permite que el Puelche se recargue por filtración vertical descendente, en aquellos sitios donde el Pampeano presenta mayor potencial hidráulico (divisorias subterráneas), o se descargue por filtración vertical ascendente, donde presenta menor potencial hidráulico que el Puelche (zonas de descarga).

En definitiva este funcionamiento con comunicación hidráulica vertical, deriva en potenciales muy similares entre ambos acuíferos, similitud que también caracteriza a la salinidad y a la composición química de sus respectivas aguas, fundamentalmente en la Llanura Alta, donde la diferencia más notoria radica en el mayor contenido en calcio del agua del Pampeano respecto al Puelche (Auge, 1995).

14.2. Ensayos hidráulicos

Durante el primer año de ejecución del proyecto y, a fin de ampliar el conocimiento sobre los parámetros hidráulicos del Acuífero Puelche, se realizaron 17 ensayos de bombeo en perforaciones empleadas para el abastecimiento de agua potable. La metodología empleada para ejecución y la interpretación, así como las curvas de dichos ensayos, obran en el informe del primer año (Auge et al, 2003).

En la tabla 10 se sintetizan los resultados obtenidos en los ensayos de bombeo. Los extremos de transmisividad fueron 225 y 1.034 m²/d (pozos Pu36 y Pu51) y la media alcanzó a 505 m²/d. Las conductividades hidráulicas (K) se obtuvieron dividiendo las T por los espesores del Acuífero Puelche en cada sitio ensayado; los extremos fueron 8 y 41 m/d, en los pozos citados, y el promedio 20 m/d. Para los mismos parámetros, mediante la realización de 30 ensayos de bombeo, 4 de ellos con pozo de observación Auge (1997), obtuvo una T y K medias de 550 m²/d y 30 m/d, respectivamente.

14.3. Recarga

En el capítulo 10.3, a partir del desarrollo del balance hídrico generalizado, se estimó un coeficiente de infiltración del 15% respecto a la lluvia; este índice, considerando el lapso 1909/01, brinda un valor medio para la recarga del Acuífero Pampeano de 156 mm/año.

Se estima en 53 hm³/año, la recarga natural que recibe el Acuífero Puelche desde el Pampeano, considerando el flujo del primero, calculado a partir de la red de flujo (mapa 11) y adoptando una transmisividad media de 500 m²/d. La estimación es válida para un régimen estacionario, condición que puede aplicarse al Acuífero Puelche, por su comportamiento como semiconfinado y por la estabilidad piezométrica observada en los últimos 10 años.

14.4. Descarga

En este punto deben considerarse tanto los procesos de descarga natural como artificial.

De ambos acuíferos, el Puelche es el más explotado, siendo sus principales usos el abastecimiento humano y el riego. El Pampeano se emplea para consumo doméstico, en los sitios carentes de servicio de agua potable, para riego, debido a que las perforaciones carecen de encamisado, permitiendo su captación junto con el Puelche, y para el ganado en la zona pecuaria.

El cambio en las prácticas de cultivo ocurridas en los últimos 10 años, donde se pasó de cultivar a la intemperie y regar por surco, a hacerlo en invernadero y regar por goteo, ha modificado sustancialmente el volumen de agua subterránea empleada.

En el año 1992 la superficie regada en el ámbito de llamada del cono de depresión de La Plata era de 13.000 hectáreas y el volumen extraído de unos 70 hm³/a, de los cuales 49 hm³/a provenían del Puelche y 21 hm³/a del Pampeano (Auge, 1997). **Actualmente se riega por surco unas 3.000 ha y por goteo 1.000, lo que requiere una extracción de unos 17 hm³/a, de los cuales 12 provienen del Puelche y 5 hm³/a del Pampeano (datos sujetos a revisión).**

En relación al consumo para alimentación humana, proveniente del Acuífero Puelche, este creció de 50 hm³/a en 1992 a 75 hm³/a en 2003,

considerando la población que cuenta con servicio de agua potable. La que carece de este servicio, emplea unos 2 hm³/a, provenientes del Pampeano.

La industria más importante se abastece con agua del Río de la Plata, mientras que la restante, aprovecha sólo 1,5 hm³/a del Acuífero Puelche.

El abastecimiento para el ganado es del orden de 0,6 hm³/a, proveniente del Acuífero Pampeano.

14.5. Dinámica

14.5.1. Lateral

Respecto al movimiento lateral, en los mapas 11, 13 y 15, se representan las redes de flujo correspondientes a los acuíferos Puelche (Pu), Pampeano (Pa) y a ambos (PaPu).

Acuífero Puelche

En el mapa 10 se indican los pozos censados y en el 11 la red de flujo. En este último se aprecia claramente el control que, sobre el flujo del Puelche, ejerce el bombeo de los pozos para agua potable de La Plata y localidades vecinas, como Hernández, Gonnet, City Bell y Villa Elisa. La equipotencial de 0 m tiene forma elongada en dirección NO – SE, con un perímetro de 58 km, y un marcado lóbulo hacia el SO a la altura de La Plata. Su eje mayor es de 24 km, mientras que el menor varía entre 3 y 7 km, este último en coincidencia con el lóbulo citado. En el interior de la de 0 m, se presentan 3 curvas, también cerradas, que abarcan pequeñas superficies, generadas por los pozos Pu41, Pu45 y Pu48 (mapa 10). Los gradientes hidráulicos, en el sector SO de la región estudiada (zona no alterada), varían entre 1,0 y 2,5.10⁻³, para incrementarse en la zona explotada hasta 1,9.10⁻², como sucede en el ámbito de influencia del pozo Pu41.

Para calcular el flujo subterráneo que ingresa al cono, a través de la equipotencial de 0 m, se empleó Darcy:

$$Q = T \cdot i \cdot L \quad 145.000 \text{ m}^3/\text{d} \approx 500 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 58.000 \text{ m}$$

Q: caudal T: transmisividad i: gradiente hidráulico L: longitud

Los 145.000 m³/d equivalen a 53 hm³/a y, dado que la extracción alcanza a 75 hm³/a, el déficit asciende a unos 22 hm³/a. Aunque la red de flujo del 2003, presenta diferencias respecto a la del 2002, particularmente en la forma de la equipotencial de 0 m, que limita el cono de La Plata, los flujos subterráneos en el Acuífero Puelche son bastante parecidos (51 hm³ en 2002 y 53 hm³ en 2003).

La estabilidad piezométrica observada en los últimos años, indica que las entradas deben ser similares a las salidas y por lo tanto, el déficit mencionado debe cubrirse con aporte natural y artificial, ambos a partir del Pampeano. El primero, por filtración vertical descendente a través del acuitardo, de parte de la recarga y/o reserva almacenada en este acuífero. El restante, de origen artificial, es producto de las pérdidas en la red de agua potable, estimadas en un 15% del agua circulante.

Dado que en la red circulan unos 125 hm³/año (75 hm³/a de agua subterránea y 50 hm³/a de agua superficial), la recarga artificial al Pampeano asciende a unos 19 hm³/a. Adicionándole al flujo (53 hm³/a) este último valor, se llega a un equilibrio bastante aceptable entre salidas (75 hm³/a) y entradas (72 hm³/a).

No se puede determinar con precisión la extensión del ámbito donde el flujo del Acuífero Puelche está influenciado por el bombeo de La Plata, debido a que resultan bastante imprecisos los límites ubicados al SO y al S de la ciudad, pero dicha superficie es del orden de 60.000 hectáreas.

Acuífero Pampeano

En el mapa 12 se indica la distribución de los pozos censados en el Acuífero Pampeano y en el 13, la red de flujo del mismo.

En el mapa 13, se observa la presencia de un cono de depresión, limitado por la equipotencial de 0 m, ubicado al S de La Plata. El cono, que está definido por las cotas hidráulicas de los pozos Pa14 (-2,0 m) y Pa8 (-0,8 m), es más suave que el existente en el Acuífero Puelche y tiene forma elongada en dirección E-O. El origen de este cono es el descenso de la superficie freática, como consecuencia de la explotación del acuífero subyacente (Puelche). Otro cono, en el vértice NO del mapa, fuera de la zona estudiada, se insinúa mediante la isolínea de -5 m.

Los mayores gradientes hidráulicos del Pampeano ($2,4 \cdot 10^{-3}$), son similares a los registrados en el Puelche de la zona no disturbada, pero los menores ($3,7 \cdot 10^{-4}$), son más bajos que sus equivalentes del Puelche.

Existe una distorsión bastante menor en la red de flujo del Acuífero Pampeano que en la del Puelche, debido a la menor extracción a que está sometido el primero.

Acuíferos Pampeano y Puelche

En el mapa 15, se representa la red de flujo resultante de los potenciales hidráulicos medidos en pozos que captan ambos acuíferos. Dichos pozos, como se mencionó, son típicos del ámbito rural cultivado y, al carecer de entubamiento de aislación, permiten la comunicación hidráulica directa entre los acuíferos Pampeano y Puelche.

En el mapa, que cuenta con un número de puntos de medición mucho menor que los empleados para los acuíferos Pampeano y Puelche, se aprecia un flujo dominante hacia el NE, con un marcado apretamiento de las equipotenciales en el sector O de la zona estudiada (pozos PaPu1, PaPu2, PaPu4 y PaPu11). Otro incremento en el gradiente hidráulico, pero más atenuado se aprecia entre los pozos PaPu 6 - PaPu9 y el PaPu8.

14.5.2. Vertical

La hidrodinámica subterránea vertical presenta dos componentes principales. El más somero se produce exclusivamente en el Acuífero Pampeano y se manifiesta por la oscilación de la superficie freática.

En ámbitos llanos como el estudiado, el vector de la dinámica vertical posee mayor trascendencia que el movimiento lateral. Al respecto (Auge, 1997), estimó en 39,4 hm³ el incremento de la reserva del Acuífero Pampeano, debido al ascenso de la freática, en 3 meses, frente a sólo 4 hm³/año producto del flujo lateral.

El componente más profundo del flujo vertical, es el que se produce a través del acuitardo que separa a los acuíferos Pampeano y Puelche, mediante el cual se recarga y descarga el Puelche (fig. 2).

El espesor del acuitardo se indica en el mapa 7, con extremos menores a 2 m (vértice NO) y mayores a 10 m (SE de La Plata) y una potencia dominante entre 4 y 8 m.

En el mapa 19 se reproducen las diferencias de potenciales hidráulicos entre los acuíferos Pampeano y Puelche, apreciándose valores dominantes entre 0 y -5 m, a favor del Pampeano. Los valores negativos indican menores potenciales en el Puelche respecto al Pampeano y viceversa. En La Plata, en coincidencia con un

espesor significativo del acuitardo (8 m), también se manifiesta la mayor diferencia de potencial hidráulico (-10 m). Otra curva cerrada de -10 m se genera por el bombeo de los pozos de City Bell y localidades vecinas. Al O de la isolínea de 0 m, que pasa por Etcheverry, Abasto y M. Romero, la diferencia de potencial favorece al Puelche, por lo que el flujo vertical dominante es ascendente. Dado que los niveles hidráulicos dependen de la relación recarga - descarga, al igual que estos, los potenciales van a variar en función de dicha relación, en la que deben considerarse tanto los factores naturales como los antrópicos.

14.6. Profundidad

La profundidad de la superficie piezométrica del Acuífero Puelche se reproduce en el mapa 16. En el mismo se aprecian valores menores a 2 m en la Planicie Costera, en el extremo E de la región estudiada (Pu10, Pu11 y Pu25) y en Ensenada (Pu30). Otro sector con menos de 2 m de profundidad, se ubica en el sector SO, fuera de la zona investigada (Pu22 y Pu54). La profundidad aumenta hacia el ámbito urbano de La Plata, donde en su extremo S, se manifiestan valores mayores a 20 m (pozos Pu13, Pu23, Pu32, Pu40, Pu43 y Pu44). En el sector NO, también se presenta una profundización con más de 25 m (Pu34). Considerando la totalidad del ámbito estudiado, predominan profundidades de la superficie piezométrica entre 5 y 15 m.

Las curvas de isoprofundidad presentan una conformación similar a las equipotenciales, debido a la conjunción de concentración de la extracción y topografía elevada (Llanura Alta).

La profundidad de la superficie freática del Acuífero Pampeano (mapa 17) sigue en su configuración general a la del Puelche, aunque en forma más atenuada, especialmente en el sector de mayor depresión piezométrica al S de La Plata. Aquí la curva de mayor profundidad del agua freática (15 m) presenta una diferencia de unos 5 m respecto al Puelche (20 m). Se mantiene en el Pampeano, la profundización mencionada para el Puelche, en el extremo NO, con más de 20 m (Pa35).

En el mapa 18 se indica la profundidad del agua registrada en los pozos que captan ambos acuíferos conjuntamente, apreciándose una curva cerrada de 20 m (pozo PaPu8) al SO de La Plata y un predominio de valores entre 10 y 15 m en el resto del ámbito rural cultivado.

14.7. Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos semiconfinados

O conceito de vulnerabilidade a contaminação de aquíferos é definido como as características intrínsecas dos estratos que separam a zona saturada do aquífero e a superfície do terreno, em permitir a maior ou menor degradação do corpo de água subterrâneo frente a uma atividade antrópica. Desta forma, a vulnerabilidade do aquífero seria função de: i) acesso hidráulico do contaminante à zona saturada do aquífero e ii) capacidade de atenuação dos estratos sobrejacentes à zona saturada, resultante da retenção ou degradação físico-bio-química de contaminantes (Foster & Hirata, 1988).

Embora seja difícil de quantificar, Foster et al (2002) sugerem uma definição prática de classes de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos (tabla 1). Esta classificação tenta tirar o subjetivismo da maioria dos métodos de vulnerabilidade que resultam em índices relativos.

Tabla 12

Definición práctica de clases de vulnerabilidad de acuíferos frente a contaminación (Foster et al, 2002).

Vulnerabilidad	Definición
Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente adsorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes sólo cuando son continuamente descargados o lixiviados
Baja	Sólo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo
Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Embora existam vários métodos de vulnerabilidade (Vrba & Zaporozec, 1994), com utilização bastante ampla em muitos países, há certas condições hidrogeológicas que geram problemas e limitações no uso destas técnicas tradicionais (Foster et al, 2002). Um dos casos bastante comuns é aquele associado aos aquíferos semiconfinados.

A pluma contaminante para chegar a um aquífero semiconfinado tem que inicialmente atingir o aquífero livre sotoposto e o próprio aquítarde. Desta forma, um método de vulnerabilidade efetivo teria que incorporar estas propriedades. Outra componente que tem um papel importante é a carga hidráulica relativa entre os dois aquíferos, o livre superior e o inferior, que se quer proteger. Um fluxo ascendente de água (carga hidráulica maior do aquífero inferior, relativamente ao aquífero superior) não favoreceria a sua contaminação, já a situação inversa, sim (Figura 1 - Auge, 2003).

Os métodos tradicionais de vulnerabilidade estimam a probabilidade de um contaminante atingir a zona saturada do aquífero livre. Uma vez chegando a ela, terá que atravessar a zona saturada do aquífero, sofrendo, entre outras ações, a dispersão hidráulica, que reduz suas concentrações. Desta forma, o aquífero semiconfinado está mais protegido, comparativamente aos aquíferos livres.

14.7.1. Método de vulnerabilidade GODE

Para a situação observada nos aquíferos da região de La Plata concluiu-se que uma adaptação do método de vulnerabilidade GOD (Foster & Hirata, 1988) seria mais interessante que criar um novo, devido à experiência já acumulada desta metodologia sobretudo na América Latina (Foster et al, 2002). Outro motivo importante é que a criação de um método específico de vulnerabilidade para aquíferos semiconfinados acabaria por restringir o seu uso a estes casos e os índices de vulnerabilidade gerados poderiam não ser comparáveis às cartografias já existentes.

O método GOD analisa apenas o primeiro aquífero que será atingido por uma carga contaminante que se origina na superfície. Ele é portanto suficiente para avaliar a probabilidade da contaminação do aquífero livre que se sobrepõe ao aquítarde e ao aquífero semiconfinado inferior.

Como assinalado, há duas componentes adicionais que deveriam ser levados em conta na avaliação de um aquífero semiconfinado: a capacidade de diluição da zona saturada do aquífero livre e as cargas hidráulicas relativas dos dois aquíferos.

No primeiro caso, espera-se que quanto maior a espessura saturada, maior será esta diluição. Desta forma, há duas maneiras de tratar esta questão: i) o fator D (depth, profundidade da água subterrânea) no GOD levaria em consideração toda a zona não saturada do aquífero livre, a espessura da zona saturada e a espessura do

aquitarde ou ii) criar um novo parâmetro associado à espessura da zona saturada do primeiro aquífero, mais a espessura do aquitarde. Neste projeto, acredita-se que a segunda opção seja mais interessante, pois as características de atenuação da zona não saturada se diferenciam bastante da zona saturada e do próprio aquitarde.

A relação hidráulica entre as duas unidades aquíferas não é contemplado no método GOD tradicional. O fator G (grado de confinamiento hidráulico del acuífero) pode ser utilizado quando há surgência ($G = 0$) ou mesmo quando ele é um aquífero semiconfinado ($G = 0,4$). Seria interessante, baseado na experiência observada em La Plata, a inclusão de uma nova subdivisão da classe aquífero semiconfinado, pois se observam casos de aquíferos com fluxo ascendente e descendente. Desta forma, poderia ser dividido o fator G em semiconfinado descendente = 0,4 e semiconfinado ascendente = 0,3 ou 0,2. A utilização do fator G surgente (como sugere o GOD original) deveria ser restrito aos aquíferos onde o aquitarde apresente uma característica nítida de confinamento do aquífero.

Esta atitude conservadora quanto ao valor de G para aquíferos semiconfinados é justificada pelo fato de que muitas vezes há exploração e os fluxos inicialmente ascendentes acabam por serem alterados, criando uma situação de maior vulnerabilidade, com fluxos descendentes (Figura 2 – Auge, 2003).

O método com modificações para um aquífero semiconfinado é apresentado na figura 3 e recebe o nome de GODE.

Figura 8

Potenciales hidráulicos naturales - acuífero libre y semiconfinado

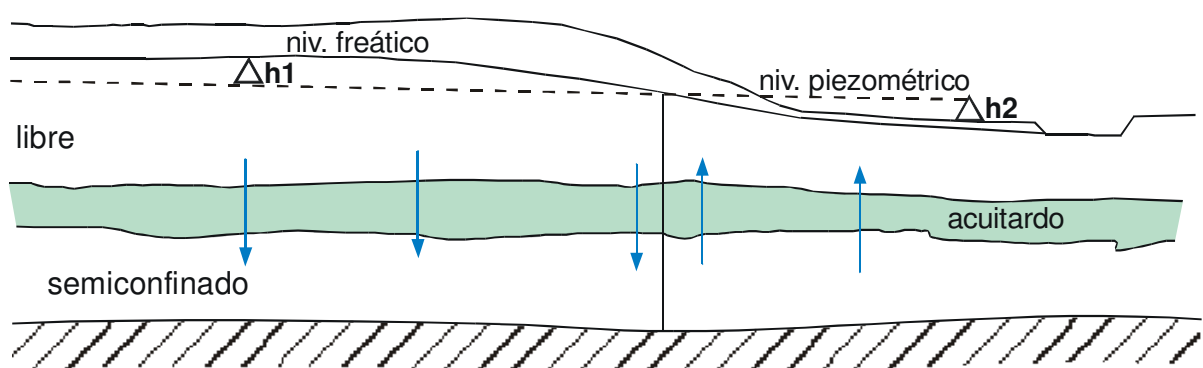


Figura 9

Contaminación por bombeo - acuífero semiconfinado

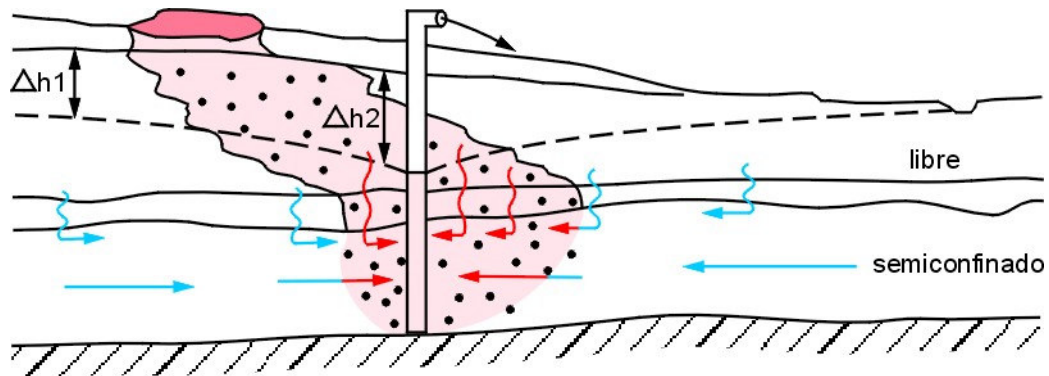
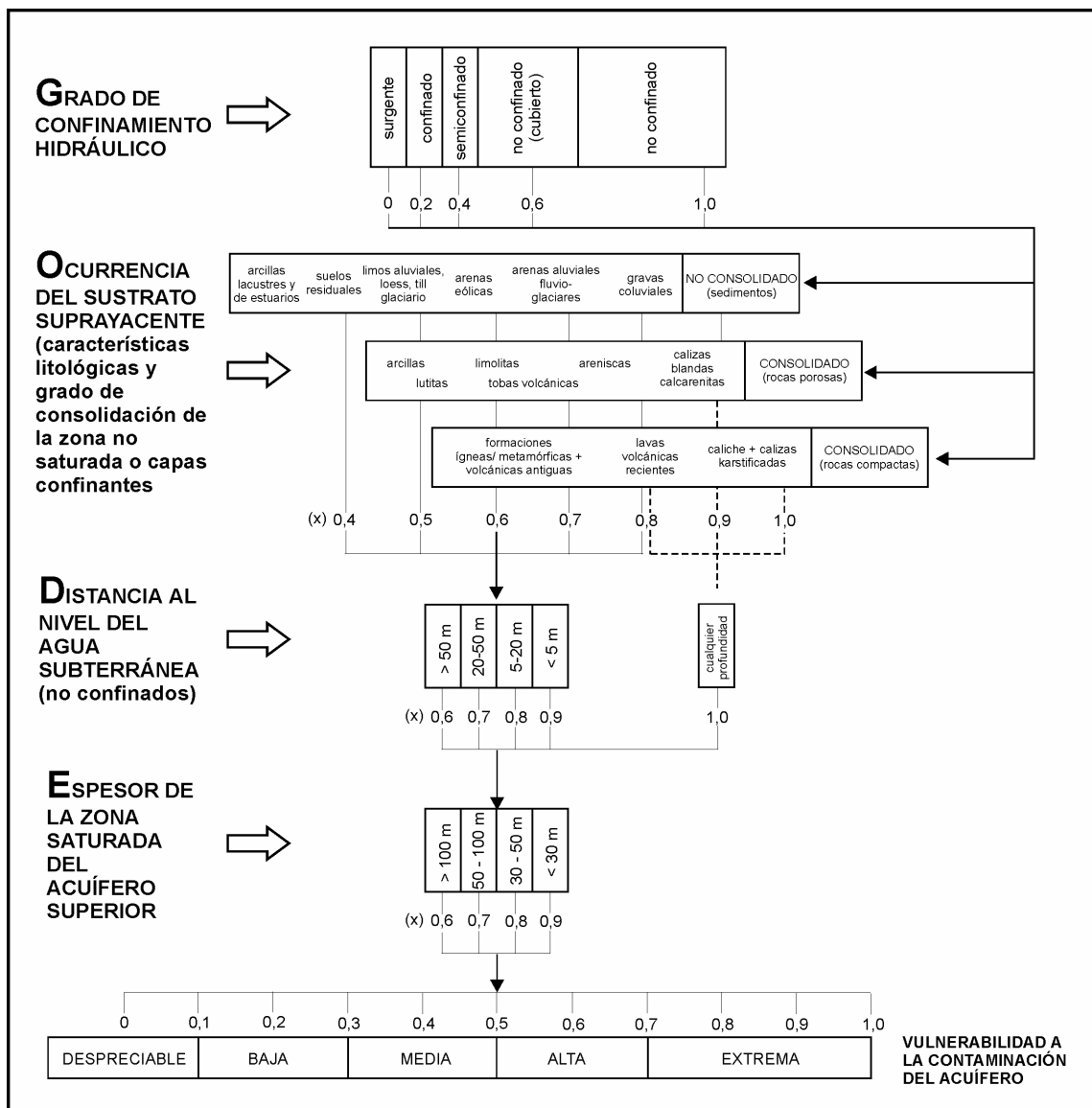


Figura 10

Diagrama GODE



14.7.2. Mapeamento da vulnerabilidade em La Plata

Um problema adicional que se coloca na cartografia da vulnerabilidade de aquíferos são as mudanças que a sua exploração provoca em suas características hidráulicas, notadamente a espessura da zona não saturada e as inversões nas cargas hidráulicas. No caso específico de La Plata, há um fluxo preferencial do Aquífero semiconfinado Puelche para o livre, Pampeano. A exploração do aquífero subjacente cria a inversão de fluxo, levando consigo o contaminante aos estratos inferiores.

Não existe nenhum método de vulnerabilidade que contorne este problema de transiência de forma eficiente. A atitude dos hidrogeólogos está sendo de considerar o cenário mais conservador para a proteção das águas subterrâneas. No caso de La Plata seria o de supor que em algum dia o fluxo descendente será a regra para a área.

O nitrato é um contaminante bastante conservativo e móvel em ambiente oxidante, como o observado em ambos os aquíferos de La Plata. O principal mecanismo de degradação da contaminação seria a desnitrificação, que exigiria um ambiente redutor, presença de bactérias desnitrificantes e carbono facilmente degradável ou uma substância equivalente receptora de elétrons. Tais condições não são observadas em La Plata (somente próximo ao Río de la Plata). Desta forma, o único mecanismo eficiente é a dispersão da carga contaminante, que ocorre mais fortemente na zona saturada dos aquíferos. O tempo de trânsito que é imposto pela maior espessura da zona não saturada ou mesmo do aquitarde não tem um papel muito relevante na cartografia de vulnerabilidade, quando se considera o nitrato.

Os resultados de hidrogeoquímica da área de La Plata corroboram com as observações feitas.

El análisis de la vulnerabilidad con la nueva metodología GODE para el área de estudio se muestra en la tabla 2. A los valores de GOD tradicional, se agregó lo que corresponde al espesor saturado (**E**spesor de la zona saturada del acuífero superior), con rango de 0,6 a 0,9 (figura 1).

Tabla 13

Resultado do índice de vulnerabilidade utilizando o método GODE, para aquíferos semiconfinados (para interpretación del índice, ver tabla 12).

Factores		Área rural				Área urbana			
G (Grado de confinamiento)		0,3				0,4			
O (Ocurrencia del substrato suprayacente, de la zona no saturada y acuitardo)		Espesor	índice	Valor ponderado	Resultado	Espesor	índice	Valor ponderado	resultado
	Espesor de zona no saturada	7m	0,7	4,9		12m	0,7	8,4	
	Espesor Acuitarde	5m	0,5	2,5		7m	0,5	3,5	
	Valor del índice	12m		7,4/12	0,62	19m		11,9/19	0,63
D (Distância al nivel del agua del primer acuífero)		7m			0,8	12m			0,8
E (Espesor de la zona saturada del primer acuífero)		40m			0,7	20m			0,9
Índice de vulnerabilidad GODÉ					0,1				0,2

Os valores podem variar em área, segundo a distribuição dos fatores GODE na área.

El resultado del índice GODE ponderado para la zona rural fue de 0,1 (baja vulnerabilidad). En la zona urbana, el índice fue de 0,2, algo más vulnerable, pero aún dentro del rango de baja vulnerabilidad. La diferencia es el resultado de una reducción del espesor de la zona saturada del acuífero libre (40 m en la zona rural sin bombeo), frente a 20 m en la zona urbana (con bombeo); también del incremento del espesor de la zona no saturada en el ámbito urbano (tabla 2), debido al descenso de la superficie freática por la explotación.

Embora os índices de vulnerabilidade sejam baixos e a área esteja contaminada, o resultado é compatível com o contaminante, que é muito móvel e persistente. Como estabelecido para o método GOD, um índice de vulnerabilidade baixo representa que: *a área é suscetível a produtos móveis e persistentes,, quando descargados o lixiviados em forma ampla y continua durante largos períodos de tiempo.* A principal fonte de contaminação na área urbana foi resultado de sistemas sépticos, que ademais, injetam contaminantes abaixo do solo fazendo que a previsão dos métodos de vulnerabilidade tenham menos significação.

É notável também que nas áreas de mesma vulnerabilidade, onde a atividade é agrícola, não há contaminação do Aqüífero Puelche, embora haja a detecção em alguns puntos de nitrato no Aqüífero Pampeano (Mapa 34). A atividade agrícola é, por excelência, uma atividade que se enquadra bem aos esquemas de vulnerabilidade.

A ausência de outros contaminantes (metais e outras substâncias) parece atestar que o Aqüífero Puelche esteja protegido contra eles, como presumiria o baixo índice de vulnerabilidade.

14.7.3. Método de vulnerabilidad $\Delta hT'$

En el caso específico del Acuífero Puelche en La Plata, la metodología desarrollada por Auge (2003), parece adaptarse mejor para la definición de ámbitos vulnerables a la contaminación con NO_3 , particularmente si se considera la diferencia de potenciales hidráulicos (tabla 14).

Tabla 14

**Vulnerabilidad de un acuífero semiconfinado
Potencial hidráulico respecto al del libre asociado**

$h_2 > h_1$	vulnerabilidad baja
$h_2 \sim h_1$	vulnerabilidad media
$h_2 < h_1$	vulnerabilidad alta

El mapa 21 presenta tres altos cerrados con más de 50 mg/L de nitratos, que es el límite de potabilidad para ese ión adoptado por la Provincia de Buenos Aires. Además, es posible extender dichos límites para definir una zona más amplia donde también hay contaminación (> 30 mg/L), dado que el valor de fondo es < 10 mg/L. Cotejando los ámbitos de altos tenores en nitratos con las diferencias de potenciales hidráulicos (mapa 19), surge una buena correspondencia entre los primeros y los sitios con Δh favorables al Pampeano respecto al Puelche. Esto resulta evidente en La Plata (-10 m) y City Bell (-10 m), pero no se repite en Abasto, donde el Δh es favorable al Puelche, aunque este último caso involucra a un solo pozo.

Los espesores de la zona subsaturada y del acuitardo no juegan un papel importante en la vulnerabilidad. En el mapa 7 se aprecia que en el espesor del

acuitardo, predominan magnitudes entre 2 y 6 m. En el borde SE de La Plata se registra el mayor valor, señalado por la isopaca cerrada de 10 m; el resto de la ciudad está comprendido entre las curvas de 6 y 10 m. Sin embargo, el ejido urbano, pese a presentar los mayores espesores de acuitardo, es el más afectado por la contaminación con nitratos (mapa 21). De lo expuesto se desprende que el acuitardo dificulta pero no impide el flujo vertical y no es hábil para detener el transporte de NO_3 , por lo que la contaminación del Puelche, especialmente en el ejido urbano, es producto de la migración de nitratos desde el Pampeano sobrepuesto, transportados por un flujo vertical descendente, inducido por la mayor carga hidráulica de este último, respecto al Puelche.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en La Plata, se puede concluir que la diferencia de potenciales hidráulicos es un buen indicador de la vulnerabilidad de un acuífero semiconfinado a la contaminación con NO_3 .

14.8. Reserva

Tomando en consideración los espesores saturados y un índice de 0,7 para corregir el del Pampeano, en función de la sección efectivamente productiva, las reservas estimadas para ambos acuíferos en el ámbito de la Llanura Alta son de 1.200 y 2.830 hm^3 para los acuíferos Pampeano y Puelche, respectivamente (tabla 10).

La determinación de la reserva en la Llanura Alta se debe a que en la Planicie Costera, ambos acuíferos contienen agua salada.

14.9. Química

Los análisis químicos de aguas se realizaron en el laboratorio del CETA, que dispone de un equipo ICP y los resultados se vuelcan en las tablas 1, 2, 3 y 4.

En esta etapa se determinó: pH, CE, SDT, NO_3 , CO_3H , Cl, SO_4 , Na, Ca, Mg, K, F y As. Seguidamente se analiza e interpreta el comportamiento hidroquímico de cada acuífero.

14.9.1. Acuífero Puelche

En relación al comportamiento hidroquímico se pueden distinguir 3 ambientes: Llanura Alta; Planicie Costera; La Plata.

La **Llanura Alta** es la región más extensa y por ende la que cuenta con mayor cantidad de muestras (31). En este ámbito todas las muestras tienen al CO_3H y al Na como iones netamente dominantes. La salinidad total es baja, promediando 585 mg/L. El CO_3H se presenta con valores medios de 462 mg/L (7,6 meq/L) y 80% del total de aniones (tabla 4). Le sigue el Cl con 37 mg/L (1 meq/L) y 11%, y luego NO_3 y SO_4 con contenidos similares. Los NO_3 promedian 28 mg/L (0,45 meq/L) y 5% y los SO_4 con 18 mg/L (0,4 meq/L) y 4%.

El elevado contenido en CO_3H indica en forma clara que el Acuífero Puelche se recarga por infiltración de la lluvia, debido a que este ión deriva de la combinación del CO_2 existente en la zona subsaturada, con el agua de infiltración.

Respecto a los cationes, domina notoriamente el Na con promedios de 178 mg/L (7,7 meq/L) y 77%, le sigue el Ca con 20 mg/L (1 meq/L) y 11%, el Mg con 9 mg/L (0,7 meq/L) y 9% y, finalmente, el K con 10 mg/L (0,25 meq/L) y el 3%.

En la tabla 4 se vuelcan los resultados de los análisis químicos en sus diferentes expresiones, de acuerdo al programa EASY y en las figuras 13 a 18, los gráficos de Schoeller y Piper (EASY), en los que se aprecia el carácter netamente bicarbonatado sódico del Acuífero Puelche en la Llanura Alta.

De la **Planicie Costera** se obtuvieron sólo 5 muestras, debido a la escasez de pozos por la elevada salinidad del agua. Todas las muestras son cloruradas – sódicas, producto de las intrusiones marinas del Holoceno. La salinidad total es alta, promediando 12.517 mg/L.

El Cl domina netamente entre los aniones con un promedio de 5.728 mg/L (162 meq/L) y 86,5% del total de aniones. Le sigue el SO_4 con 637 mg/L (13 meq/L) y 7,9%. El CO_3H promedia 402 mg/L (7 meq/L) y 5,5%. Finalmente, el NO_3 con 5 mg/L (0,07 meq/L) y 0,1%.

Entre los cationes domina el Na con una concentración media de 3.070 mg/L (134 meq/L) y 73% del total de cationes. Le sigue el Mg con 399mg/L (33 meq/L) y 15%. El Ca con 490 mg/L (24 meq/L) y 11%. Finalmente, el K con 73 mg/L (2 meq/L) y 1%.

En las figuras 19 y 20 se representan gráficamente, mediante los diagramas de Schoeller y Piper, los análisis químicos de las 5 muestras tomadas en la Planicie Costera.

En la **ciudad de La Plata** y en parte de su periurbano, el Acuífero Puelche presenta una composición química intermedia entre la que tiene en la Llanura Alta y

en la Planicie Costera. Esto como consecuencia de la invasión de agua salada, por flujo lateral, desde la Planicie Costera hacia la Llanura Alta en la ciudad, debido al cono de depresión generado por el bombeo de agua subterránea.

De los pozos censados en La Plata y vecindades, que se emplean para abastecimiento de agua potable, 5 presentan la condición de mezcla señalada (Pu35, Pu38, Pu39, Pu45 y Pu52). Sus muestras son bicarbonatadas sódicas como las de la Llanura Alta, pero el CO_3H desciende al 66% del total de aniones y el Na al 70% del total de cationes. El contenido salino total promedia 1.093 mg/L. Al CO_3H le siguen el Cl con el 24%, el NO_3 con el 8,5% y el SO_4 con el 1,5%. Respecto a los cationes al Na le siguen el Ca y el Mg con el 14% cada uno y el K con el 2%.

En la tabla 4 se indican los análisis químicos de los pozos de La Plata y en las figuras 21 y 22 las representaciones gráficas de los mismos, mediante los diagramas de Schoeller y Piper.

A continuación se analiza e interpreta el comportamiento de las sustancias analizadas.

pH

La concentración de hidrogeniones es una de las características que tipifica el comportamiento del agua y surge de la disociación de su molécula, en iones hidrógeno y oxhidrilo. El pH puede definirse como el logaritmo decimal negativo de la concentración de hidrogeniones; si es menor que 7 la solución es ácida y si es mayor, básica.

El pH del agua tiene gran importancia en la disolución de sustancias sólidas y por lo tanto, en la incorporación de las mismas a la solución. En este aspecto uno de los procesos más efectivos es la reacción de la molécula de agua con los minerales, mediante la hidrólisis.

En la zona estudiada el pH varía entre extremos de 6,6 (Pu5) y 8,5 (Pu11) (tablas 1 y 4), con un promedio de 7,9 y una desviación estandar de 0,3.

En el mapa 20 se vuelca el pH, apreciándose los valores más ácidos (alrededor de 7) en la Planicie Costera, como producto de la intercalación de capas con abundante materia orgánica, generadora de ácidos. El ambiente reductor facilita la disolución de la pirita y la incorporación de Fe^{+2} a la solución. La oxidación del agua subterránea luego de ser bombeada hasta la superficie, hace que el Fe^{+2} pase a Fe^{+3} , de muy baja solubilidad, por lo que precipita formando geles o depósitos de

tonalidades amarillentas y rojizas. En la Llanura Alta el pH varía entre extremos de 7,5 y 8,5.

Dado que la norma de potabilidad de la Provincia de Buenos Aires, aprobada por la Ley 11.820/96 (tabla 5) establece un rango de 6,5 a 8,5, todos los pozos muestreados brindaron agua apta respecto a esta propiedad.

Nitratos

Los NO₃ constituyen la forma más oxidada, estable y móvil de la materia nitrogenada en solución. Las fuentes más comunes de aporte al agua subterránea son: fijación natural, especialmente por las legumbres; degradación de materia orgánica; contaminación urbana, rural e industrial; abonos agrícolas.

Las concentraciones extremas de nitratos identificadas en la región estudiada fueron: 107 mg/L (1,7 meq/L) (Pu52) y 0 mg/L (Pu5, Pu11, Pu22, y Pu30) (tabla1); el promedio 32 mg/L (0,5 meq/L) y la desviación estandar 29,8.

En el mapa 21 se aprecian 3 altos cerrados con más de 50 mg/L, que es el límite de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires (tabla 5). De los altos citados, el que se destaca por su extensión y la cantidad de pozos involucrados (6), es el de la ciudad de La Plata con 38 km²; el de Villa Elisa (11 km²) y el de Abasto (5 km²), involucran a un solo pozo cada uno. El volumen de agua afectada por contaminación difusa con NO₃, es del orden de 300 hm³, lo que implica algo más del 10% de la reserva del Acuífero Puelche en la Llanura Alta (2.830 hm³). Esta contaminación proviene del Pampeano, por filtración vertical descendente, a través del acuitardo. El Pampeano a su vez recibió y recibe la carga contaminante de pozos sépticos y pérdidas en la red cloacal. La totalidad del ejido urbano cuenta con red para evacuación de efluentes cloacales, pero la mayor parte del periurbano no. Además, en algunos sectores del ejido urbano el reemplazo de fosas sépticas por red cloacal, tiene menos de 20 años.

Para que el agua de red cumpla con la norma de potabilidad respecto a NO₃, considerados por la Ley 11.820 dentro de los componentes que afectan directamente a la salud y que exige un contenido inferior a 50 mg/L, se procede a mezclar la subterránea con la proveniente del Río de la Plata, que normalmente posee menos de 10 mg/L. **De esta forma se practica un aprovechamiento conjunto del recurso subterráneo y superficial, evitándose el ascenso del agua freática, que ha ocasionado serios inconvenientes en el periurbano del Buenos**

Aires. En esta región se procedió a reemplazar el agua subterránea con la del Río de la Plata, debido al alto tenor en NO₃ que presentaba la primera. Además, la salida de servicio de numerosos pozos de provisión a la industria, por la retracción económica, hizo que a partir de 1990 se produjera un ascenso continuado de la superficie freática, especialmente en los sitios sin cobertura de red cloacal. **Actualmente el problema es muy grave pues afecta a más de 2 millones de habitantes, con agua freática contaminada aflorando en amplios sectores del Conurbano de Buenos Aires.**

Conductividad eléctrica

Si bien constituye una propiedad física del agua, se la incluye en el tratamiento químico, porque es un excelente indicador de la salinidad.

Varía entre 26.100 umho/cm a 25°C (Pu5) y 116 (Pu2) (tablas 1 y 4), con una media de 2.652 umho/cm, pero que desciende a 847 umho/cm, si se descartan los pozos de la Planicie Costera (Pu5, Pu11, Pu25, Pu28, Pu30). Los valores más altos se dan en la Planicie Costera pozos (Pu5, Pu28, Pu30), con más de 15.000 umho/cm (mapa 22). En la Llanura Alta dominan valores menores a 1.000 y en La Plata, entre 1.000 y 2.000 umho/cm.

El fuerte aumento de la salinidad en la Planicie Costera es consecuencia de las ingresiones marinas del Holoceno.

Residuo salino

La salinidad total o sólidos disueltos totales (SDT) (mapa 23) coincide en su distribución con la conductividad eléctrica, debido a que esta última está controlada por la primera .

En la Planicie Costera dominan valores entre 12 y 23 g/L, con un máximo de 23.043 mg/L (Pu5) (tablas 1 y 4). En la Llanura Alta predominan valores inferiores a 600 mg/L y en La Plata, entre 700 y 1.200 mg/L. El promedio general es 2.040 mg/L, pero si se descartan los pozos de la Planicie Costera, éste desciende a 585 mg/L.

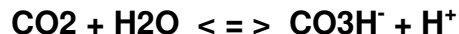
La norma de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires establece un tope de 1.500 mg/L de salinidad total (tabla 5), por lo que el agua subterránea de la Llanura Alta no presenta restricciones respecto a esta propiedad, pero no es potable

en la Planicie Costera, donde tampoco se la puede emplear para el ganado. La norma le otorga a la salinidad total, el rango de componente que afecta la aceptabilidad del agua, pero no directamente a la salud.

Bicarbonatos

La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar ácidos y en la subterránea, está dada por la presencia de CO_3H y CO_3 , aunque estos últimos sólo pueden mantenerse en solución cuando el pH es mayor de 8,2. Mucho menos frecuente, es la alcalinidad que deriva de los hidróxidos, silicatos, fosfatos, boratos y fluoruros. Por lo tanto, en la generalidad, el agua subterránea debe su alcalinidad a la existencia de bicarbonatos.

Los CO_3H provienen de la disolución del CO_2 atmosférico o del existente en el suelo, pero dado que la presión de CO_2 en el suelo, suele superar en más de 30 veces a la que este gas registra en el aire (Schoeller, 1959) la principal fuente de provisión de CO_3H , surge de la combinación del agua contenida en la zona de aireación o subsaturada, con el CO_2 particularmente abundante en la franja edáfica.



Luego, los CO_3H son llevados por el flujo descendente a través de la zona subsaturada hasta alcanzar a la de saturación.

Otra importante fuente de aporte de alcalinidad al agua subterránea, es la disolución del CO_3Ca , muy frecuente en el Loess Pampeano, en forma diseminada, como concreciones, o estratificado, y vulgarmente denominado "tosca".

Los extremos de bicarbonatos registrados fueron 809 mg/L (13,3 meq/L) (Pu28) y 140 mg/L (2,3 meq/L) (Pu5), el promedio 472 mg/L y la desviación estandar 4.827.

En el mapa 24 se indica la distribución areal del bicarbonato en el Acuífero Puelche, apreciándose valores entre 140 (2,3 meq/L) y 800 mg/L (13,1 meq/L) en la Planicie Costera, entre 500 (8,2 meq/L) y 700 (11,5 meq/L) en La Plata y, entre 300 (4,8 meq/L) y 500mg/L en el resto de la Llanura Alta.

La norma de la Provincia de Buenos Aires, no considera a la alcalinidad como limitante de la potabilidad.

Cloruros

Son los iones más móviles y estables del agua subterránea, porque no son retenidos ni reaccionan con la fase sólida de los acuíferos o de otras unidades hidrogeológicas (acuitardos, acuicludos). Tampoco intervienen en procesos de intercambio iónico ni de oxidación - reducción y prácticamente no son afectados por cambios en el pH. Debido a su elevada solubilidad, sólo precipitan en concentraciones mayores a 300 g/l (salmueras), muy superiores a las medias del agua de mar (30 g/l).

Debido a estas propiedades se los suele utilizar como trazadores naturales o artificiales, para cuantificar la dinámica del flujo, el índice de infiltración, o el intercambio iónico.

Las fuentes más comunes de aporte de cloruros al agua subterránea son: el agua de lluvia, sedimentos de origen marino, agua congénita, disolución de evaporitas salinas, vertidos urbanos e industriales y lixiviados de basurales.

Dado que en la Llanura Alta no existen evidencias de sedimentos de origen marino y por ende de aguas congénitas ni de evaporitas, la principal fuente de aporte al Puelche, parece ser el cloruro transferido desde el Pampeano, por filtración vertical descendente. Este a su vez, lo habría incorporado por infiltración de la lluvia, durante las ingresiones marinas del Holoceno, cuando la línea de costa se ubicaba en el actual Escalón. Dichas ingresiones también fueron las generadoras del alto contenido en cloruros del Acuífero Puelche, en la Planicie Costera, cuya superficie topográfica actual, fue el fondo de los mares holocenos.

Los extremos en las concentraciones de Cl fueron: 9.758 mg/L (2.760 meq/L) (Pu5) y 15 mg/L (0,4 meq/L) (Pu38) (tablas 1 y 4). El promedio general (739 mg/L), se reduce a 53 mg/L, si no se consideran los pozos de la Planicie Costera (Pu5, Pu10, Pu11, Pu25, Pu28 y Pu30). La desviación estandar fue 2.188.

En el mapa 25 se aprecian concentraciones mayores a 5.000 mg/L de Cl en los pozos de la Planicie Costera, entre Punta Lara y Ensenada, mientras que en la Llanura Alta predominan tenores menores a 50 mg/L y en La Plata, entre 200 y 300 mg/L.

Dado que el límite de potabilidad para el cloruro en la Provincia de Buenos Aires es 250 mg/L (7,0 meq/L) (tabla 5), el agua subterránea de la Llanura Alta es apta para consumo humano respecto a este ión, salvo la captada por los pozos Pu35 y Pu52, situados en La Plata. Sin embargo, resulta inutilizable la de la Planicie

Costera, no sólo para este uso, sino también para el ganado. La norma de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires (tabla 5), considera a los cloruros como componentes que afectan solamente la aceptabilidad del agua, pero no directamente a la salud de los consumidores.

Sulfatos

Junto con los Cl y los CO_3H son los aniones más comunes en el agua superficial y en la subterránea.

Generalmente provienen de: disolución de yeso y anhidrita, oxidación de sulfuros, agua de lluvia, aguas congénitas, sedimentos de origen marino, actividades urbanas, industriales y agrícolas (Custodio y Llamas, 1976).

Los cationes más afines con el SO_4 son el Ca y el Mg, pero con una notoria diferencia en cuanto a la solubilidad de sus compuestos. Así, el SO_4Ca posee un índice de solubilidad de 2 g/L en agua pura a 18°C y el SO_4Mg de 355 g/L a 20°C (Schoeller, 1959).

En la Llanura Alta, el origen de los sulfatos es similar al de los cloruros, pero en la Planicie Costera parecen derivar de la oxidación de la pirita (Logan, 1993).

El contenido máximo se registró en el pozo Pu5 con 1.344 mg/L (28 meq/L) y el mínimo en Pu2 y Pu38 con 0 mg/L (tablas 1 y 4). El promedio fue de 93 mg/L, que baja a 17 mg/L, si se descartan los pozos de la Planicie Costera. La desviación estandar es 252.

En el mapa 26 se representa la distribución de SO_4 , apreciándose en la Planicie Costera concentraciones entre 500 y 1.350 mg/L, en la Llanura Alta entre 10 y 40 mg/L y en La Plata entre 8 y 33 mg/L.

La norma de la Provincia de Buenos Aires, establece un límite de potabilidad de 250 mg/L (5,2 meq/L) para los sulfatos (tabla 5), por lo que sólo el agua subterránea de la Planicie Costera es inapta para consumo humano. La norma de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires, considera a los sulfatos como componentes que afectan solamente la aceptabilidad del agua, pero no directamente a la salud de los consumidores.

Sodio

Es el más difundido de los metales alcalinos en las aguas superficiales y subterráneas; le sigue en importancia el potasio y mucho menos frecuentes son el litio, rubidio y cesio.

Las fuentes más trascendentes de aporte son los feldespatos alcalinos y calcoalcalinos, el intercambio de bases, la lluvia, la contaminación urbana e industrial y el lavado de sedimentos marinos. Es muy abundante en el agua de mar, constituyéndose en el catión dominante con una concentración media de 10 g/L.

En la Llanura Alta, proviene de la disolución de las plagioclasas medias (andesinas) existentes en el loess, derivadas de rocas volcánicas mesosilícicas (andesitas). Otra fuente más importante que la anterior, es el intercambio de bases o iónico, por el que un agua dura (cálcica o magnésica) se ablanda al quedar fijados el Ca o el Mg en la estructura cristalina de algunas arcillas (montmorillonita o bentonita), mientras que el Na pasa a la solución. Este intercambio es particularmente activo en el limo arcilloso (acuitardo) que separa a los acuíferos Pampeano y Puelche y por el mismo, el agua del primero, que recarga al Puelche, se ablanda haciéndose más sódica.

El sodio presente en agua subterránea de la Planicie Costera, derivó de las ingresiones marinas holocenas.

Los extremos de sodio registrados en las muestras colectadas fueron 5.150 mg/L (224 meq/L) (Pu5) y 21 mg/L (0,9 meq/L) (Pu22), con un promedio general de 535 mg/L (23,3 meq/L), que baja a 182 mg/L (7,9 meq/L), si se descartan los pozos de la Planicie Costera; la desviación estandar es 1.117.

En el mapa 27 se visualizan concentraciones entre 1.000 y 5.000 mg/L en la Planicie Costera, entre 200 y 400 mg/L en La Plata y entre 100 y 200 mg/L, en el resto de la Llanura Alta.

Dado que el límite tolerable para el sodio establecido por la Ley 11.820 es 200 mg/L (8,7 meq/L) (tabla 5), los pozos del servicio de agua potable de La Plata, Gonnet, City Bell y Villa Elisa, superan dicho valor, aunque la mayoría en forma leve.

El mapa 27 muestra también que el Na es el componente que mayor volumen de agua afecta en función del umbral de potabilidad que se le asigna, pese a que la norma lo considera como uno de los componentes que afectan solamente la aceptabilidad del agua, pero no directamente a la salud de los consumidores.

Se entiende que el límite de potabilidad fijado por la Ley 11.820 es muy estricto, dado que la mayoría de las aguas subterráneas de la Provincia de Buenos Aires son sódicas, por lo que tendrá que ser revisado a fin asumir un valor más acorde con la disponibilidad real de agua para consumo humano.

Calcio

Junto con el Mg es el más abundante de los alcalino - térreos en las aguas naturales. En las continentales, generalmente el Ca predomina sobre el Mg, aunque no es raro que suceda lo contrario, en función de: el componente litológico del acuífero (silicatos de rocas básicas o carbonatos de dolomitas); la precipitación de Ca como CO₃ o SO₄ y de su fijación por intercambio iónico.

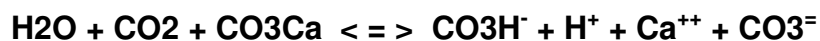
En las aguas marinas, la relación favorece al Mg en valores aproximados de 5 a 1 (Custodio y Llamas, 1976).

La mayor parte del Ca en solución proviene de los componentes mineralógicos del Loess Pampeano, en especial de la disolución del CO₃Ca epigenético, que se presenta diseminado, o formando nódulos o bancos, lo que deriva en un aumento de la compacidad y resistencia del sedimento, originando lo que se conoce vulgarmente como "tosca".

Otra de las vías de aporte, es el ataque químico a las plagioclasas mesosilícicas y básicas, que componen una parte importante de la fracción arenosa del Pampeano.

La solubilidad del CO₃Ca (calcita), está controlada por la concentración de CO₂ disuelto, dado que este forma CO₃H₂, que al disociarse constituye una importante fuente de producción de H. En agua pura, el CO₃Ca tiene un índice de solubilidad de alrededor de 14 mg/L o de 5,6 mg/L de Ca a 23°C (Schoeller, 1959). Si al agua pura se la deja saturar con el CO₂ atmosférico, puede disolver de 50 a 75 mg/L de CO₃Ca y si el agua está en equilibrio con el CO₂ del suelo, la capacidad de disolución aumenta a 250 mg/L de CO₃Ca o 100 mg/L de Ca (Custodio y Llamas, 1976).

La ecuación que explica el proceso es:



De existir CO_2 disponible y para un pH menor a 8,2 los compuestos en solución serán CO_3H y Ca, pero no CO_3 . Por ello es muy rara la presencia de CO_3 en solución en la mayoría de las aguas naturales (sin tratamiento), dado que tienen pH menores a 8,2. Esta situación puede modificarse en aquellas sometidas a contaminación o tratamiento, y en los sistemas hidrotermales.

Los contenidos extremos de calcio en las muestras analizadas fueron 1.030 mg/L (51,5 meq/L) (Pu30) y 6,8 mg/L (0,3 meq/L) (Pu9); el promedio 81 mg/L (4,0 meq/L), desciende a 24 mg/L (1,2 meq/L), si no se consideran los pozos de la Planicie Costera; la desviación estandar es 213.

En el mapa 28 se indican las concentraciones de Ca en el Acuífero Puelche, apreciándose que en la Planicie Costera predominan valores entre 100 y 1.000 mg/L, en La Plata entre 40 y 100 mg/L y en el resto de la Llanura Alta entre 10 y 30 mg/L.

La norma de la Provincia de Buenos Aires no considera al calcio como limitante de la potabilidad ni tampoco a la dureza, que deriva de la concentración del Ca más el Mg. Esta propiedad, que inhibe la espuma del jabón y produce incrustaciones en las cañerías, sí era tomada como limitante de la potabilidad en la norma anterior a la vigente.

Magnesio

Junto con el calcio, son los alcalinotérreos más frecuentes en la hidrósfera.

El magnesio proviene de la alteración de silicatos ferromagnesianos, que participan como constituyentes comunes de las rocas básicas y ultrabásicas y de la disolución de rocas calcáreas como calizas y dolomitas, particularmente de estas últimas, que son las que lo tienen en mayor cantidad como CO_3Mg .

En el agua subterránea de la Llanura Alta, su origen puede explicarse en el ataque químico a los máficos que componen el Loess Pampeano (anfíboles y piroxenos) y en la disolución de la tosca que, aunque en baja proporción, también contiene CO_3Mg .

En la Planicie Costera, además del citado, su origen deriva de las intrusiones marinas acaecidas durante el Holoceno.

Ya se mencionó en el punto anterior que el Mg y el Ca son los cationes más comunes que le otorgan dureza al agua y además, el Mg actúa como laxante, especialmente cuando el agua es sulfatada,.

Tanto en combinación con el CO₃ como con el SO₄, el magnesio es mucho más soluble que el calcio, en proporciones aproximadas de 10 a 1 y de 180 a 1 respectivamente. Esto motiva que una vez en solución, sea más estable que el Ca y menos frecuente su precipitación. Por ello, los cambios más importantes en la concentración del Mg derivan de los procesos de intercambio iónico.

En el agua continental la relación Ca/Mg comúnmente varía entre 5 y 1, mientras que en la de mar se invierte a aproximadamente 0,2 (Hem, 1959).

Las concentraciones extremas de Mg detectadas en los pozos muestreados fueron 845 mg/L (69,5 meq/L) (Pu5) y 3,9 mg/L (0,3 meq/L) (Pu26) (tablas 1 y 4), el promedio general 59,5 mg/L (4,9 meq/L) y 12,4 mg/L (1,0 meq/L), si se descartan los pozos de la Planicie Costera; la desviación estandar 166.

En el mapa 29 se presentan valores entre 100 y 800 mg/L en la Planicie Costera, entre 20 y 45 mg/L en La Plata y entre 5 y 15 mg/L, en el resto de la Llanura Alta.

La norma establecida por la Ley 11.820 de la Provincia de Buenos Aires, no establece límite de potabilidad para el magnesio.

Potasio

Pese a que se presenta en concentraciones muy similares al Na en las rocas ígneas y lo supera con amplitud en las arcillas, aparece muy subordinado a éste en las aguas continentales y en las marinas (Hem, 1959). Esta situación deriva de la baja movilidad que tiene el K, debido a la facilidad con que es fijado por las arcillas.

El potasio generalmente proviene del ataque a silicatos potásicos como la ortosa y el microclino, aunque también forma parte de algunos feldespatoides y micas.

En términos generales los aluminio silicatos de potasio son más resistentes al ataque químico que los de sodio y esto constituye otra causa que explica el neto predominio del Na sobre el K en la hidrósfera.

El Loess Pampeano, está formado en parte por feldespato potásico alterado (ortosa), proveniente de rocas ácidas (riolitas), que sería la principal fuente de aporte de K al suelo y al agua.

En la Planicie Costera el potasio debe su origen a las intrusiones marinas holocenas.

El máximo contenido de potasio detectado en los pozos censados fue 119 mg/L (3,0 meq/L) (Pu28) y el mínimo 6,3 mg/L (0,16 meq/L) (Pu43) (tabla 1). El

promedio, considerando todos los pozos, alcanzó a 18,6 mg/L, que se reduce a 11,0 mg/L, si se eliminan los pozos de la Planicie Costera.

En el mapa 30 se aprecian concentraciones entre 30 y 120 mg/L en la Planicie Costera, entre 10 y 25 mg/L en la Plata y de alrededor de 10 mg/L, en el resto de la Llanura Alta.

La norma de potabilidad de la Provincia de Buenos Aires, no establece límite para el potasio.

Flúor

Proviene de la disolución de minerales existentes en los piroclastos volcánicos que forman el Loess Pampeano y dentro de ellos, la obsidiana (vidrio volcánico) parece ser la mayor fuente de provisión de F al agua subterránea.

Tiene una acción dual respecto a la salud humana, pues hasta cierta concentración es beneficioso para la formación dentaria y ósea, pero se hace perjudicial para ambas, cuando los contenidos en el agua son elevados.

La norma de potabilidad vigente le fija un límite de 1,5 mg/L y lo incluye dentro de las sustancias que afectan directamente a la salud (tabla 5).

De las tablas 1 y 4 se desprende que el máximo contenido de flúor corresponde al pozo Pu2 (1,04 mg/L), el mínimo al Pu5 (0,07 mg/L), con un promedio de 0,61 y una desviación estandar de 0,21. Los valores más bajos se dan en la Planicie Costera con menos de 0,3 mg/L, en La Plata se registran concentraciones entre 0,3 y 0,9 mg/L, mientras que en el resto de la llanura Alta, predominan contenidos entre 0,5 y 1 mg/L (mapa 31). La disminución en el contenido en F es función del aumento en la dureza, particularmente cuando esta deriva del Ca.

Por lo expresado, el Acuífero Puelche no presenta restricciones para el consumo humano en relación al contenido en flúor.

Arsénico

Generalmente se presenta en forma aniónica, pese a que con frecuencia se lo incluye dentro de la familia de los metales pesados.

Suele aparecer asociado al flúor, pues proviene de los mismos piroclastos volcánicos del Loess Pampeano. Por ello las concentraciones de As son más altas

en el Acuífero Pampeano que en el Puelche, al que llega por filtración vertical descendente a través del acuitardo.

Contenidos elevados de arsénico en el agua de ingesta, causan cáncer de piel y del sistema digestivo. El límite de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires es 0,05 mg/L (tabla 5).

De la tabla 1 se desprende que los contenidos más frecuentes están por debajo de 0,02 mg/L, con un máximo de 0,037 mg/L (Pu26), por lo que ningún pozo supera el umbral de potabilidad.

De lo expuesto se desprende que el Acuífero Puelche no presenta limitación de potabilidad en relación al arsénico.

En el mapa 32 se aprecia que las variaciones en los tenores de arsénico, son coincidentes en líneas generales con las del flúor.

14.9.2. Acuífero Pampeano

Las 25 muestras tomadas en la Llanura Alta promediaron un contenido en sólidos disueltos totales (SDT) de 609 mg/L, valor algo más alto que el registrado en el Acuífero Puelche (585 mg/L). Tal como sucede con el Puelche, el agua del Pampeano en la Llanura Alta es bicarbonatada sódica, pero el porcentaje en CO_3H desciende a 75, respecto al 80% que registra el Puelche. El Na también disminuye su participación con el 56% del total de cationes, respecto al 77% del Puelche. Los alcalinos térreos son los que tienen un mayor crecimiento; el Ca aumenta del 11% en el Puelche a 24% en el Pampeano y el Mg del 9 al 16%. Estos cambios en los contenidos catiónicos son producto del intercambio de bases que se produce en el agua del Pampeano, cuando atraviesa el acuitardo que lo separa del Puelche. Por este proceso el Ca y el Mg del agua del Pampeano son retenidos por la estructura cristalina de la arcilla que forma el acuitardo, y el Na, que es uno de los elementos que la compone, es incorporado a la solución generando un ablandamiento natural en el agua del Puelche.

En la tabla 4 y en las figuras 23 a 28 se indican los resultados de los análisis químicos y la representación gráfica de las muestras.

En la **Planicie Costera** la salinidad total promedia 1.383 mg/L; o sea un contenido salino mucho menor que el del Puelche (12.517 mg/L). El agua es bicarbonatada – clorurada – sódica, con porcentajes medios del 46, 39 y 66% respectivamente.

En las figuras 29 y 30 se representa gráficamente la composición química del agua subterránea de la Planicie Costera, mediante los diagramas de Schoeller y Piper.

pH

Varía entre 7,2 (Pa7) y 9,0 (Pa33) (tablas 2 y 4), con una media de 7,8 y un desvío estandar de 0,4. Los extremos son algo menor y mayor que los registrados en el Puelche, pero el promedio es prácticamente igual.

En el mapa 33 se indica la distribución del pH, apreciándose algunos valores mayores a 8, tanto en la Llanura Alta como en la Planicie Costera.

La norma de potabilidad vigente en la Provincia de Buenos Aires le fija un rango de 6,5 a 8,5, con el que cumplen 30 de los 32 pozos muestreados.

Nitratos

Los extremos de NO₃ registrados en las muestras de agua analizadas fueron 202 (Pa37) y 1,0 mg/L (Pa33), con un promedio de 43 mg/L.

En el mapa 34 se aprecian varios altos con tenores mayores al límite de potabilidad adoptado en la norma de la Provincia de Buenos Aires (50 mg/L) (tabla 5). En el ámbito rural se presentan las concentraciones más altas, con valores superiores a 100 mg/L, pero aquí la contaminación es puntual y por ende afecta a un volumen escaso de agua subterránea.

Los tenores en NO₃ del Acuífero Pampeano son mayores que los del Puelche pues el primero está más expuesto a la contaminación doméstica (pozos sépticos) y agrícola (fertilizantes).

Conductividad eléctrica

Los extremos registrados fueron 3.730 umho/cm a 25°C (Pa29) y 483 umho/cm (Pa36), con una media de 1.099, si se consideran todos los pozos y de 873 umho/cm, si se descartan los de la Planicie Costera (Pa6, Pa11, Pa12, Pa22, Pa28, Pa29 y Pa30). En el mapa 35 se aprecia un incremento en la CE de las muestras del Pampeano en la Planicie Costera, aunque mucho menos acentuado que en el Acuífero Puelche,

El incremento en la salinidad que se produce en la Planicie Costera, se debió al aporte de agua salada, derivada de las ingresiones marinas ocurridas en el

Holoceno, por cambios en el nivel de base, como consecuencia de la alternancia de ciclos glaciales e interglaciales.

Residuo salino

Los contenidos extremos registrados en los pozos muestreados fueron 2.678 mg/L (Pa29) y 241 mg/L (Pa33), con un promedio de 778, que baja a 609 mg/L, si se descartan los pozos de la Planicie Costera. En esta los valores de RS van de 1.000 a 2.700 mg/L, mientras que en la Llanura Alta, los sólidos disueltos totales varían entre 250 y 1.000 mg/L (mapa 36).

Bicarbonatos

Las concentraciones extremas fueron 873 (Pa12) y 240 mg/L (Pa7) (tablas 2 y 4).

El promedio general fue 515 mg/L y el que deriva de considerar únicamente los pozos de la Llanura Alta 491 mg/L.

En el mapa 37 se aprecia una distribución bastante uniforme de la alcalinidad, con valores dominantes entre 400 y 600 mg/L de CO_3H , que no se incrementan en la Planicie Costera.

Cloruros

El tenor máximo y el promedio de Cl registrados en el Acuífero Pampeano (852 y 103 mg/L), son notoriamente menores a sus equivalentes del Puelche (9.758 y 739 mg/L). Tal como sucede con los STD y la CE, los mayores contenidos de cloruros en el Acuífero Pampeano, se dan en la Planicie Costera (mapa 38).

Sulfatos

Las concentraciones extremas para SO_4 fueron 346 mg/L (Pa29) y 9,6 mg/L (Pa9, Pa10, Pa14, Pa15, Pa20, Pa24, Pa34 y Pa38) (tablas 2 y 4); el promedio general 52 y descartando los pozos de la Planicie Costera 31 mg/L. En la Llanura Alta el Puelche (mapa 39) presenta un contenido medio en SO_4 del 45% menor que el Pampeano.

Sodio

Registró contenidos extremos de 543 mg/L (Pa29) y 13 mg/L (Pa9) y un promedio general de 169 mg/L (tablas 2 y 4).

En el mapa 40 se observa que los valores más altos de Na se dan en la Planicie Costera. Como sucede con los cloruros, los contenidos de Na en el Acuífero Puelche son notoriamente más altos que los del Pampeano en la Planicie Costera. En la Llanura Alta sigue predominando el Na en el Puelche, pero aquí la diferencia es menor.

Calcio

El Ca brindó concentraciones extremas de 180 mg/L (Pa29) y 2,8 mg/L (Pa12), con un promedio general de 56 mg/L, que desciende a 49 mg/L, si se descartan los pozos de la Planicie Costera.

En la Llanura Alta el contenido promedio de Ca en el Pampeano (49 mg/L) duplica al del Puelche (24 mg/L).

En el mapa 41 se indican las concentraciones de Ca en el ámbito estudiado.

Magnesio

Al igual que el Na y el Ca, las mayores concentraciones de Mg se dan en la Planicie Costera (mapa 42). Los extremos detectados fueron 79 mg/L (Pa29) y 2,3 mg/L (Pa22), con un promedio general de 22 mg/L.

En la Llanura Alta el promedio de Mg en el Pampeano (19 mg/L) también supera al del Puelche (12 mg/L)

Potasio

Se presenta en concentraciones extremas de 30 mg/L (Pa11) y 7 mg/L (Pa36), lo que indica una uniformidad mucho más marcada que el resto de los cationes descriptos. El promedio general es 16 mg/L, que surge de considerar sólo los pozos de la Llanura Alta 15 mg/L. El contenido de K es similar en ambos acuíferos.

Flúor

Presenta un máximo de 3,6 mg/L (Pa12) y un mínimo de 0,2 (Pa7 y Pa9), con un promedio general de 0,6 mg/L. Sólo 2 muestras superan el límite de potabilidad establecido por la norma de la Provincia de Buenos Aires (Pa12 y Pa6) (tabla 5),

mientras que una tiene el mismo valor (1,5 mg/L) (Pa36) (tablas 2 y 4). Los contenidos medios de F son prácticamente iguales en los 2 acuíferos.

Arsénico

Ninguna muestra supera el límite de potabilidad (0,05 mg/L) (tabla 5). El máximo 0,041mg/L se registró en el pozo (Pa19), mientras que el mínimo correspondió al Pa25 con 0,0045 mg/L (tablas 2 y 4).

14.9.3. Acuíferos Pampeano y Puelche

Los pozos que se emplean para regar (mapa 14) captan ambos acuíferos, debido a que carecen de cañerías de aislación. Dado que todos se ubican en la Llanura Alta, la composición química de sus muestras, refleja la mezcla en proporciones variables de los dos acuíferos, de acuerdo a las propiedades hidráulicas de los mismos (productividad) y de los pozos (terminación y rendimiento).

En las tablas 3 y 4 se vuelcan los resultados de los análisis químicos de los 12 pozos muestreados, en las figuras 31 y 32 la representación gráfica de dichos análisis y en los mapas 46 a 58, la distribución areal de los contenidos químicos determinados.

En términos generales se puede decir, respecto a los contenidos aniónicos medios de los pozos que captan ambos acuíferos (PaPu) en la zona de riego que:

- Los nitratos son más altos en los pozos (PaPu), siguen los que captan el Pampeano (Pa) y por último los del Puelche (Pu).
- Los bicarbonatos presentan valores muy similares en los 3 tipos de pozos.
- Los cloruros aumentan de los PaPu, a Pa y a Pu.
- Los sulfatos presentan sus menores concentraciones medias en los pozos Pu, luego PaPu y finalmente Pa.

Respecto a los cationes promedio:

- El contenido en Na de los pozos PaPu es el más bajo.
- En Ca y Mg los PaPu, siguen a los pozos del Pampeano.

15. Modelagem numérica de fluxo nos aquíferos Pampeano e Puelche

15.1. Modelagem matemática

O propósito do presente trabalho foi o de, mediante informações fornecidas pelo Professor Miguel Auge, produzir um modelo numérico computacional tridimensional de fluxo advectivo na zona saturada dos aquíferos que ocorrem na região, com a finalidade de auxiliar programas de proteção de poços.

Para determinar de que modo a água subterrânea circula na região de La Plata (mapa 1), foi produzido um modelo computacional tridimensional para a zona saturada dos aquíferos que lá ocorrem. O programa computacional empregado na modelação de fluxo foi o módulo Modflow do software Visual Modflow, produzido pela Waterloo Hydrogeologic, Inc., na sua versão 2.8.2. Este programa resolve a equação de água subterrânea através do método de diferenças finitas e sua eficiência é plenamente reconhecida. Todavia este software não é capaz de simular corretamente as interações entre água doce e salgada no interior do aquífero, uma vez que ele trabalha com apenas um único valor para a densidade da água. Desta forma o modelo que aqui se apresenta é válido para a água doce.

15.1.1. Modelo conceitual

As informações listadas nos documentos fornecidos pelo Professor Auge permitiram estabelecer as seguintes hipóteses para a área:

Não existem medidas de carga hidráulica que cubram tanto a estação mais chuvosa quanto a seca. Tal fato redundou na produção de um modelo em regime estacionário de cargas hidráulicas.

Não existem feições que possam ser empregadas como condições de contorno, com exceção do Río de la Plata, localizado na porção norte da área. Não há, nos demais limites, condições naturais que restrinjam o fluxo de água subterrânea. Devido à enorme dimensão do Río de la Plata, supôs-se que ele seria capaz de orientar o fluxo de água subterrânea predominantemente em sua direção. Desta forma, empregou-se condição de contorno de fluxo nulo nas fronteiras oeste e leste. À fronteira sul foram associadas as cargas medidas nos poços que monitoram os aquíferos em questão. Muito embora a zona de descarga de água superficial seja o Río de la Plata, a água subterrânea não converge diretamente para este rio. Acredita-se que a água doce quando se movimenta em direção ao Río de la Plata seja obrigada pela cunha de água salgada, mais densa, a ascender, aflorando em

uma faixa de aproximadamente um quilômetro de largura ao NE do “Escalón”, correndo então superficialmente até o Río de la Plata. Uma vez que o modelo simula apenas a água subterrânea, esta faixa foi considerada como área de descarga do fluxo subterrâneo. Esta área de descarga foi representada no modelo através de um dreno de alto valor de condutância. Tais considerações resultaram na área modelada apresentada na figura 31.

Em termos da dimensão vertical do modelo, a fronteira superior adotada foi a própria superfície topográfica medida na área (figura 32). Segundo sondagens realizadas na região, o Aquífero Puelche se estende ao menos até a cota -75 m, cota essa usada como base do modelo. A cunha salina foi considerada fixa no espaço, e sua geometria foi aproximada segundo apresentado na figura 33, supondo-se que a interface entre água doce e salgado seja fixa e impermeável para o fluxo de água doce.

A variabilidade litológica observada na área, através dos dados de perfuração de poços de monitoramento e de sondagens foi representada numericamente através de cinco diferentes zonas de condutividade hidráulica distintas (figura 34). As condutividades K1, K2 e K3 representam o Aquífero Pampeano, a condutividade K4 o aquífero e as condutividades K5, K6 e K7 o Aquífero Puelche.

A única feição de água superficial importante para o fluxo de água subterrânea, além da própria zona de descarga, é o Arroyo El Pescado. Tal córrego foi introduzido no modelo como um dreno, já que pela sua pequena vazão e profundidade não é provável que ceda água para o aquífero.

A área em questão pode ser dividida em 5 regiões de recarga diferenciada (figura 35). Na região R1 a recarga é devida à fuga de água na rede de abastecimento da cidade de La Plata. A região R2 é onde se localizam as zonas de cultivo da área, zonas essas irrigadas através de sulcos no solo. As regiões R3 e R4 é a chamada região de banhado, onde a água subterrânea aflora, coincidindo com a zona de descarga. A região R5 é a área onde não existem características especiais que influenciem a recarga, que ocorre somente pela infiltração das chuvas.

15.1.2. Discretização espacial e condições de contorno

Para o processamento do programa computacional dividiu-se a área modelada em uma grade de aproximadamente 100 colunas por 60 linhas. Verticalmente as camadas litológicas modeladas foram divididas em 12 camadas

matemáticas. Esta divisão resultou em mais de 70.000 células com dimensões aproximadas de 400 x 400 x 8 metros, permitindo boa resolução e resultados confiáveis.

As condições de contorno adotadas foram as que condiziam com o modelo conceitual anteriormente descrito.

15.1.3. Parâmetros hidrogeológicos

Coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva

O valor do coeficiente de armazenamento não é necessário na modelação, uma vez que o modelo é estacionário. As porosidades efetivas associadas ao modelo foram as descritas na tabela 15.

Tabla 15

Descrição dos valores de porosidade efetiva adotados

Litologia	Porosidade Efetiva
Pampeano	0,08
Puelche	0,30
Aquítarde	0,05

15.1.4. Dreno

O Arroyo El Pescado foi introduzido no modelo como dreno. O valor de condutância associado a ele foi calculado em 100 m²/dia, tendo em vista a condutividade da litologia que atravessa, sua largura e profundidade e também o tamanho das células da modelagem numérica. A condutância do dreno que representa a zona de descarga foi estabelecida em 500 m²/dia.

15.1.5. Poços de bombeamento e de monitoramento

Existem dados cadastrados de 50 poços de bombeamento na região de La Plata, dos quais 26 encontram-se em zonas rurais. Foram inseridos no modelo todos os poços de bombeamento e monitoramento encontrados na área, com as informações de posição, profundidade, profundidade dos filtros e cargas hidráulicas medidas. Todavia sabe-se que existem, apenas nas zonas rurais, mais de 2.400 poços de bombeamento, que explotavam aproximadamente 192.000 m³/dia em 1995. Para representar esta exploração foram inseridos no modelo mais 80 poços e as vazões de todos os poços foram alteradas de forma que a exploração no modelo coincidissem com a real, qual seja:

Total de exploração: 329.000 m³/dia.

Exploração na zona rural: 192.000 m³/dia (70% proveniente do Aquífero Puelche e 30% do Aquífero Pampeano).

Exploração na zona urbana: 137.000 m³/dia (apenas Aquífero Puelche).

15.1.6. Processamento do modelo

Parâmetros de processamento

O método numérico para resolver o sistema de equações lineares gerado pela discretização espacial da equação de água subterrânea na área foi o WHS (Waterloo Hydrogeologic Solver), um dos quatro métodos existentes no programa Visual Modflow. Os parâmetros empregados foram os fornecidos pelo fabricante.

Análise da qualidade do modelo

A qualidade numérica dos resultados obtidos nesta modelagem é atestada pelas seguintes características:

Convergência. O método WHS convergiu em menos de 90 iterações em todos os ensaios processados, o que atesta a estabilidade do modelo e a conseqüente confiabilidade dos resultados.

Balanco de Massa. A diferença entre as massas de água que entram e saem da área através de seu contorno, calculadas pelo modelo, foi de 0,0000001% o que indica que a grade de elementos gerada é plenamente satisfatória para a resolução numérica da equação de fluxo de água subterrânea na área.

15.1.7. Calibração

Durante o procedimento de calibração as condutividades hidráulicas e as recargas foram variadas com o objetivo de criar um modelo que resultasse em uma menor diferença entre cargas calculadas e medidas, respeitando-se entretanto o que é considerado razoável para cada uma das condutividades e recargas. Para todas as condutividades presumiu-se a existência de anisotropia vertical, todavia a calibração confirmou a necessidade de anisotropia para ajustar o modelo apenas para as condutividades K2, K4 e K6. Os valores de condutividade hidráulica e de recarga que levaram à menor diferença entre cargas calculadas e observadas encontram-se na tabela 16, e o erro quadrático médio normalizado desta diferença foi de 8,66%, com erro absoluto médio de $1,4 \pm 0,4$ m, estando portanto o modelo

calibrado e apto para a realização de previsões. A figura 36 mostra graficamente a relação entre cargas calculadas pelo modelo calibrado e as observadas em campo.

Tabla 16

Parâmetros calibrados do modelo

Parâmetro	Valor
K1*	$8,5 \cdot 10^{-5}$ m/s
K2 horizontal	$4,0 \cdot 10^{-5}$ m/s
K2 vertical	$1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s
K3*	$2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s
K4 horizontal	$2,0 \cdot 10^{-8}$ m/s
K4 vertical	$1,4 \cdot 10^{-8}$ m/s
K5*	$7,0 \cdot 10^{-4}$ m/s
K6 horizontal	$1,9 \cdot 10^{-4}$ m/s
K6 vertical	$1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s
K7*	$2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s
R1	320 mm/ano
R2	248 mm/ano
R3	0 mm/ano
R4	56 mm/ano
R5	133 mm/ano

* condutividades onde não foi constatada a necessidade de anisotropia.

15.1.8. Resultados

Padrão potenciométrico, balanço de massa e tempo de trânsito

A distribuição de carga hidráulicas para os aquíferos Pampeano e Puelche estão apresentadas nas figuras 37 e 38 e a figura 39 apresenta um perfil desta distribuição de cargas. Observa-se o acentuado cone de depressão de La Plata, com níveis de água alcançando a cota menor de 0 metro (profundidade em torno de 20 m). Muito embora este cone se apresente apenas no Aquífero Pampeano, no Aquífero Puelche o intenso bombeamento leva a existência de um mínimo de carga hidráulica bastante pronunciado, chegando a -9 m. Observa-se também que existe uma grande interação entre os aquíferos Pampeano e Puelche, evidenciada pelas formas das isolinhas na figura 39. A quantidade de água cedida pelo Pampeano ao Puelche calculada pelo modelo é de $250.375 \text{ m}^3/\text{dia}$, mais de 90% do total de água explotado do Puelche. O balanço de massa apresentado na tabela 17 também evidencia a predominância do fluxo vertical na região, pois a quantidade de água cedida pela recarga é aproximadamente 97% do total explotado dos dois aquíferos.

A análise de trajetória de partículas inseridas no nível d'água no cone de depressão de La Plata mostra que, devido à verticalização do fluxo, a zona de contribuição para os poços da zona urbana limita-se à própria zona urbana. Além disso, verifica-se que o tempo de trânsito da água, desde que entra no sistema como recarga, até ser captada por algum poço da zona urbana é aproximadamente 20 anos.

15.1.9. Transporte de contaminantes entre os aquíferos

A verticalidade do fluxo e a grande comunicação entre os dois aquíferos sugere que o Puelche deva ser bastante vulnerável a eventuais contaminações que possam atingir o Pampeano. Para testar esta hipótese foram simulados através do modelo dois cenários de contaminação. Em ambos foi inserida na profundidade do nível d'água uma fonte fictícia de contaminação (F), na posição determinada na figura 140 e em ambos os casos adotou-se uma dispersividade longitudinal de 40 m, dispersividade transversal horizontal de 4 metros, e dispersividade transversal vertical de 0,4 m. Também nos dois cenários supôs-se um transporte de contaminação onde não ocorresse degradação nem adsorção do contaminante. No cenário I a fonte F permanece com uma concentração constante e igual a 1.000 mg/L, enquanto no cenário II esta fonte apresenta apenas um pulso instantâneo de intensidade 1.000 mg/L, deixando de existir imediatamente depois. As figuras 41 e 42 mostram a pluma de contaminação em perfil vertical para 10.000 dias após o início da atividade de F para cada cenário. Verifica-se que em ambos os cenários a contaminação atinge o aquífero inferior, confirmando sua vulnerabilidade.

Tabla 17

Balanço de massa gerado pelo modelo (a diferença entre o total de entrada e saída se deve à precisão matemática do modelo)

	ENTRADA (m³/dia)	SAÍDA (m³/dia)
Fronteira de h conhecida	40.831	5.442
Recarga	319.642	0
Poços	0	329.840
A° El Pescado e zona de descarga	0	25.190
Total	360.473	360.472

16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◆ La realización de una investigación hidrogeológica a escala 1:250.000, en un ámbito de 105.000 hectáreas, donde la ciudad de La Plata se ubica aproximadamente en su centro, permitió desarrollar la primera fase de dos metodologías para establecer la vulnerabilidad de un acuífero semiconfinado a la contaminación con NO₃, provenientes del libre sobrepuesto.
- ◆ En el caso estudiado, los acuíferos involucrados son el Pampeano (libre) y el Puelche (semiconfinado). Este último, que es uno de los más importantes de Argentina, se emplea para abastecer el 60% de la demanda de agua potable de La Plata y localidades vecinas. Otro volumen importante se capta para regar.
- ◆ La contaminación que afecta al Puelche proviene del Pampeano y se produce por flujo vertical descendente, a través del acuitardo limo - arcilloso que los separa.
- ◆ El deterioro es significativo en el ámbito urbano de La Plata, donde la contaminación con NO₃, supera la norma de potabilidad y afecta a unos 300 hm³, que es algo más del 10% de la reserva de agua dulce del Puelche.
- ◆ Los sitios más afectados coinciden con las mayores diferencias de potenciales hidráulicos a favor del Pampeano.
- ◆ La aplicación de un modelo numérico a ambos acuíferos, en condiciones de flujo estacionario, culminó en una calibración apropiada para el posterior desarrollo de la faz de predicción. Los resultados más trascendentes obtenidos con el modelo son:
 - a) más del 90% del agua extraída del Acuífero Puelche (~250.000 m³/d) proviene del Pampeano, lo que confirma la fuerte comunicación hidráulica entre ambos acuíferos.
 - b) el tiempo de tránsito del agua desde que ingresa en los ámbitos de recarga, hasta ser captada por algún pozo urbano, es de aproximadamente 20 años.

Se recomienda:

- ◆ Continuar con los desarrollos metodológicos, a fin de sustentarlos en el empleo de modelos numéricos.
- ◆ Aplicar el modelo numérico para condiciones de flujo variable, con el objeto de reproducir con mayor representatividad el comportamiento hidrodinámico subterráneo.

17. BIBLIOGRAFÍA

- ARTAZA E. 1943 Saneamiento Urbano de la República Argentina. Provisión de agua y desagües urbanos. Univ. Nac. de La Plata (UNLP). C. 6:1-383. La Plata. Argentina.
- AUGE M. P. y M. A. HERNÁNDEZ 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Coloquio Intern. Hidrol. de Grandes Llanuras. Unesco. V III: 1019-1043. Buenos Aires - Paris.
- AUGE M. P. 1986. Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. Groundwater. V 25, # 5: 636-642. Dublin, Ohio. EUA.
- AUGE M. P. 1990. Aptitud del agua subterránea en La Plata, Argentina. Semin. Latinoam. sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Actas: 191-201. Buenos Aires.
- AUGE M. P. 1991. Sobreexplotación del Acuífero Puelche en La Plata, Argentina. IAH. XXIII Intern. Congress Proceed. T I, V I: 411-415. Islas Canarias. España.
- AUGE M. P. 1995. Similitudes hidrogeológicas entre los acuíferos Pampeano y Puelche en La Plata Argentina. II Seminario Hispano - Argentino de Hidrología Subterránea. Actas: 235-241. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- AUGE M. P. y N. BUCICH 1996. Manejo del agua subterránea en La Plata. 4tas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Actas. V 2: 229-237. La Plata.
- AUGE M. P. y M. I. NAGY 1996. Origen y evolución de los nitratos en el suelo y el agua subterránea de la Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 3er. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Memorias: 1-12. San Luis Potosí. México
- AUGE M. P. 1997. Investigación Hidrogeológica de La Plata y Alrededores. Tesis Doctoral Universidad de Buenos Aires. 2 T: 1-171. Buenos Aires.
- AUGE M. P, M. A. HERNÁNDEZ y L. HERNÁNDEZ 2002. Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. XXXII IAH & VI ALHSUD Congress. Actas: 629-633. Mar del Plata. Argentina.
- AUGE M. P. 2003. Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos.
E-book: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>

- AUGE M. P, R. HIRATA y F. LÓPEZ VERA 2003. Vulnerabilidad a la contaminación con nitratos del Acuífero Puelche en La Plata – Argentina. Inf. Científico 1^{er} año: 1-31. Inéd. Madrid.
- CAPPANNINI D. A. y V. R. MAURIÑO 1966. Suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre las ciudades de Buenos Aires al norte y La Plata al sur. INTA: 1-45. Buenos Aires.
- CASTRO J. C, E. LEYES, O. TERUGGI y J. LOZANO 1988. Evaluación del sistema de provisión de agua a la ciudad de La Plata. AGOSBA. Inéd: 1-37. La Plata.
- CUSTODIO E. y M. R. LLAMAS Ed. 1976. Hidrología subterránea. 2 T: 1-2.290. Ed. Omega. Barcelona.
- FIGGINI A, M. LEVIN, J. M. SALA, M. A. HERNÁNDEZ y E. SALATI 1975. Genesis and mechanism of intrusion by brackish water in the littoral of the River Plate, Argentina. Intern. Sympos. on Brackish Water. Ben Gurion Univ. of he Negué. Beber Sheva. Israel.
- FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2002. Protección de la calidad del agua subterránea. World Bank. 115 p. Washington.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO Technical Manual. Lima, Perú.
- GONZÁLEZ N, M. P. AUGÉ, M. A. HERNÁNDEZ y J. ROSELLI 1991. Investigación hidrológica de la cuenca de las Lagunas Encadenadas del Oeste. Provincia de Buenos Aires. T I - IV. Inéd. La Plata.
- GROEBER P. 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la Provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería. XLIX, # 6: 371-387. Buenos Aires.
- HEM J. 1959. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. WSP # 1473: 1-269. Washington.
- JIMÉNEZ PÉREZ M. C. y L. RASKOVSKY 1987. Contaminación del agua subterránea destinada al consumo de la población de La Plata. AGOSBA. Inéd: 1-50. La Plata.
- KNOCHÉ W. y V. BORZACOV 1947. Provincias climáticas de la Argentina. En Geografía de la República Argentina. (GAEA). T VI: 140-174. Buenos Aires.
- LOGAN W. S. 1993. Origin of the saline groundwater of the coastal plain of the Río de la Plata, La Plata, Argentina. Tesis doctoral. Univ. of Waterloo: 1-210. Waterloo. Canadá.

- LOZANO J, O. TERUGGI y A. L. DIZ 1985. Evaluación del estado actual del recurso hídrico subterráneo de la ciudad de La Plata en base a los antecedentes históricos acumulados en la Repartición. Adm. Gral. de Obras Sanitarias (AGOSBA). Inéd: 1-31. La Plata.
- SALA J. M, M. A. HERNÁNDEZ y E. KRUSE 1982. Groundwater regime for forecasting with inadequate data in Argentina. Proceed. Exeter Sympos. IAHS, Pub. # 136. RU.
- SCHOELLER H. 1959. Arid zone hydrology. Recent developments. UNESCO: 1-125. Paris.
- THORNTHWAITE C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Rep. Geograph.Rev. V XXXVIII. Nº 1: 55-94.
- THORNTHWAITE C. W. y J. R. MATHER 1957. Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climate Drexel Inst. of Techn. # 10: 185-311. EUA.

FIGURA 1

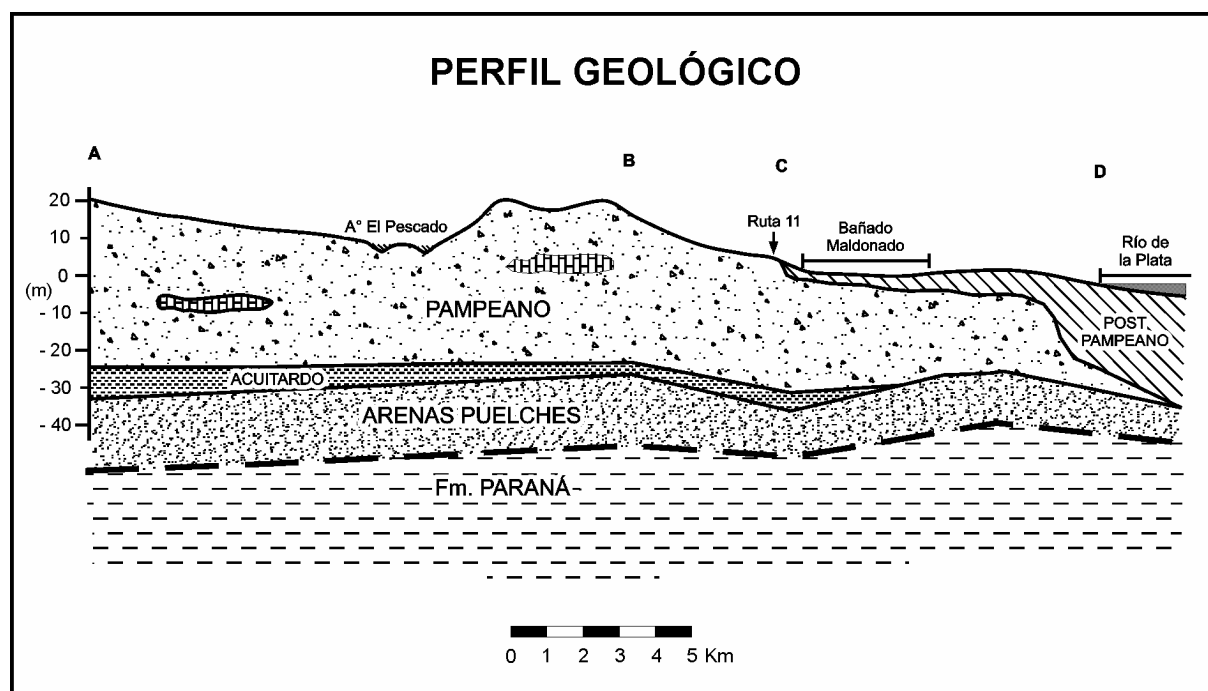


FIGURA 2

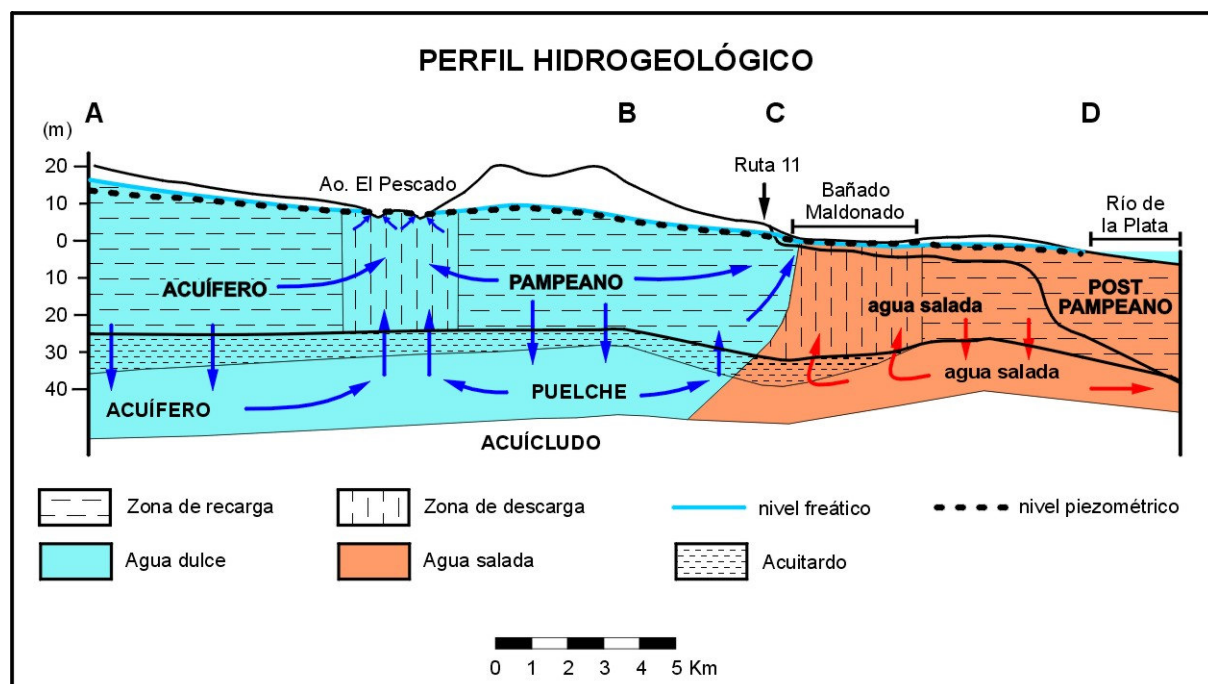


FIGURA 3

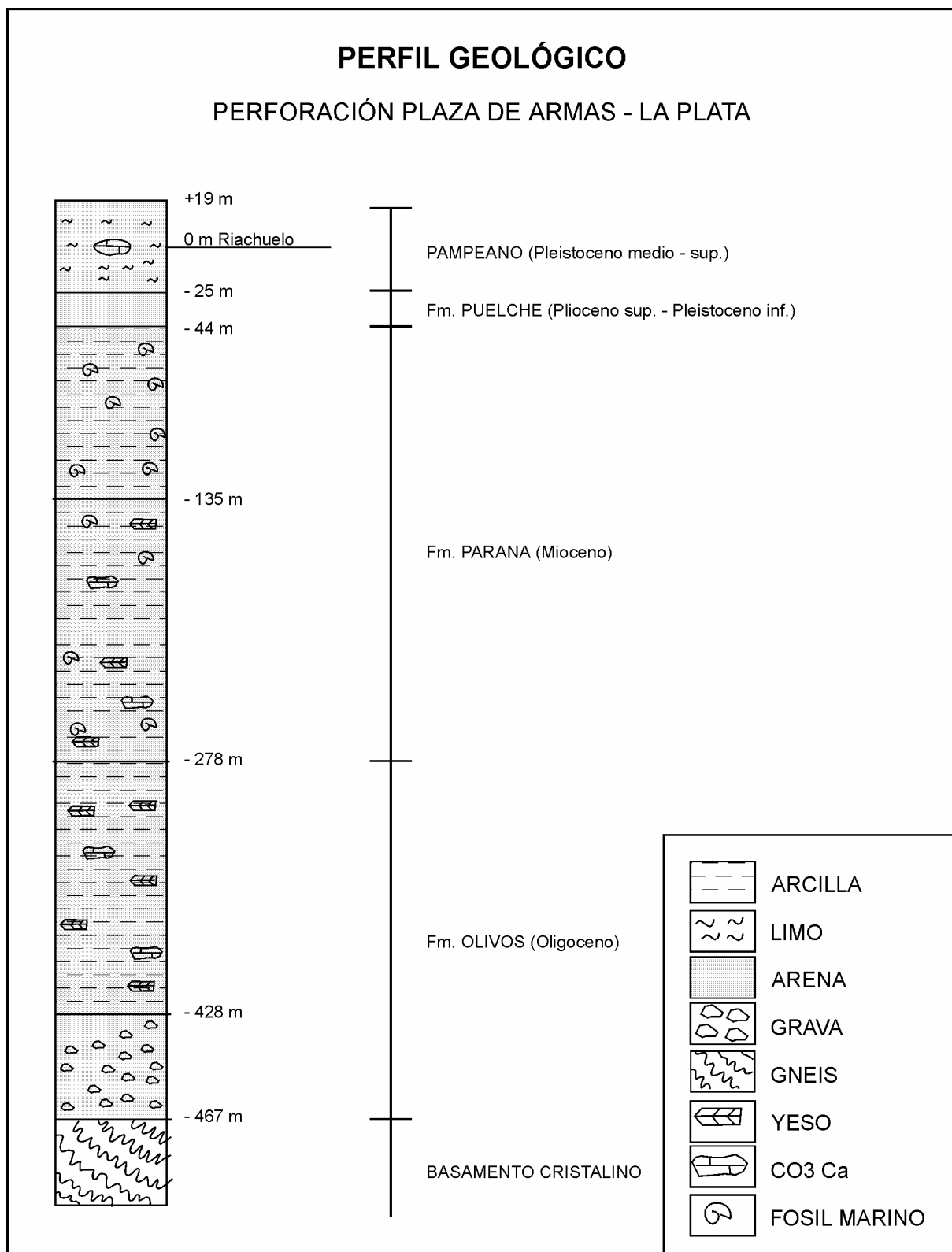


FIGURA 4

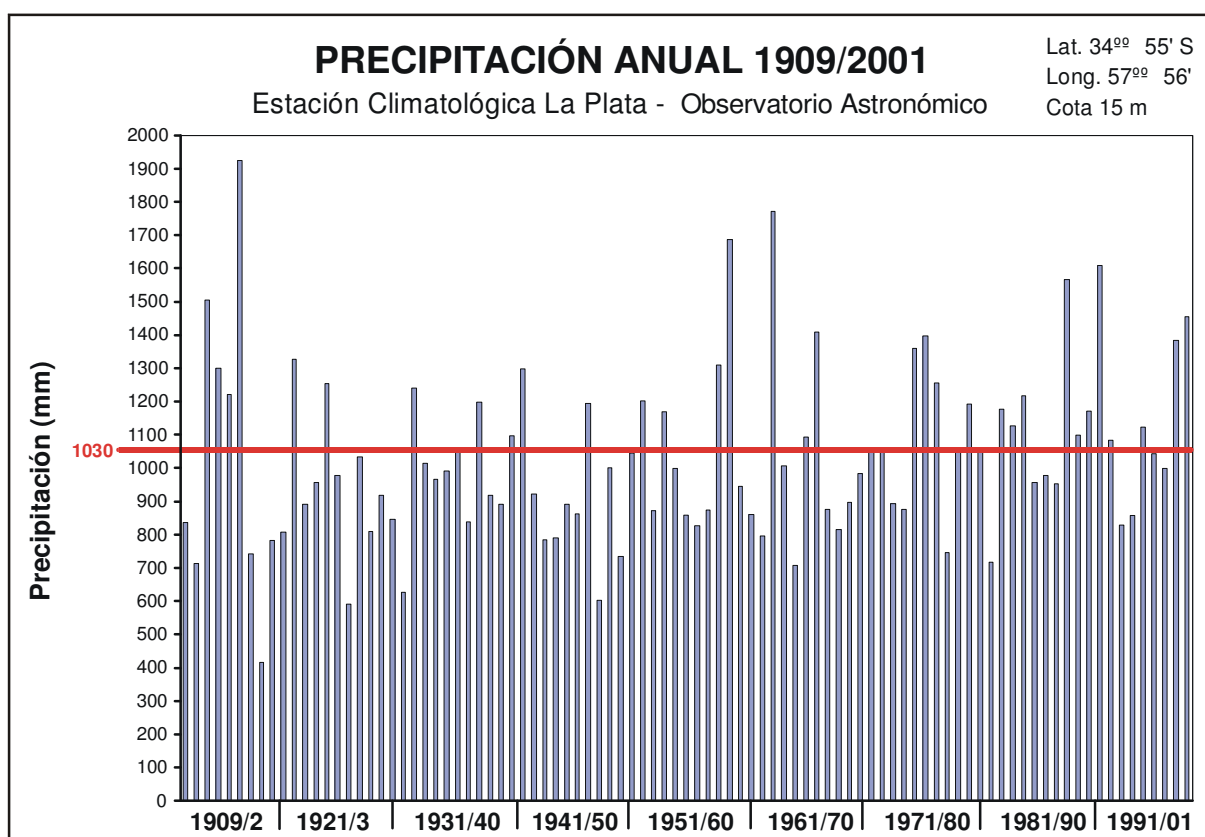


FIGURA 5

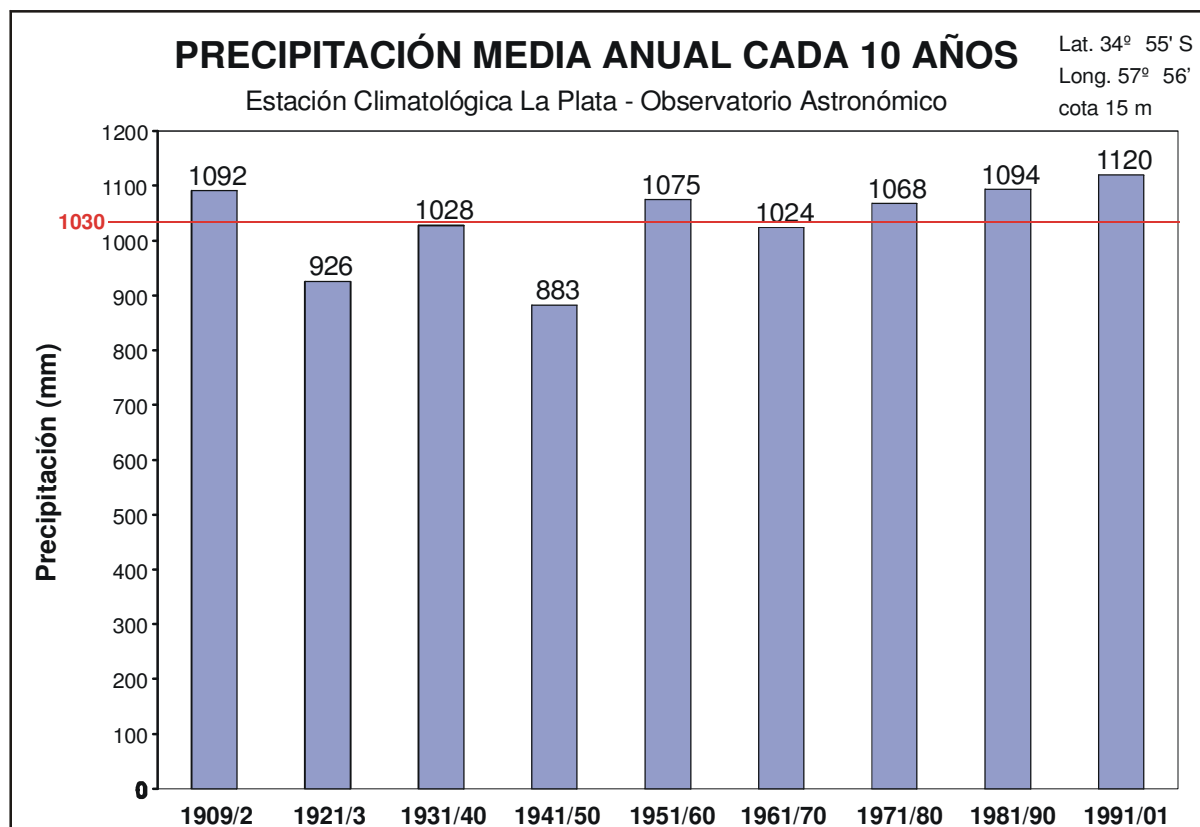


FIGURA 6

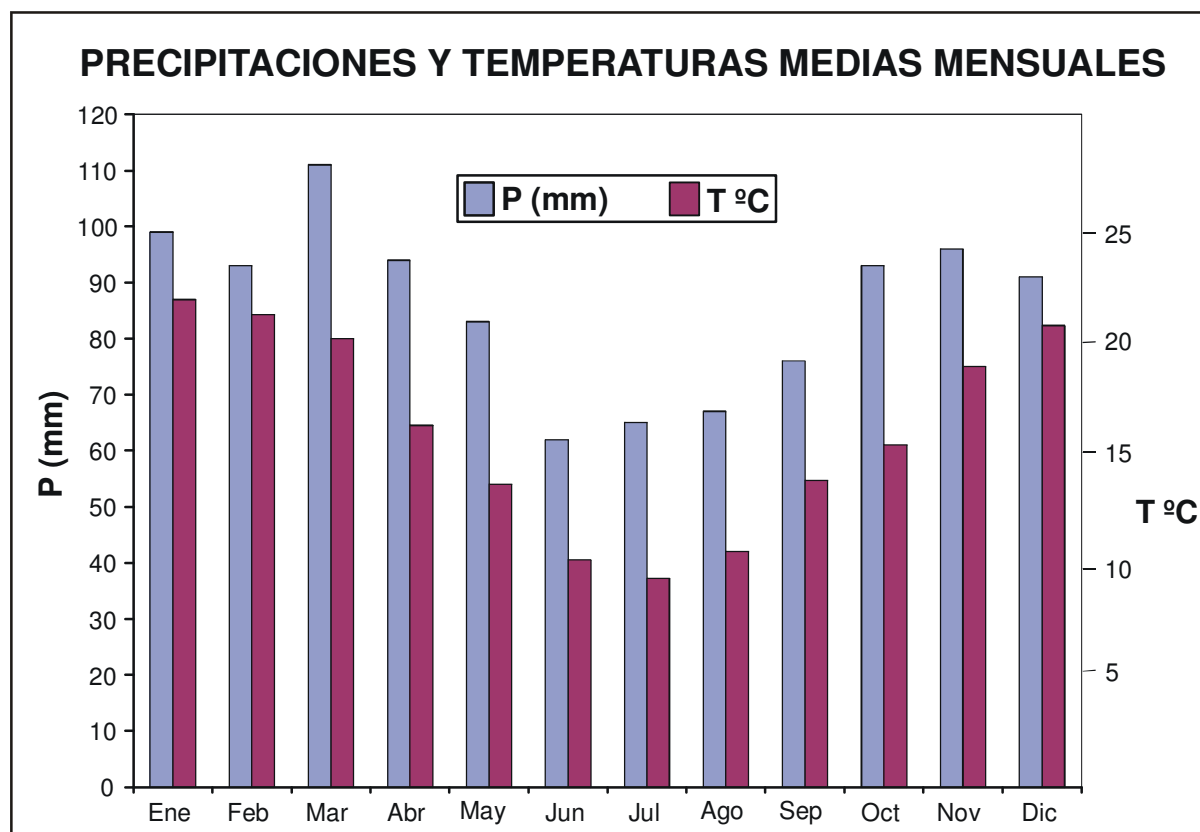
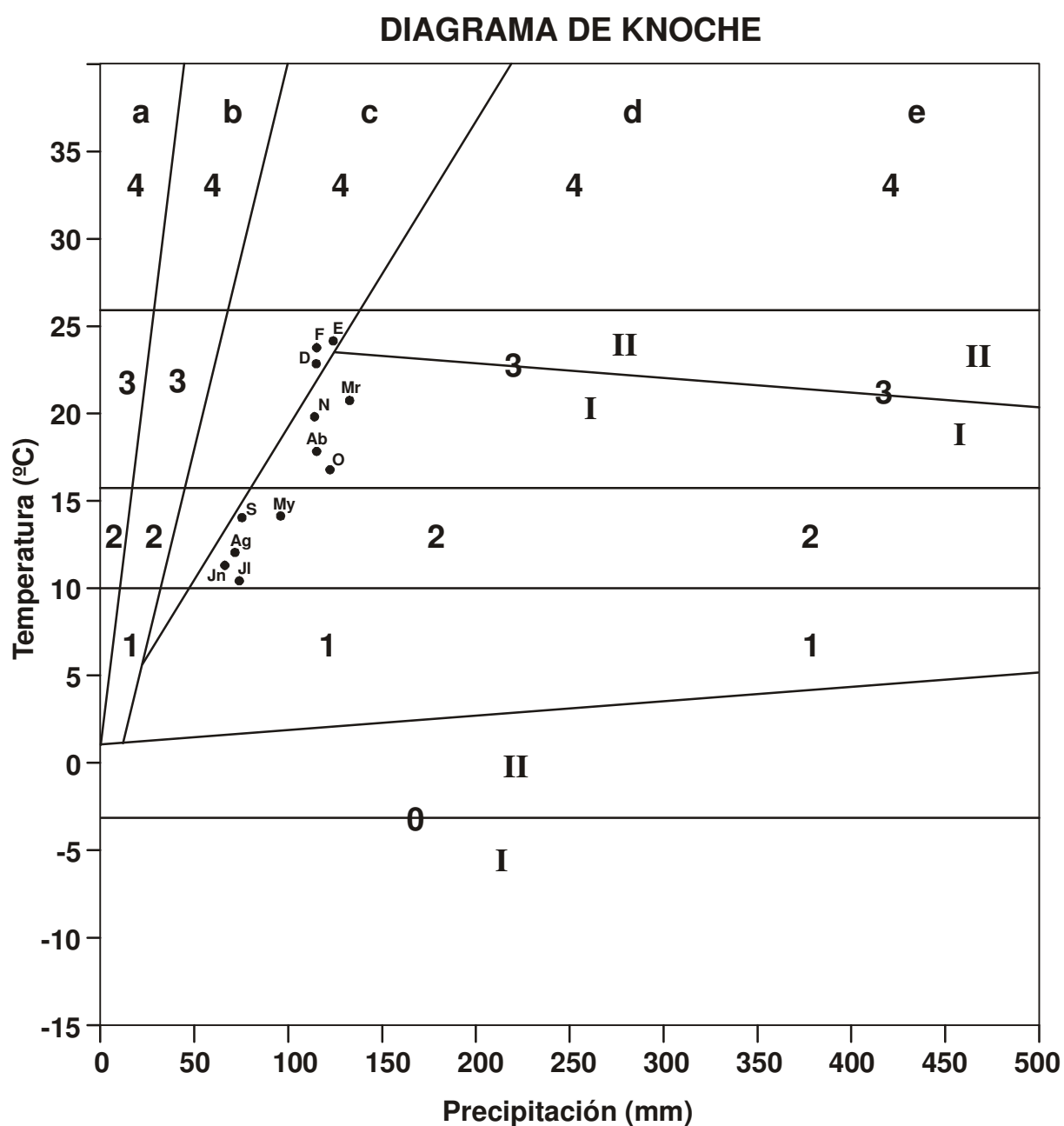


FIGURA 7



Escala Térmica	Escala de Precipitación
0 Frío I Glacial II Moderado	a Muy seco
1 Subtemplado	b Seco
2 Templado	c Seco Húmedo
3 Cálido I Moderado II Intenso	d Húmedo
4 Tórrido	e Muy Húmedo

FIGURA 11

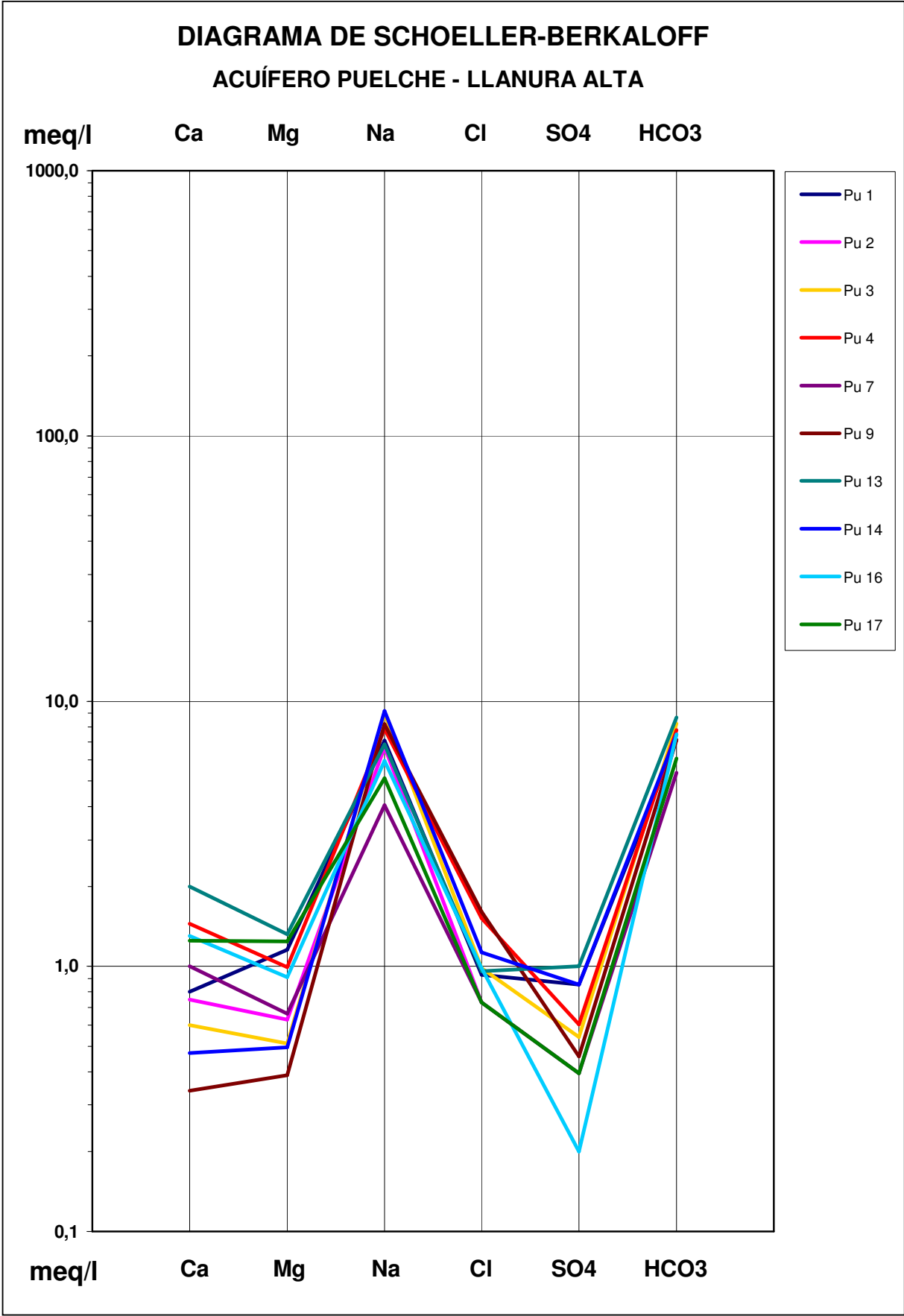


FIGURA 12

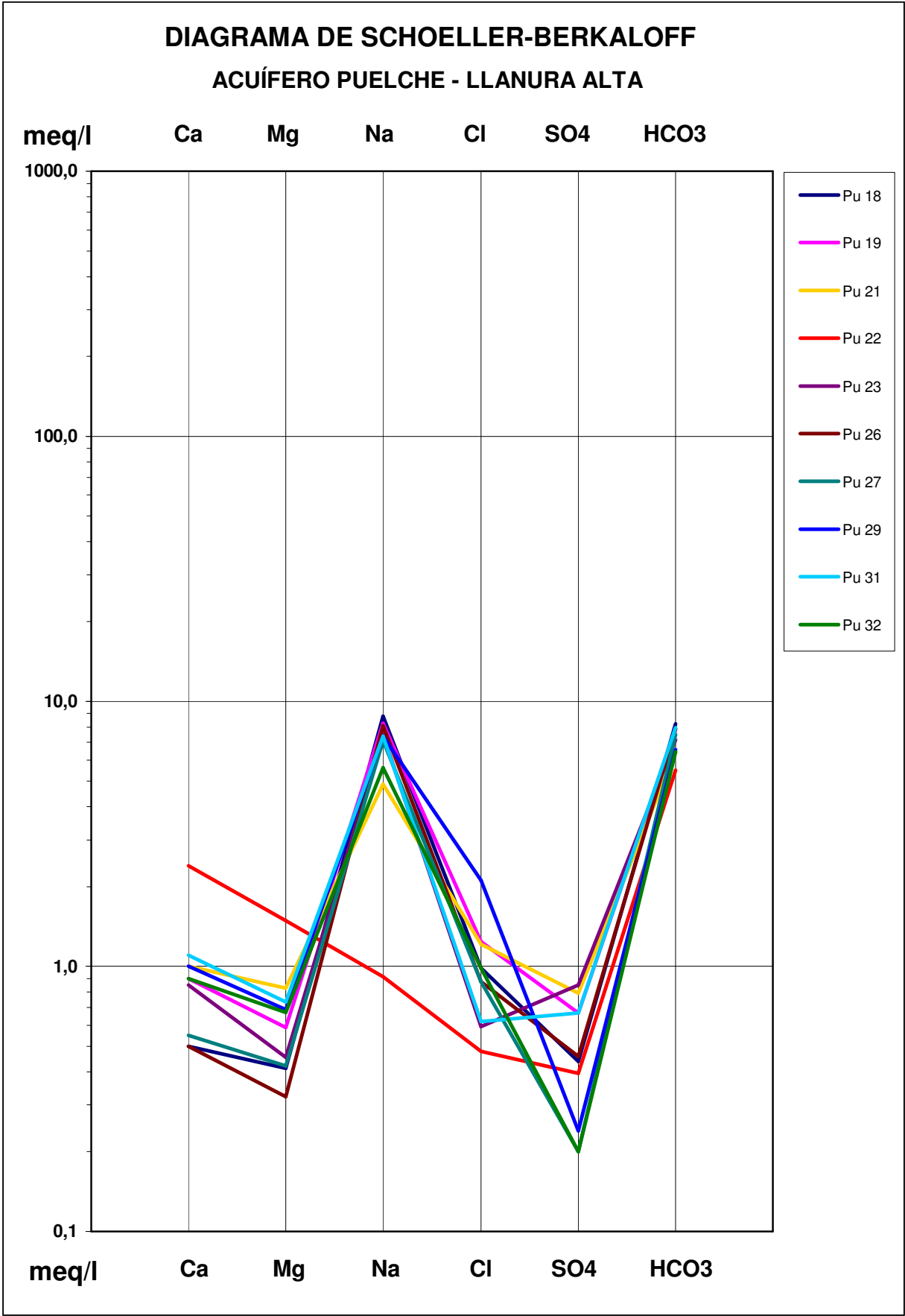


FIGURA 13

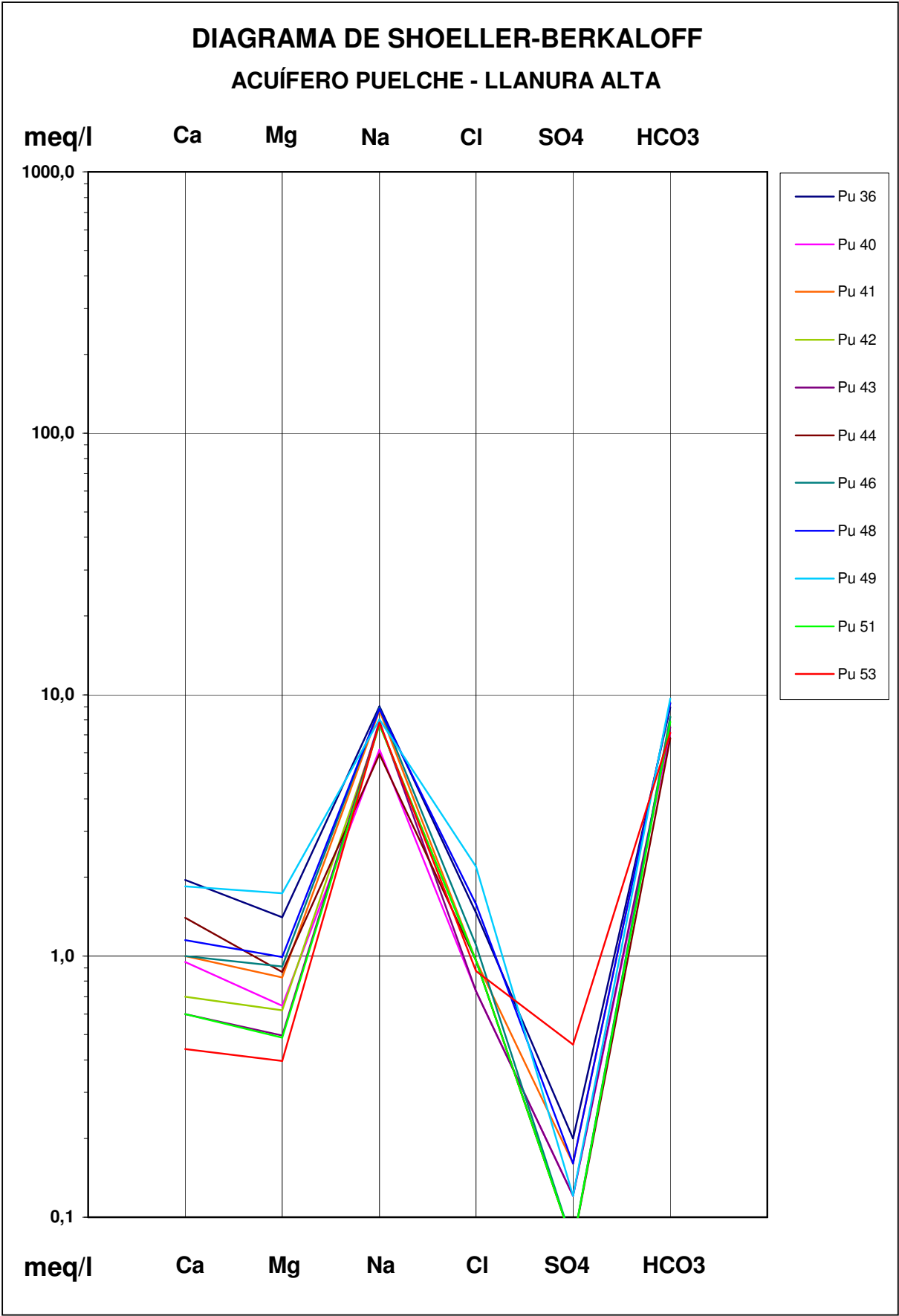


FIGURA 14

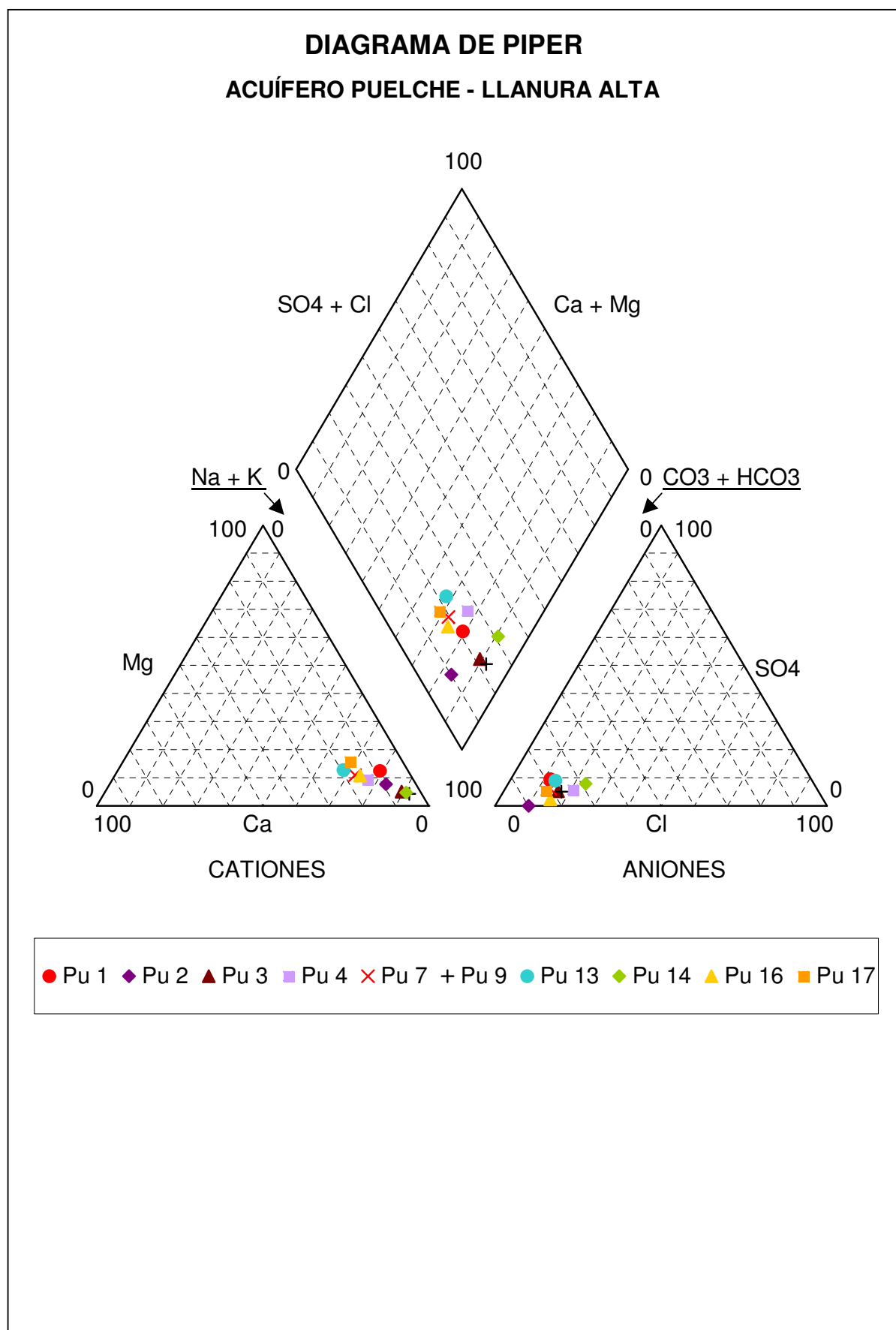


FIGURA 15

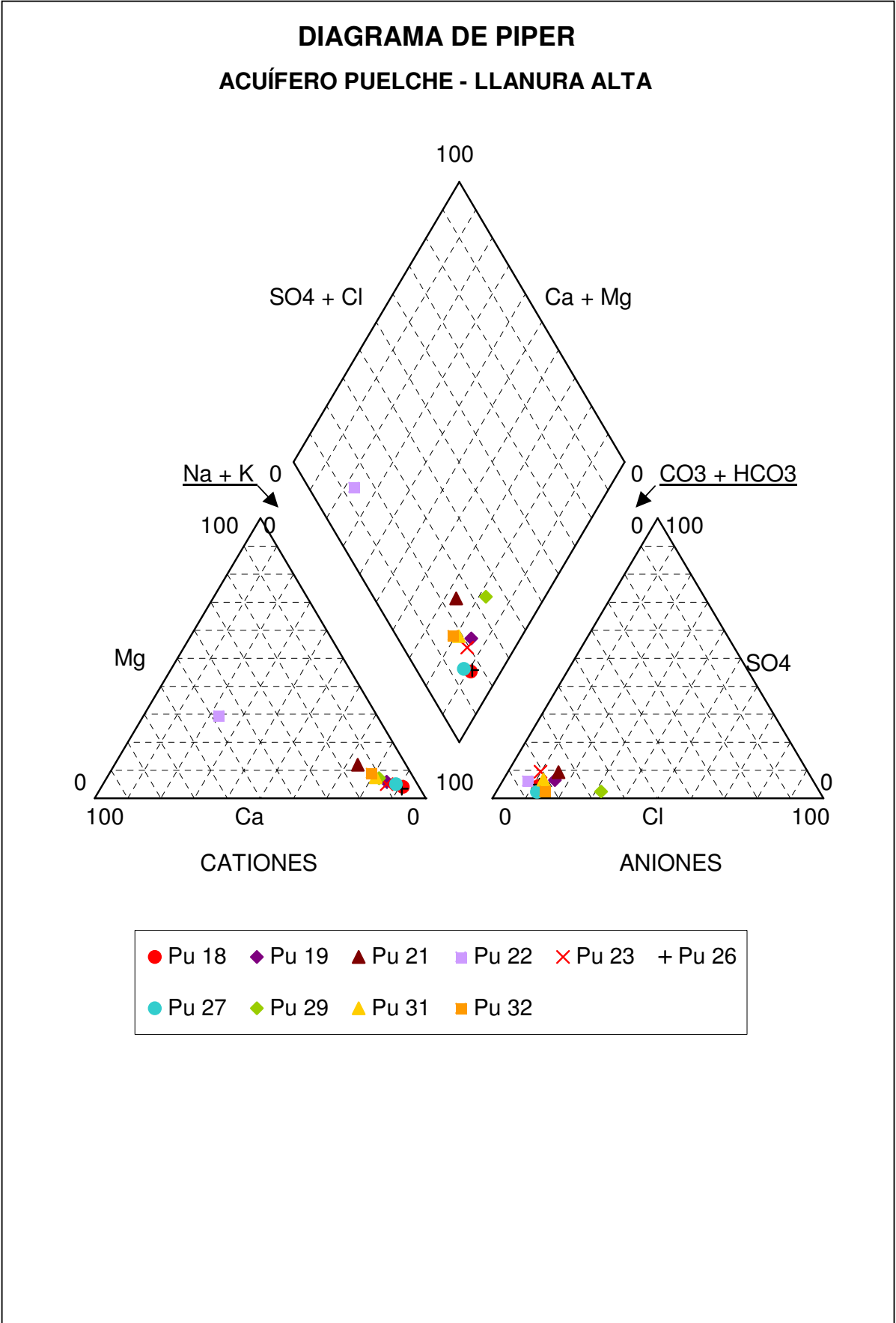


FIGURA 16

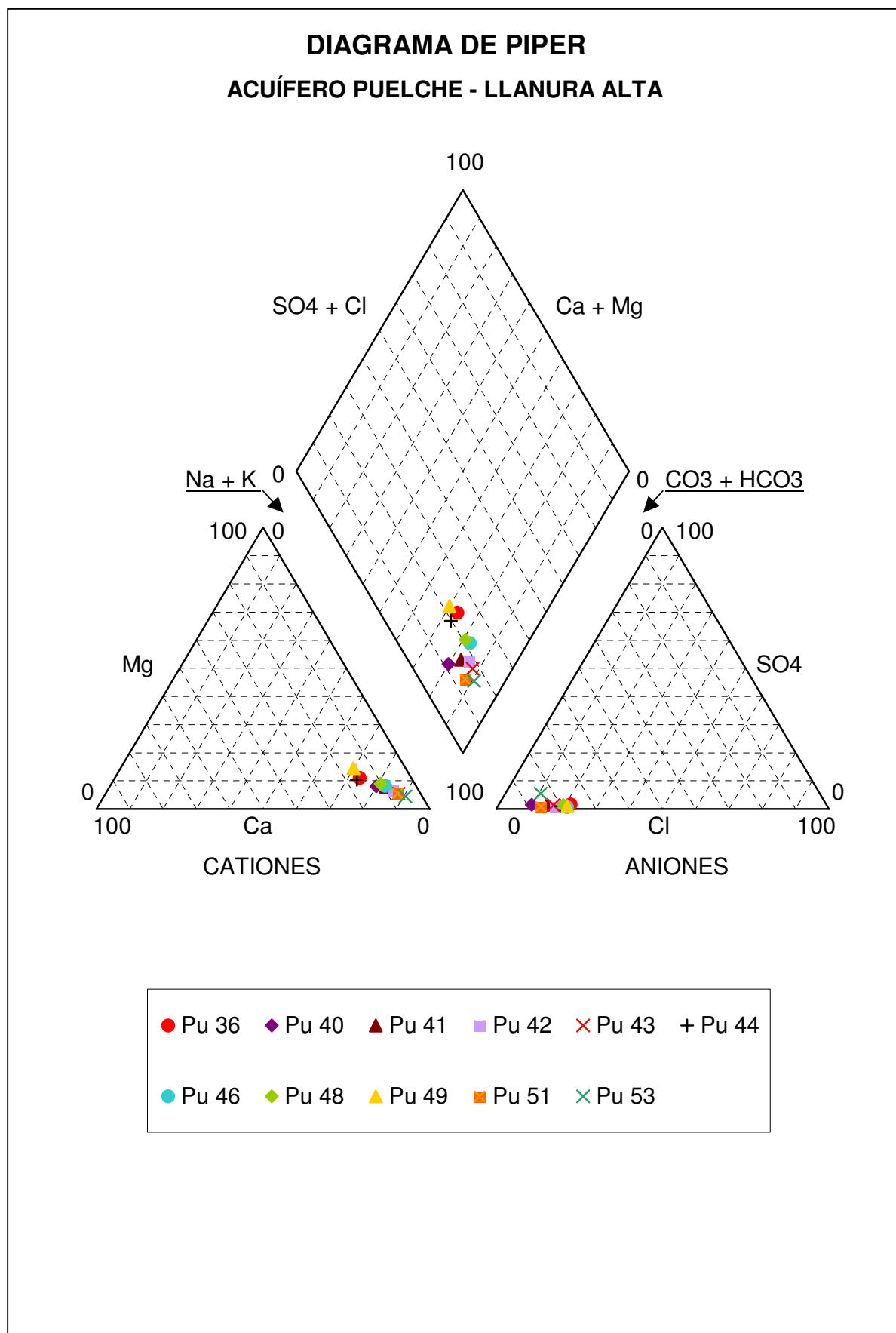


FIGURA 17

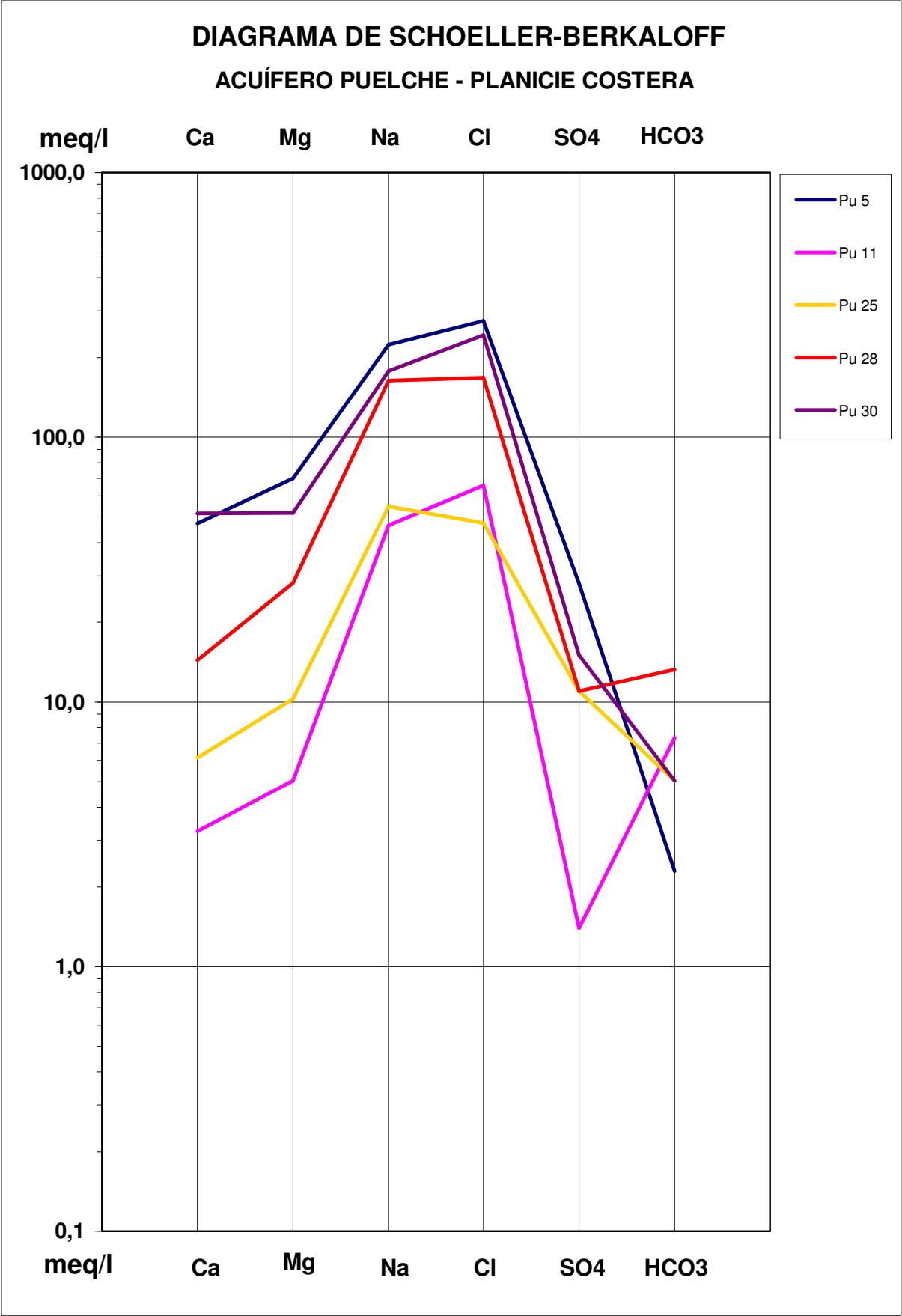
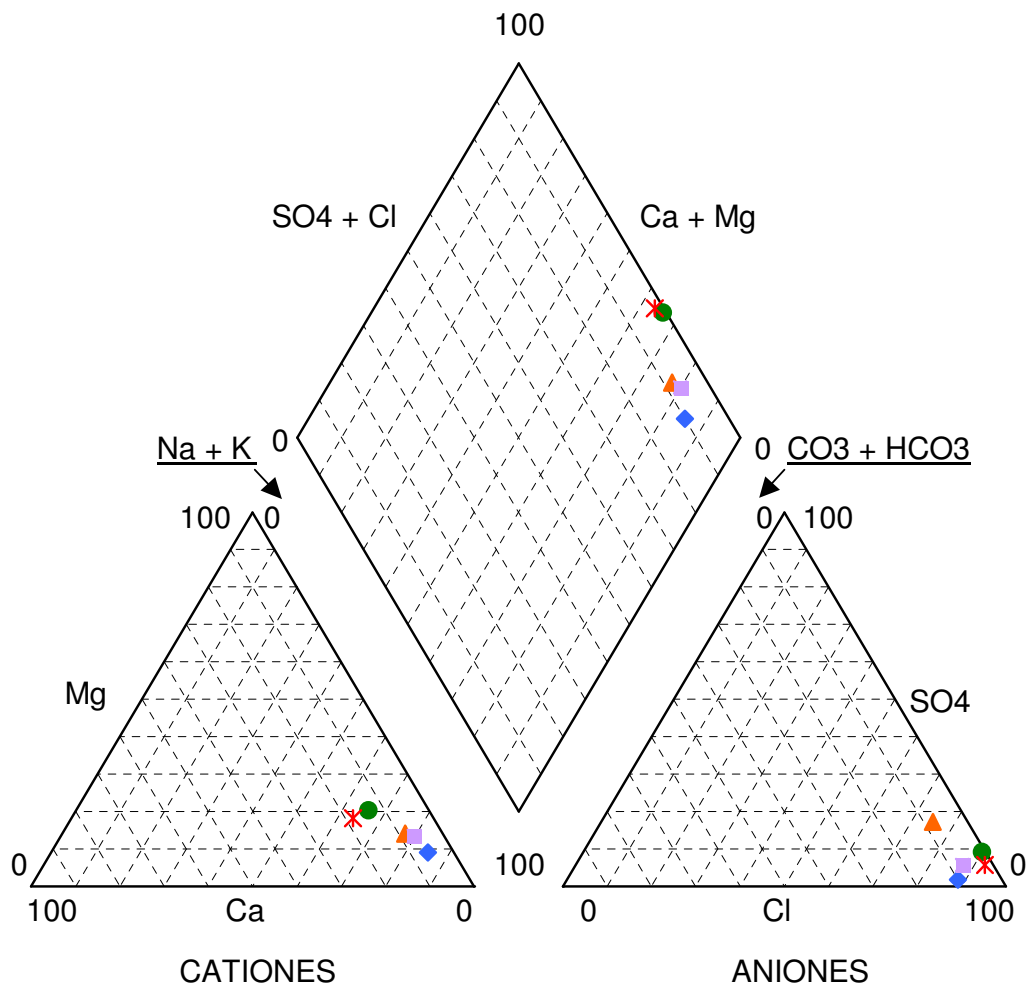


FIGURA 18

DIAGRAMA DE PIPER
ACUÍFERO PUELCHÉ - PLANICIE COSTERA



● Pu 5 ◆ Pu 11 ▲ Pu 25 ■ Pu 28 ✕ Pu 30

FIGURA 19

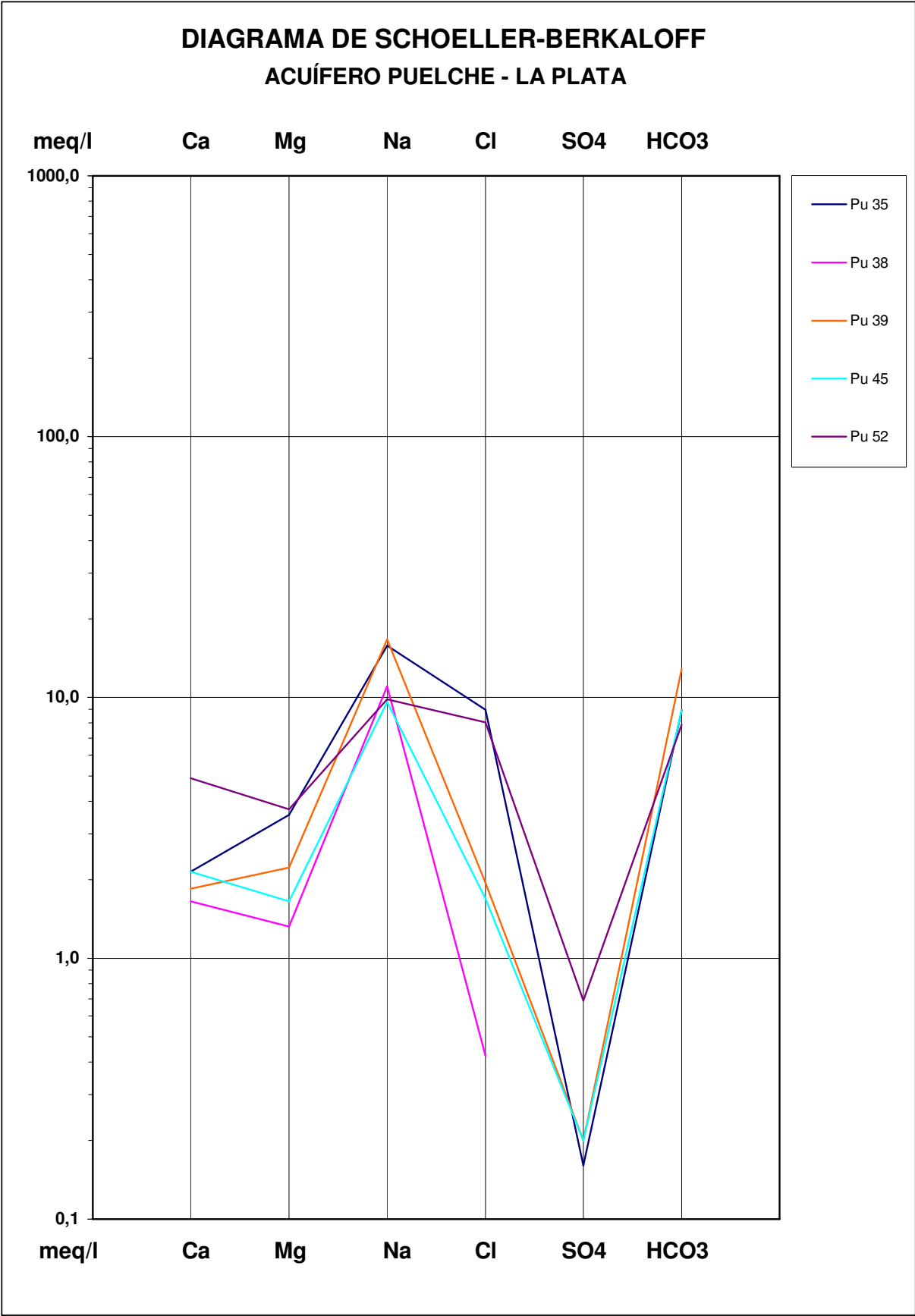


FIGURA 20

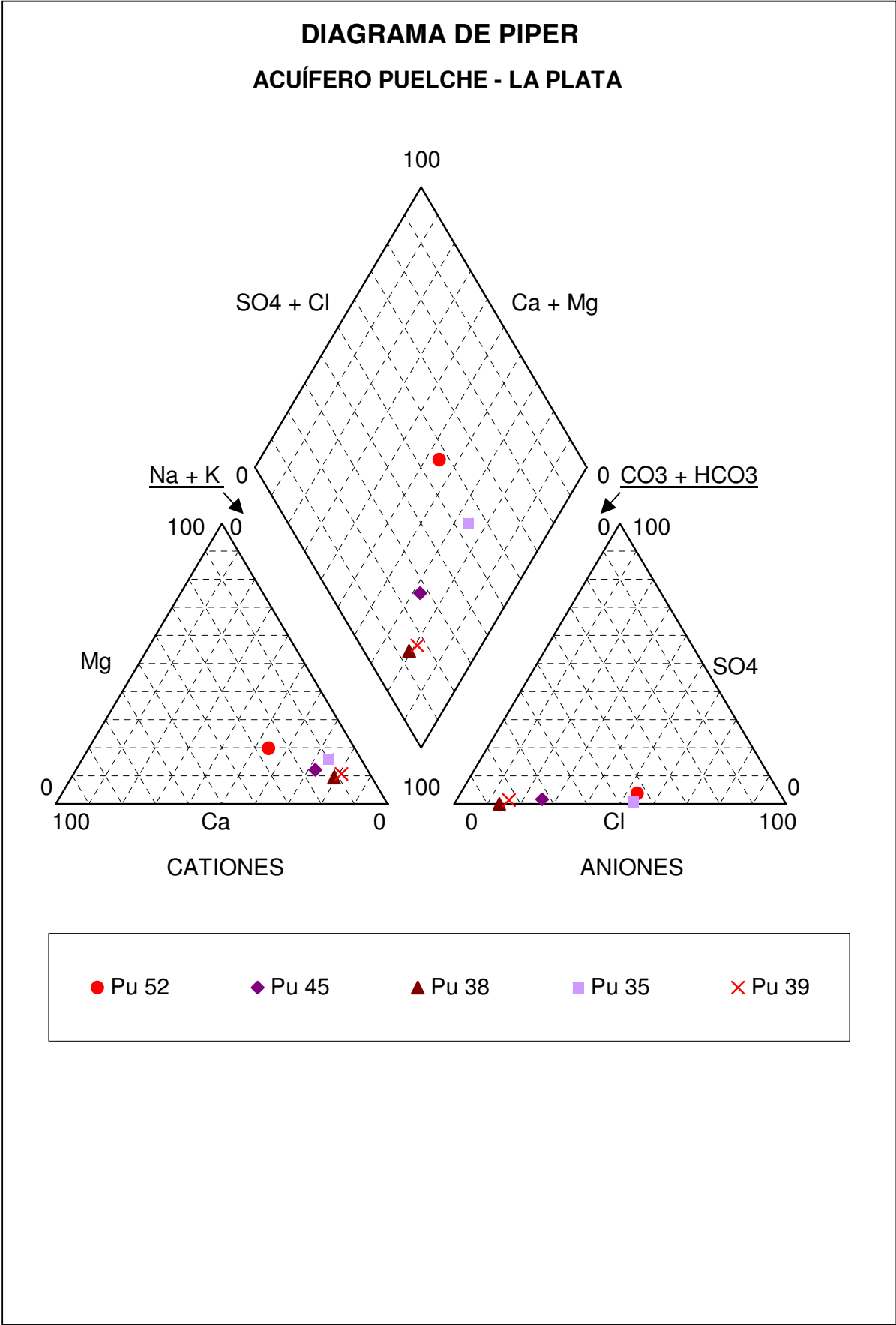


FIGURA 21

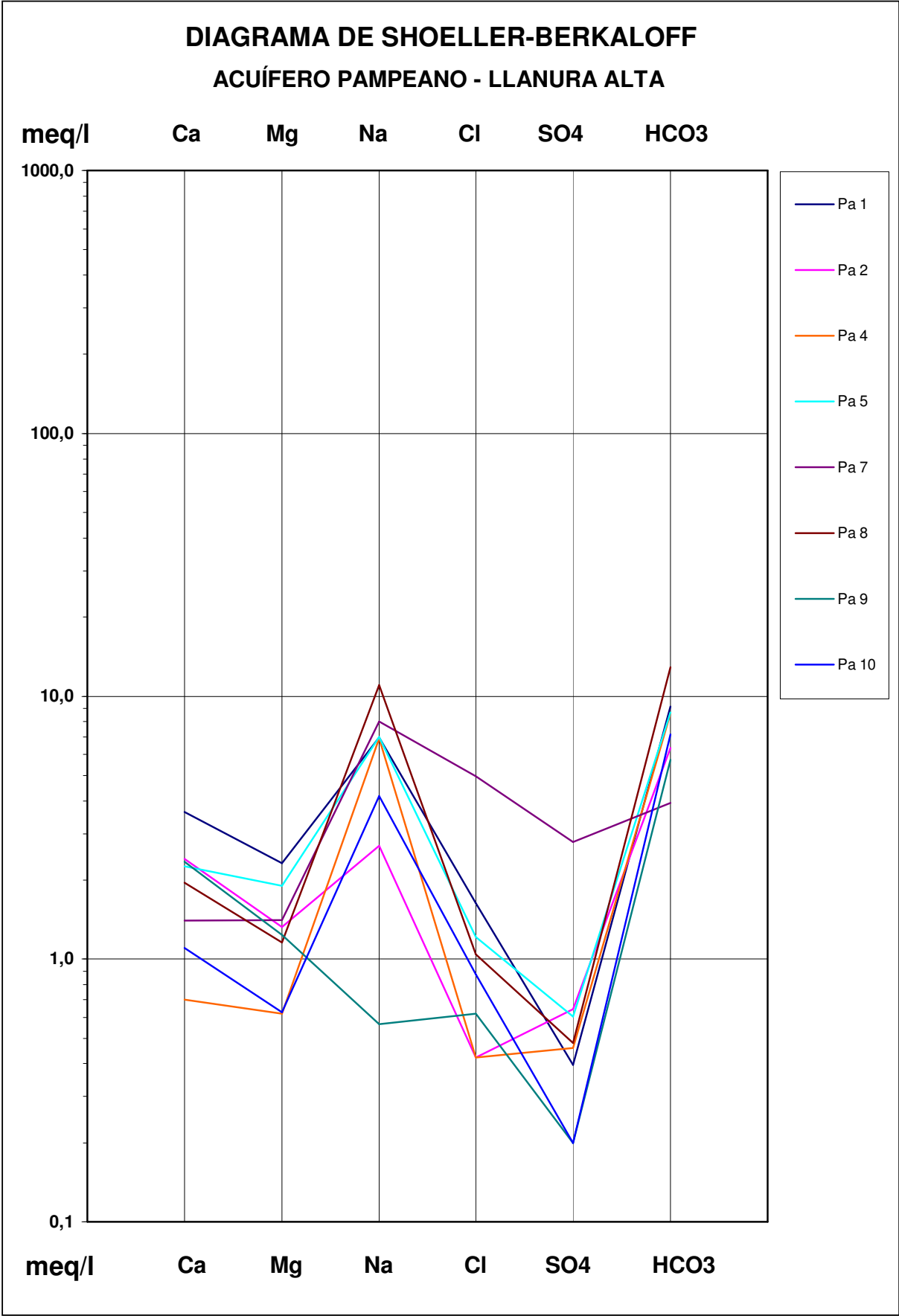


FIGURA 22

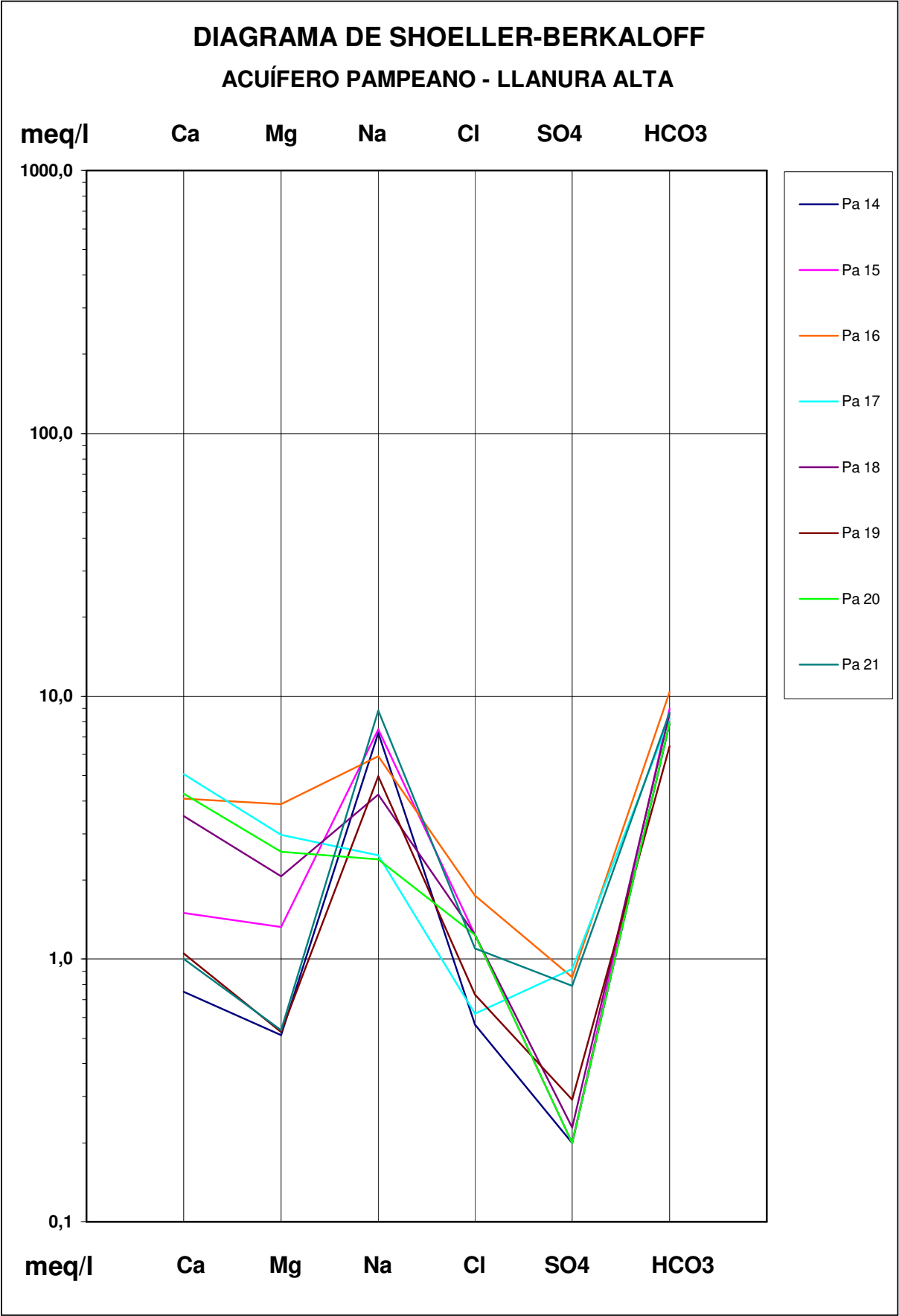


FIGURA 23

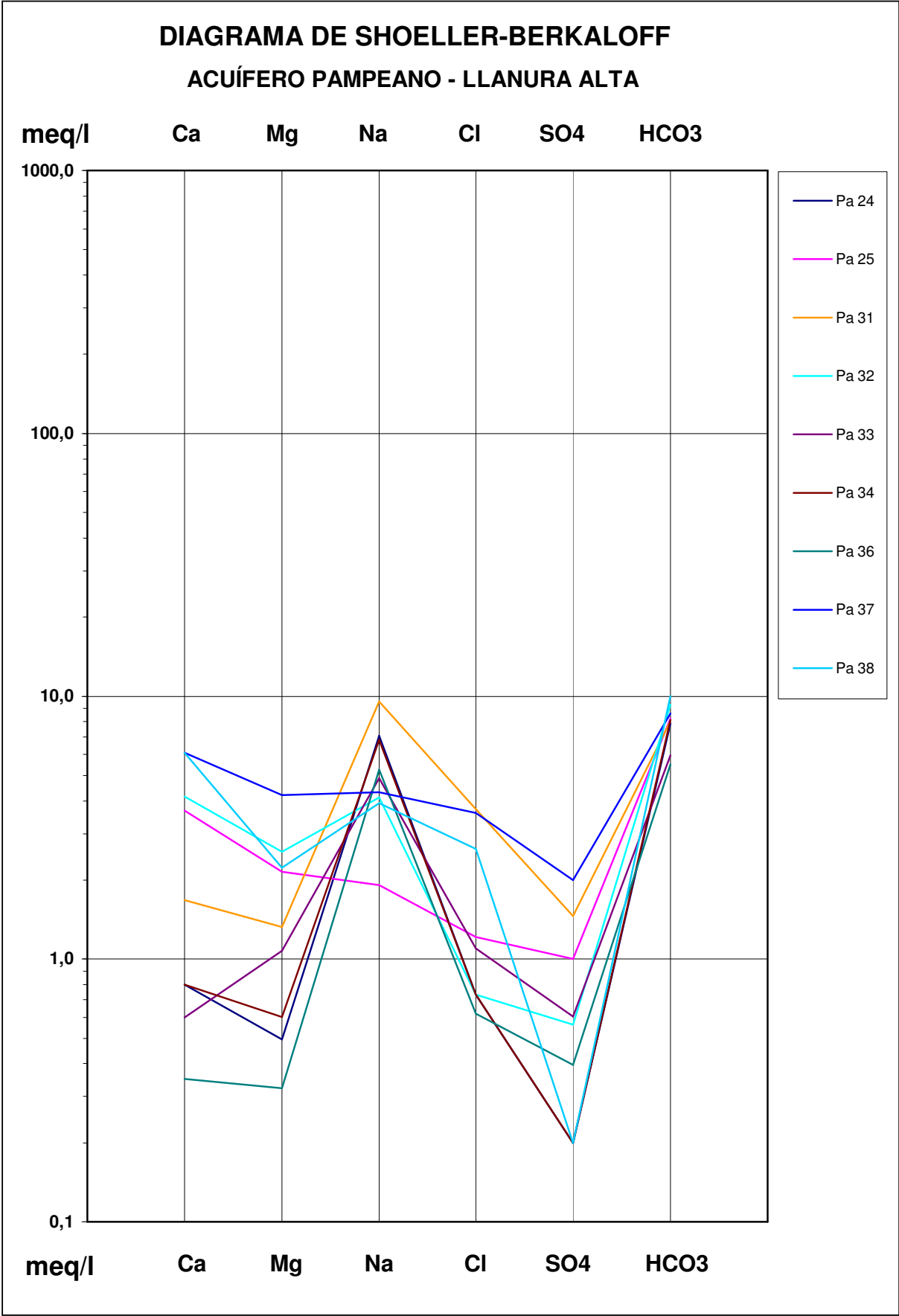


FIGURA 24

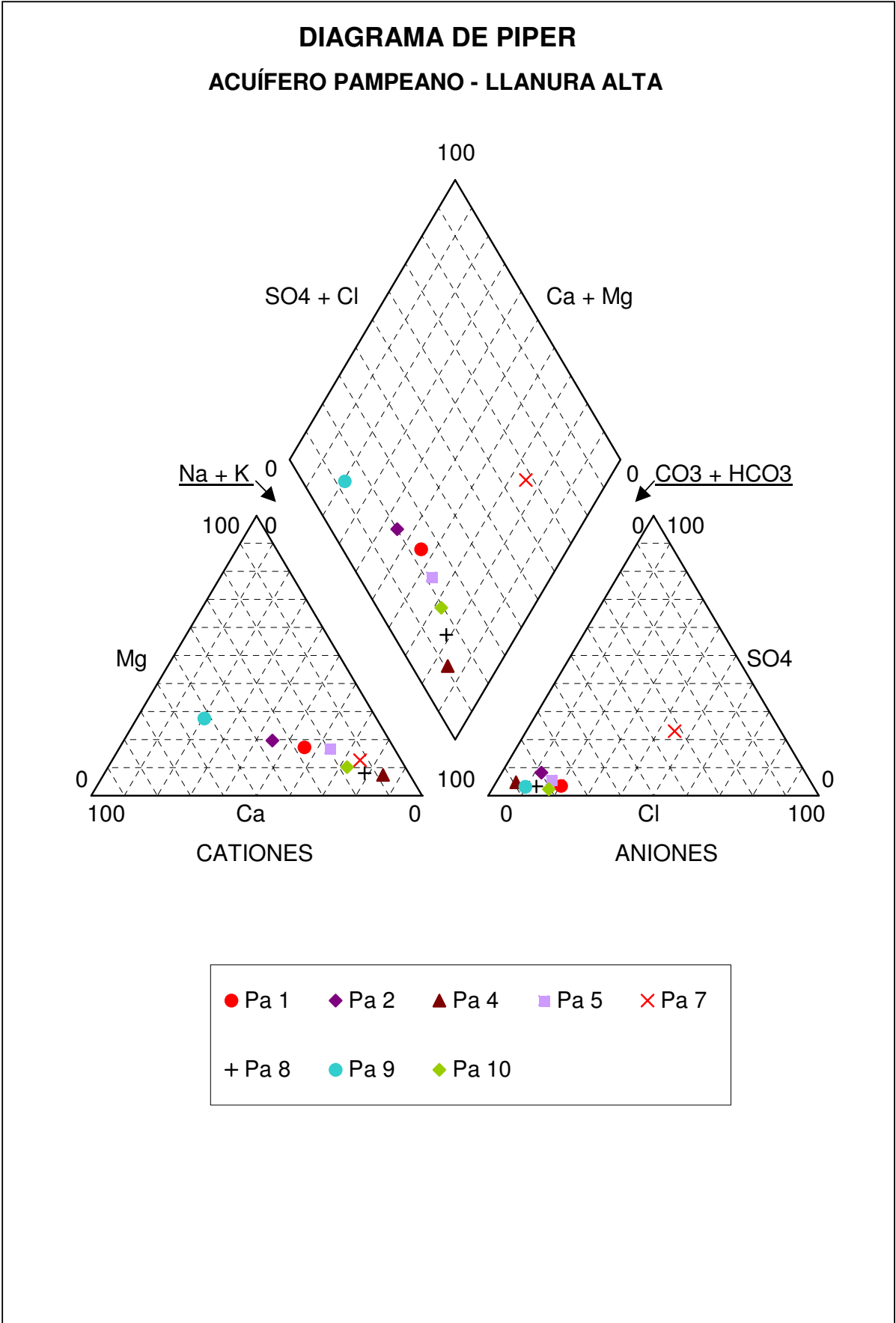


FIGURA 25

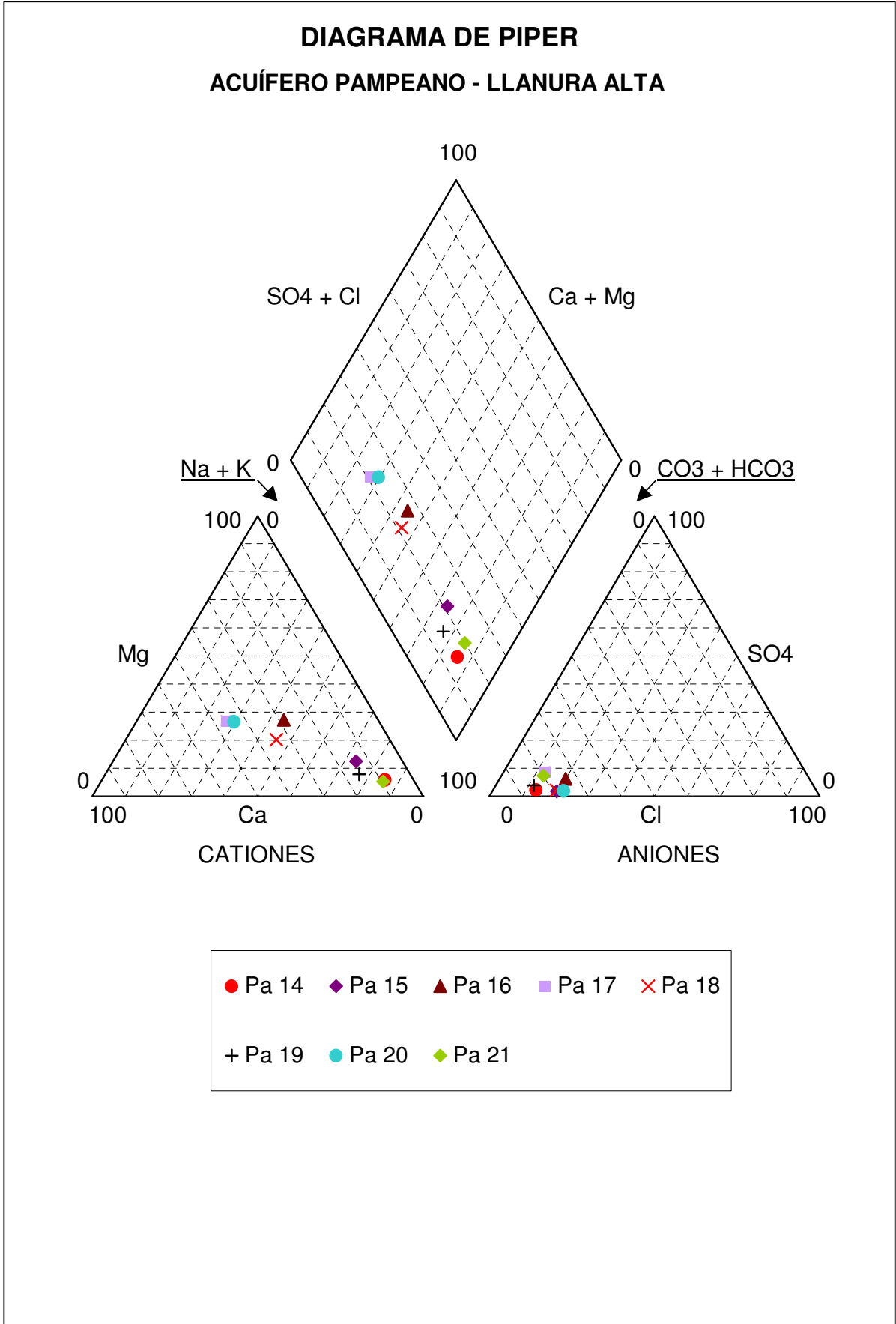


FIGURA 26

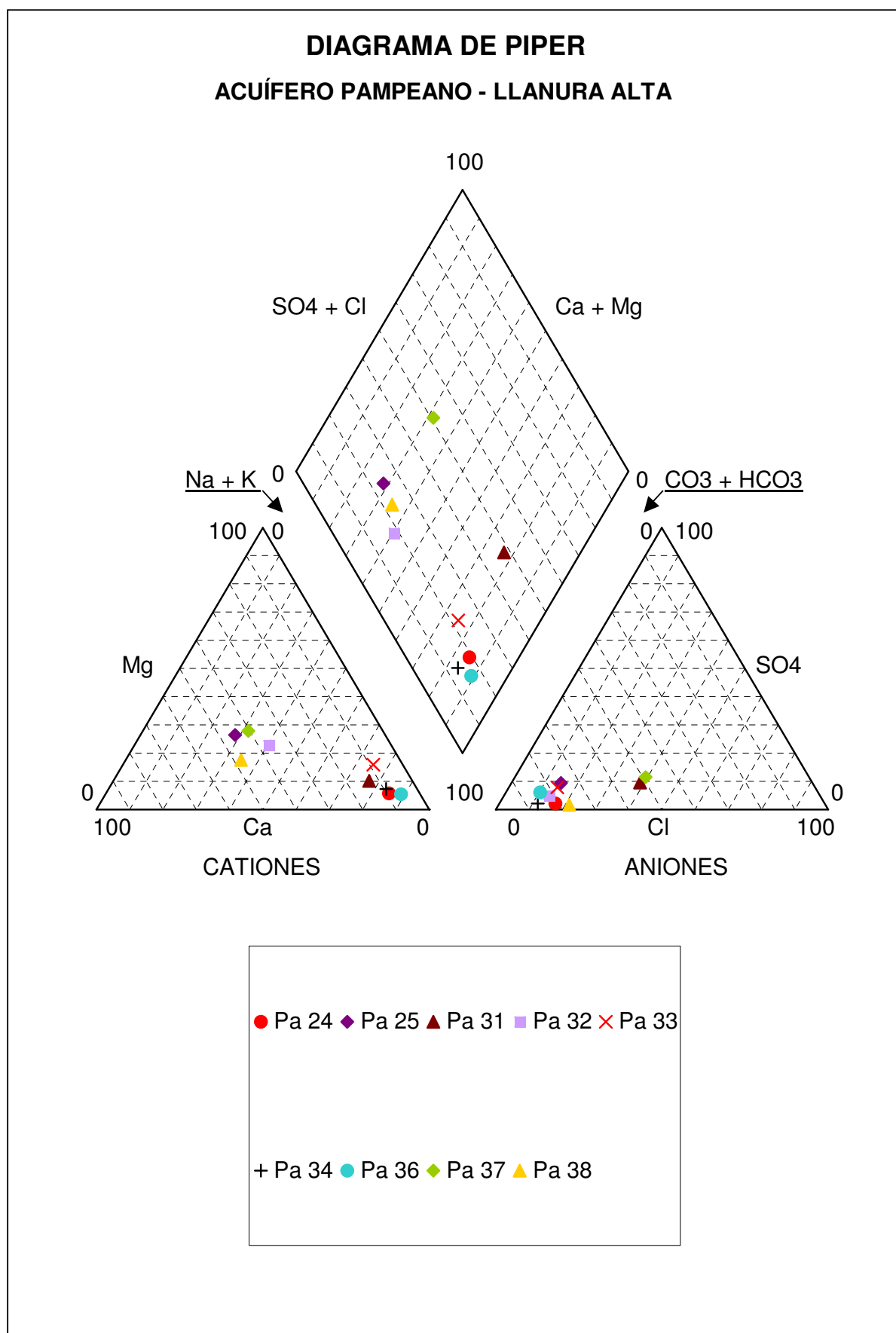


FIGURA 27



FIGURA 28

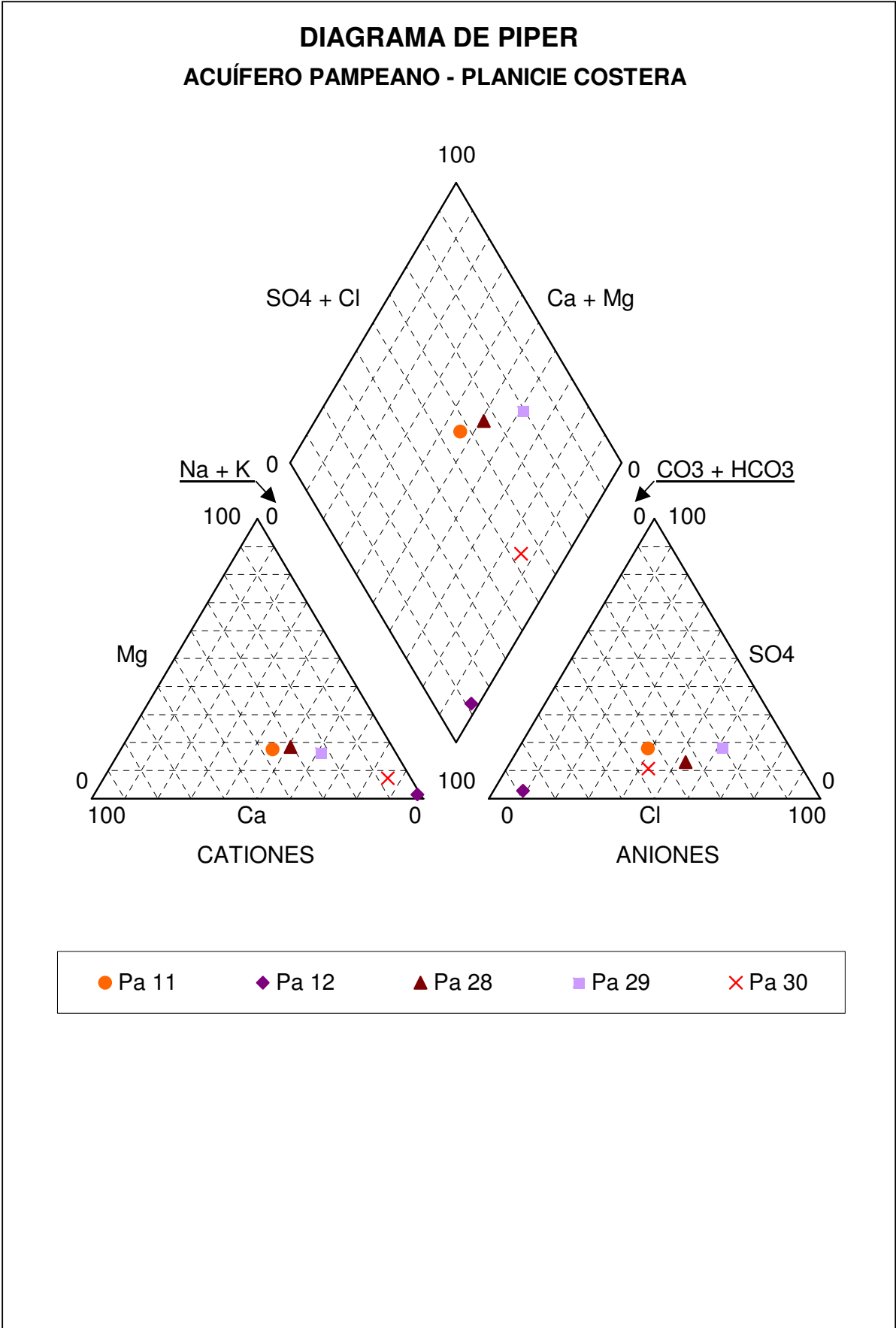


FIGURA 29

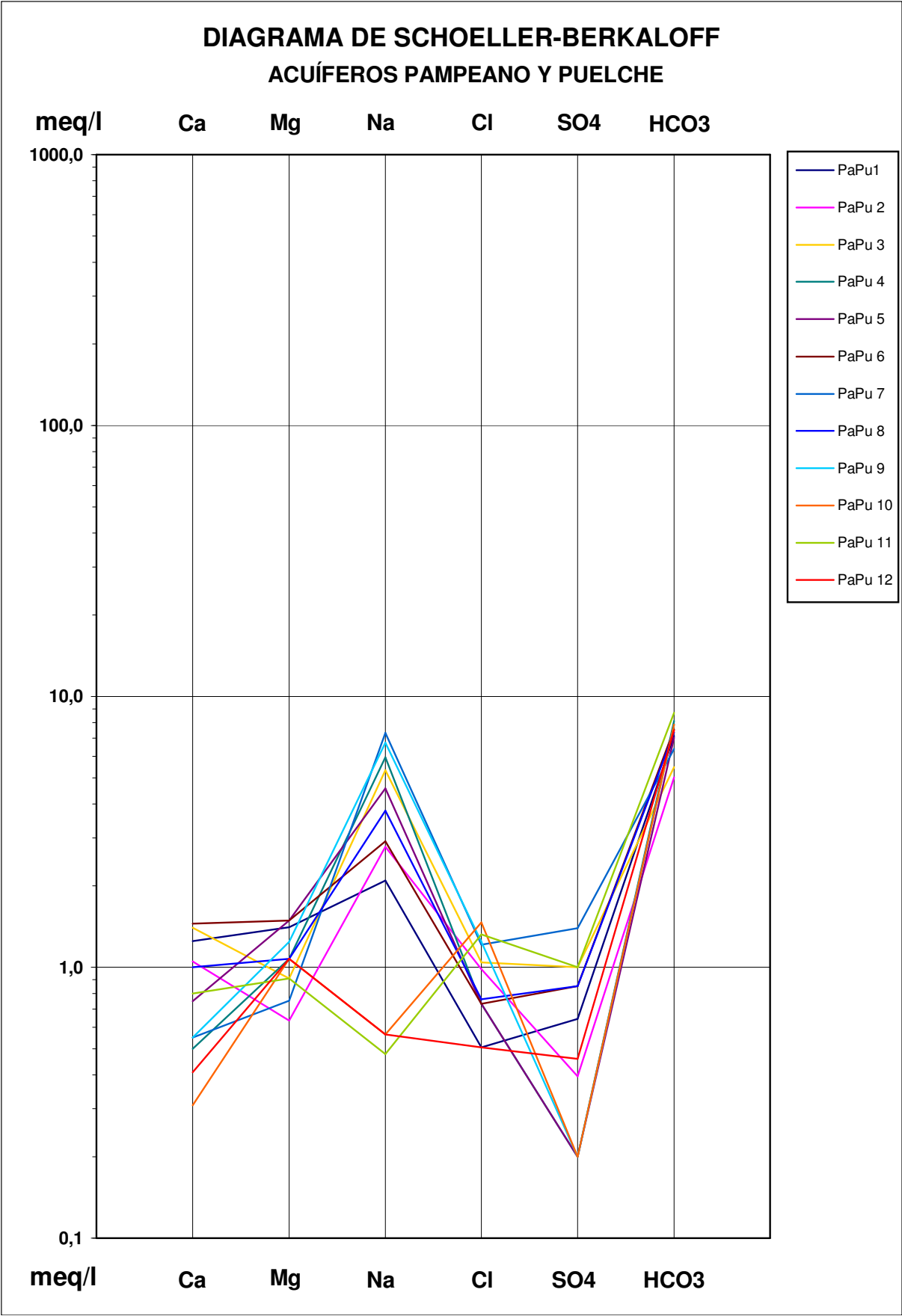


FIGURA 30

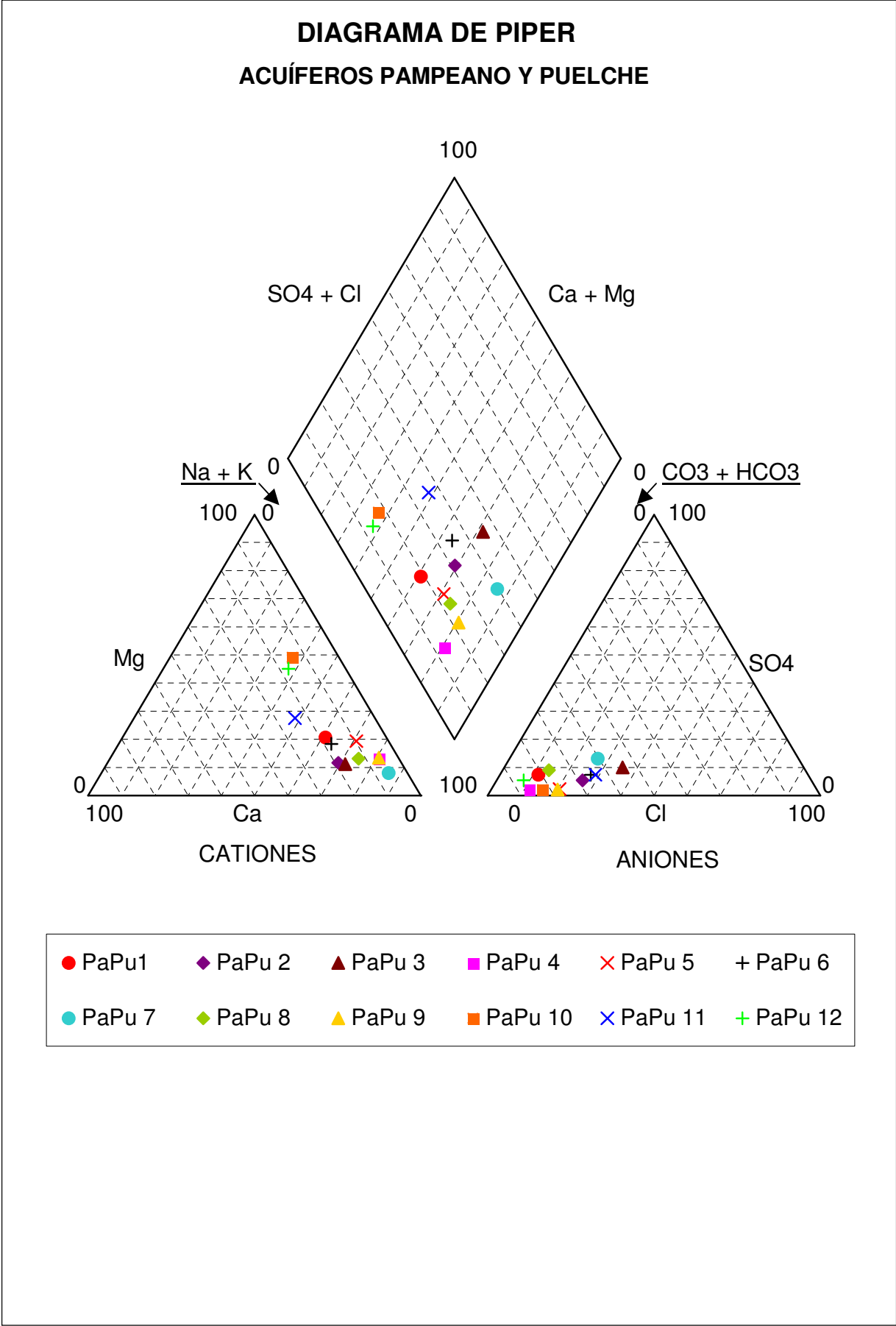
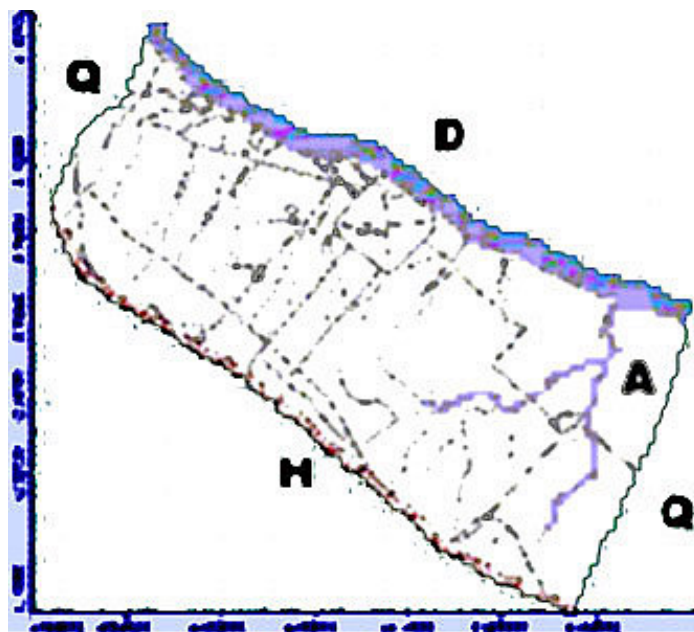


Figura 31

Área modelada e condições de contorno



Q – contorno de fluxo nulo

H – contorno de carga hidráulica conhecida

D – zona de descarga

A – Arroyo El Pescado

Figura 32

Topografia (exagero vertical 100 vezes)

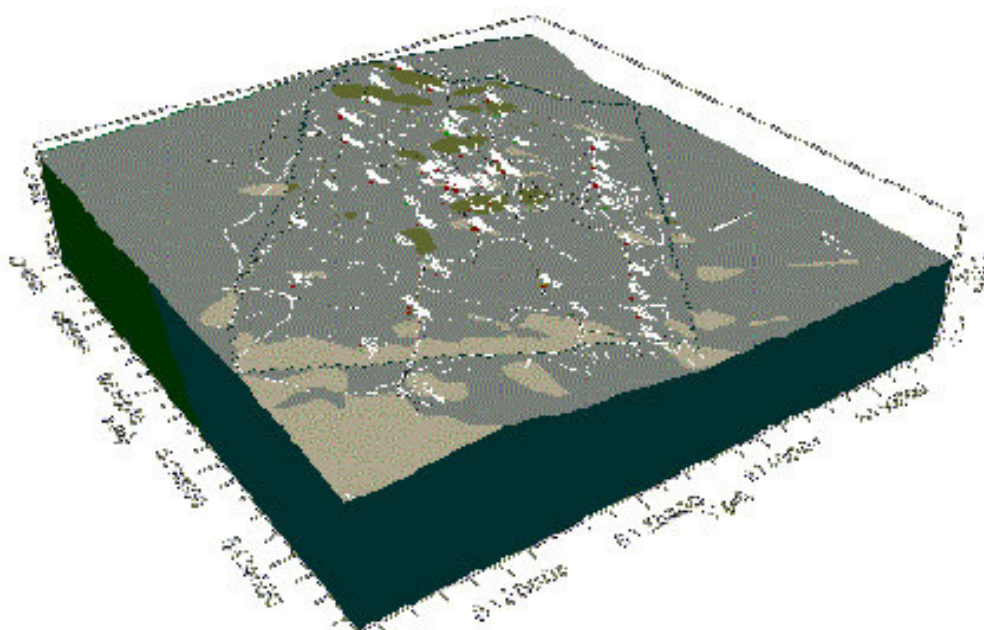
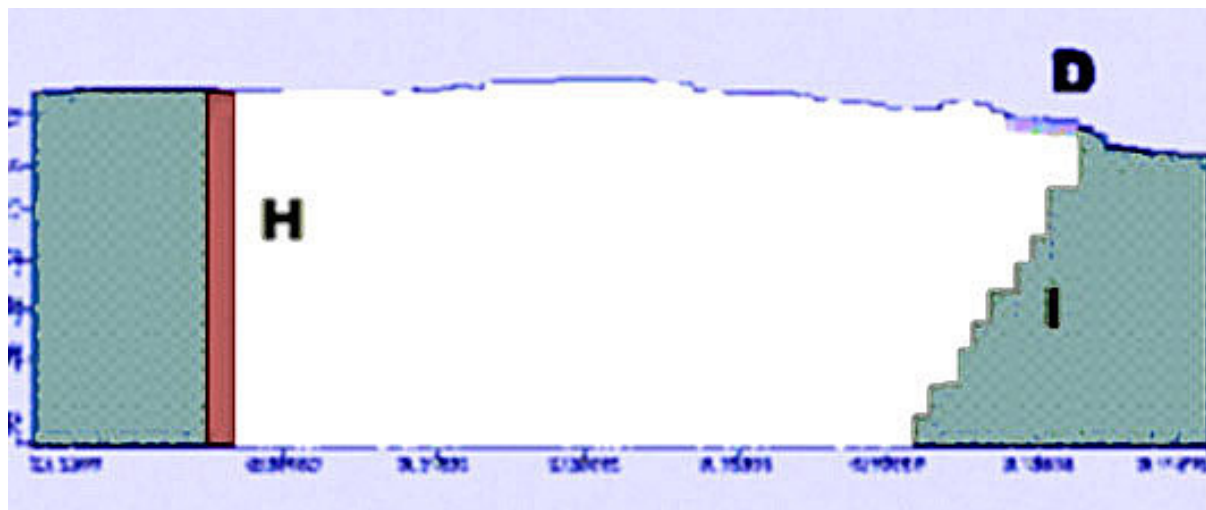


Figura 33

Interface água doce – salgada
(exagero vertical 100 vezes, seção x = 6.412.748 m)



H – contorno de carga hidráulica conhecida

D – zona de descarga

I – interface água doce – salgada

Figura 34

Distribuição das condutividades hidráulicas
(exagero vertical 100 vezes, seção x = 6.412.748 m)

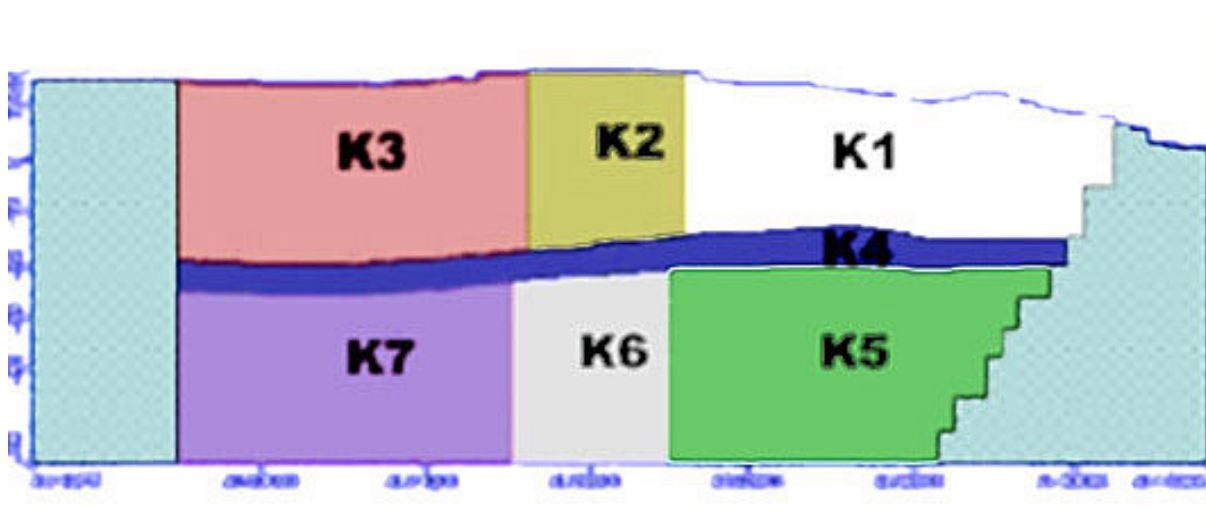


Figura 35

Zonas de recarga

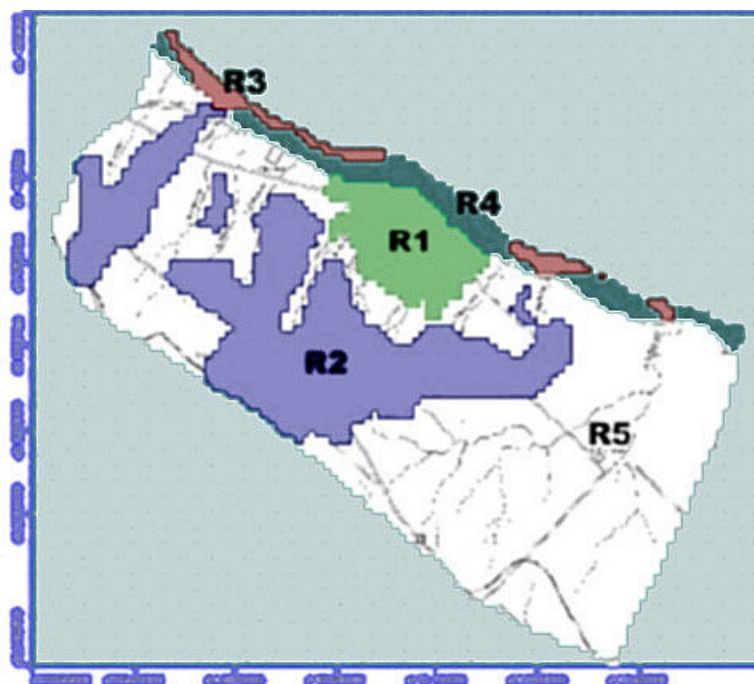


Figura 36

Comparação entre cargas HIDRÁULICAS
calculadas e MEDIDAS em campo

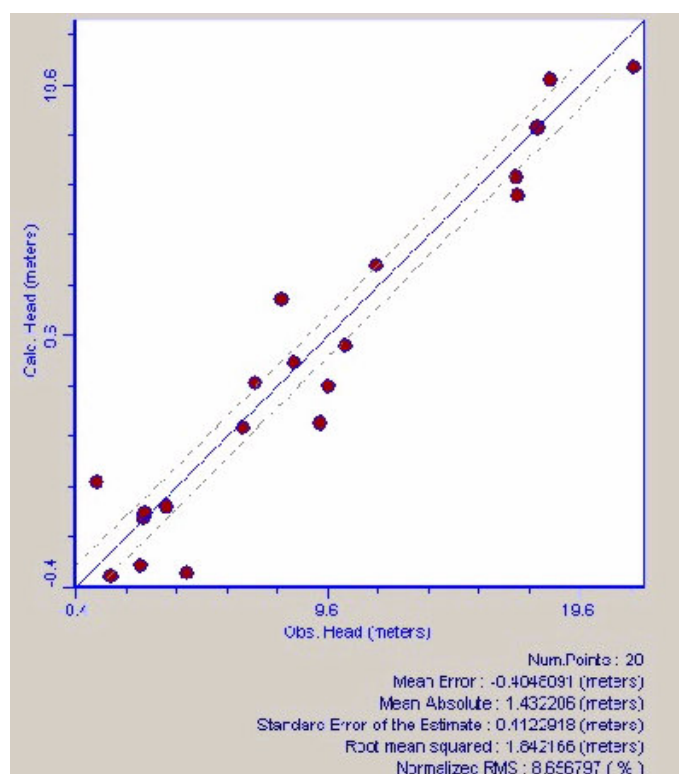


Figura 37

**Mapa Potenciométrico na cota $z = -11,5$ metros aquífero pampeano
(isolinhas em metros)**

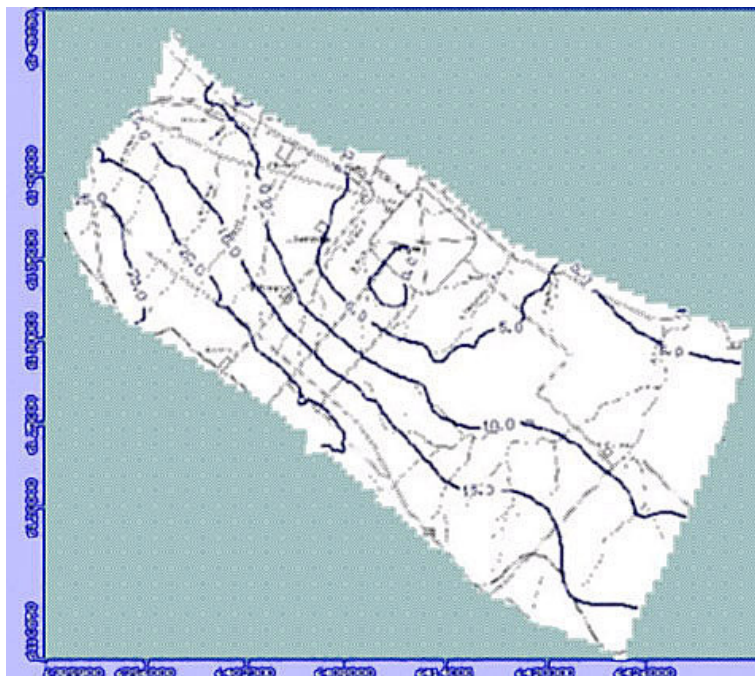


Figura 38

**Mapa Potenciométrico na cota $z = -41,0$ metros aquífero puelche
(isolinhas em metros)**

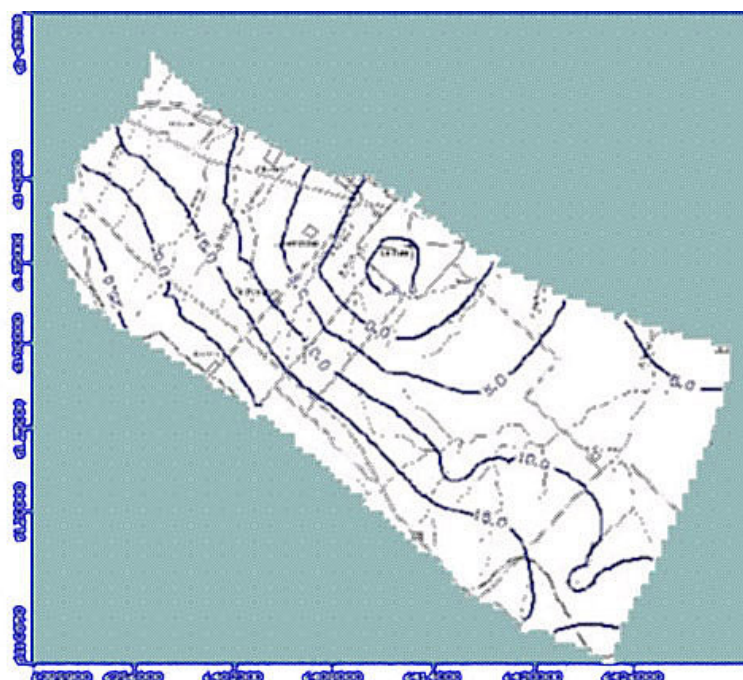


Figura 39

Mapa Potenciométrico
(seção x = 6.411.513 m exaço vertical 100 vezes, isolinhas em metros)

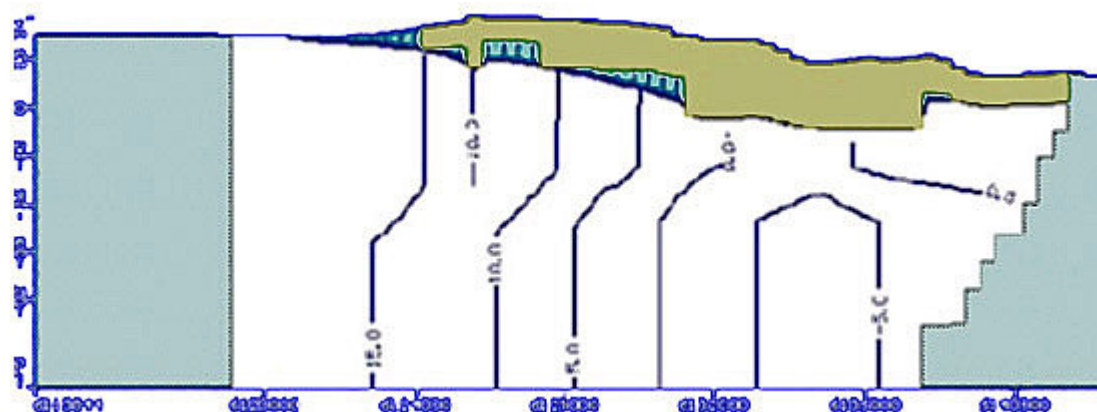


Figura 40

Localização da fonte de contaminação F

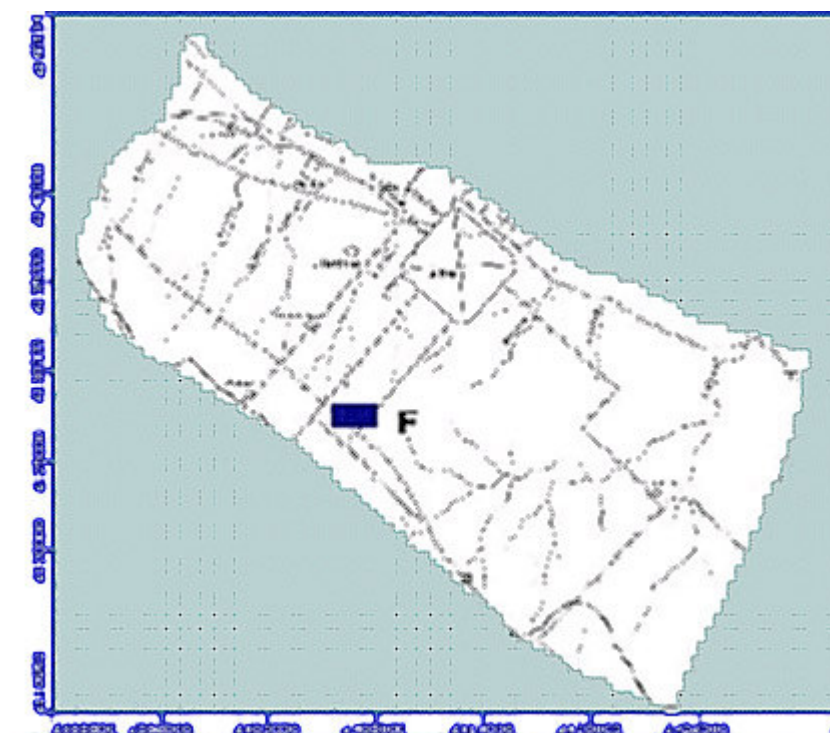


Figura 41

**Pluma de contaminação no cenário i, para 10.000 anos
após o início da atividade da fonte f
(seção x=6.406.161 m exagero vertical 100 vezes, isolinhas em MG/L)**

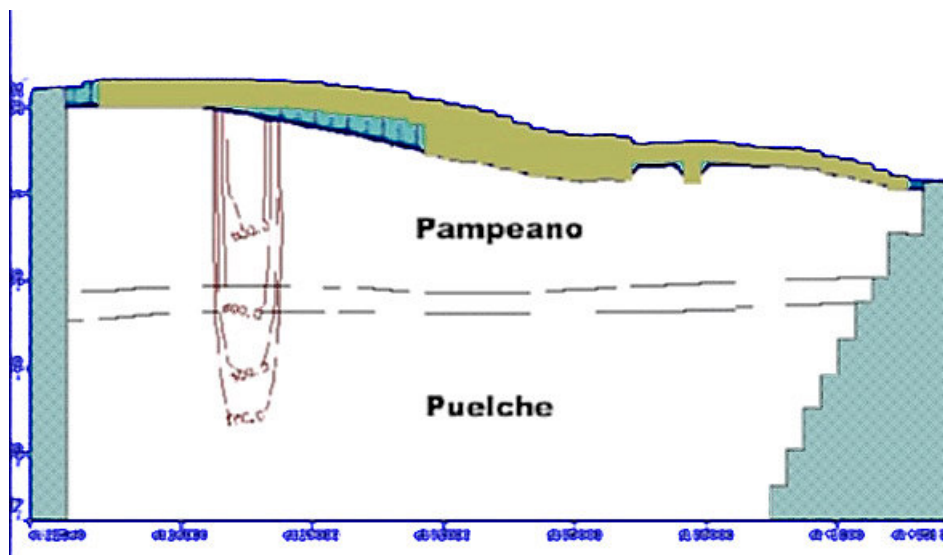
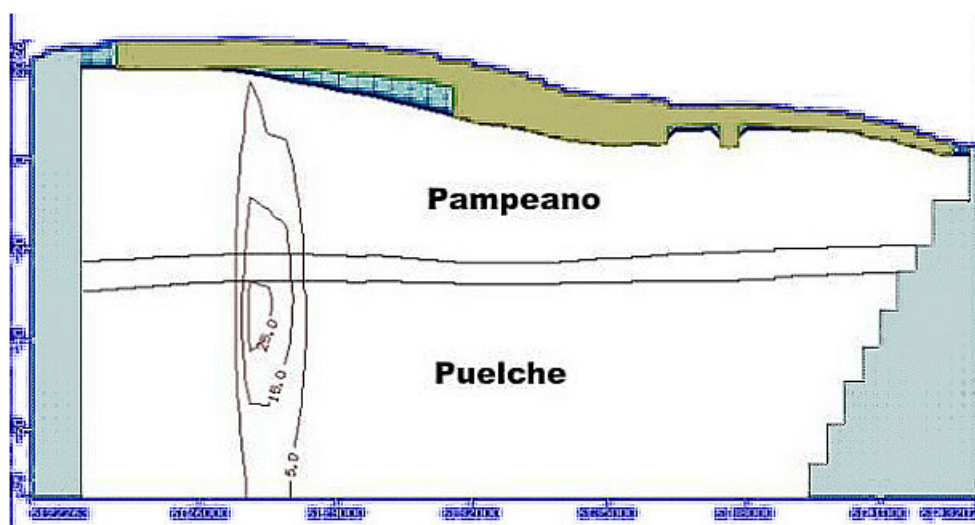


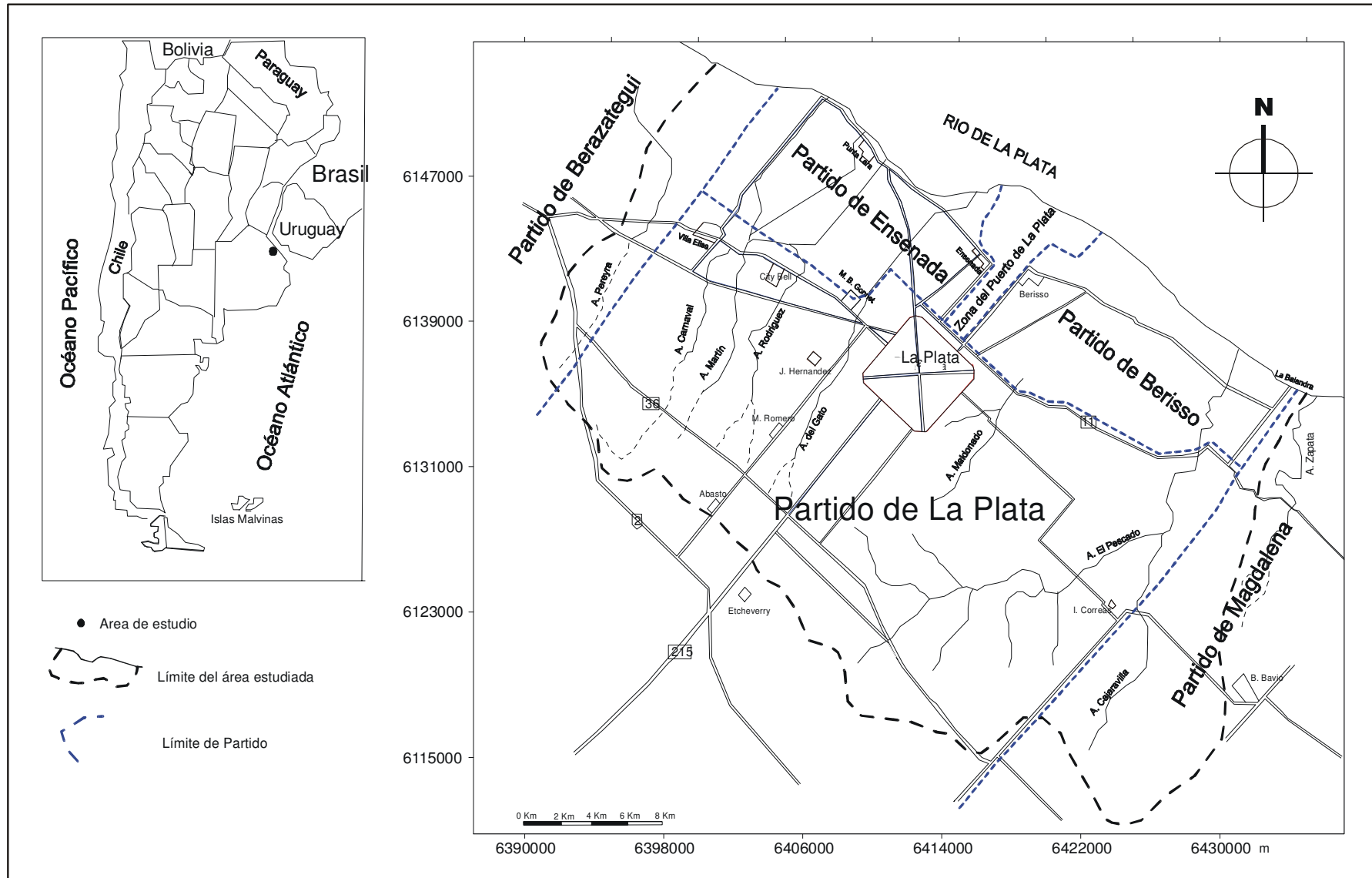
Figura 42

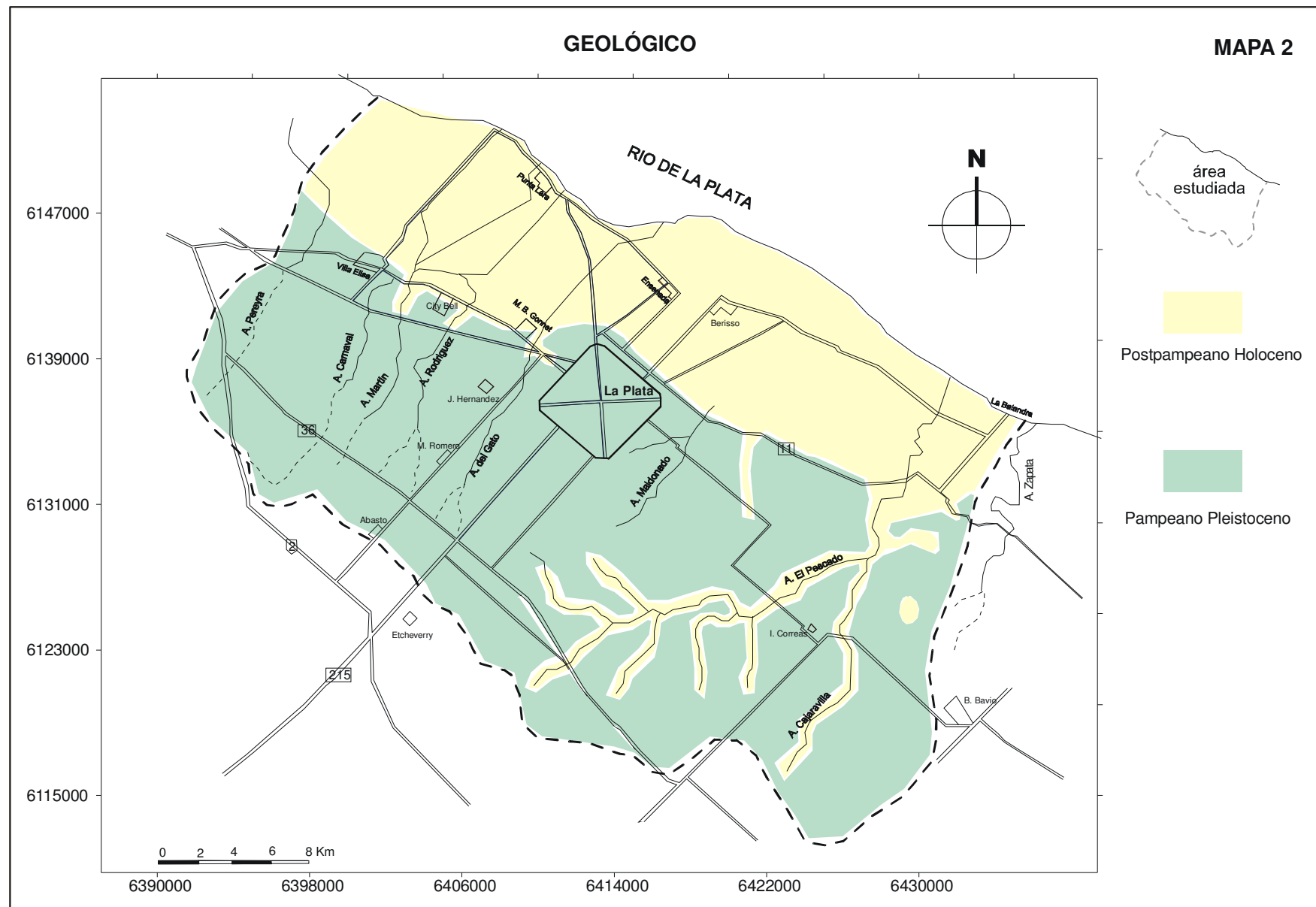
**Pluma de contaminação no cenário li, para 10.000 anos
após o início da atividade da fonte f
(seção x=6.406.161 m exagero vertical 100 vezes, isolinhas em mg/L)**



UBICACIÓN GEOGRÁFICA

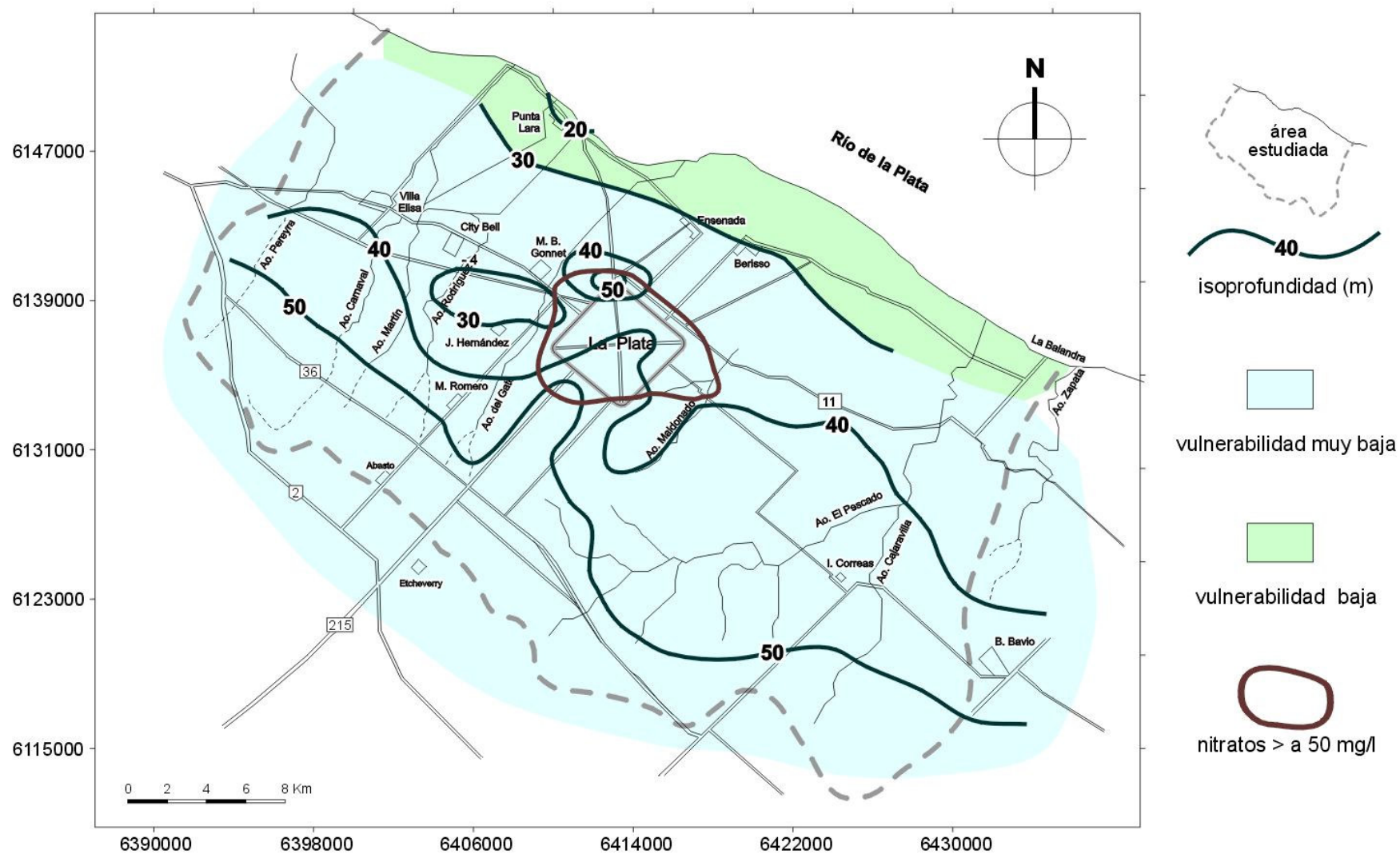
MAPA 1





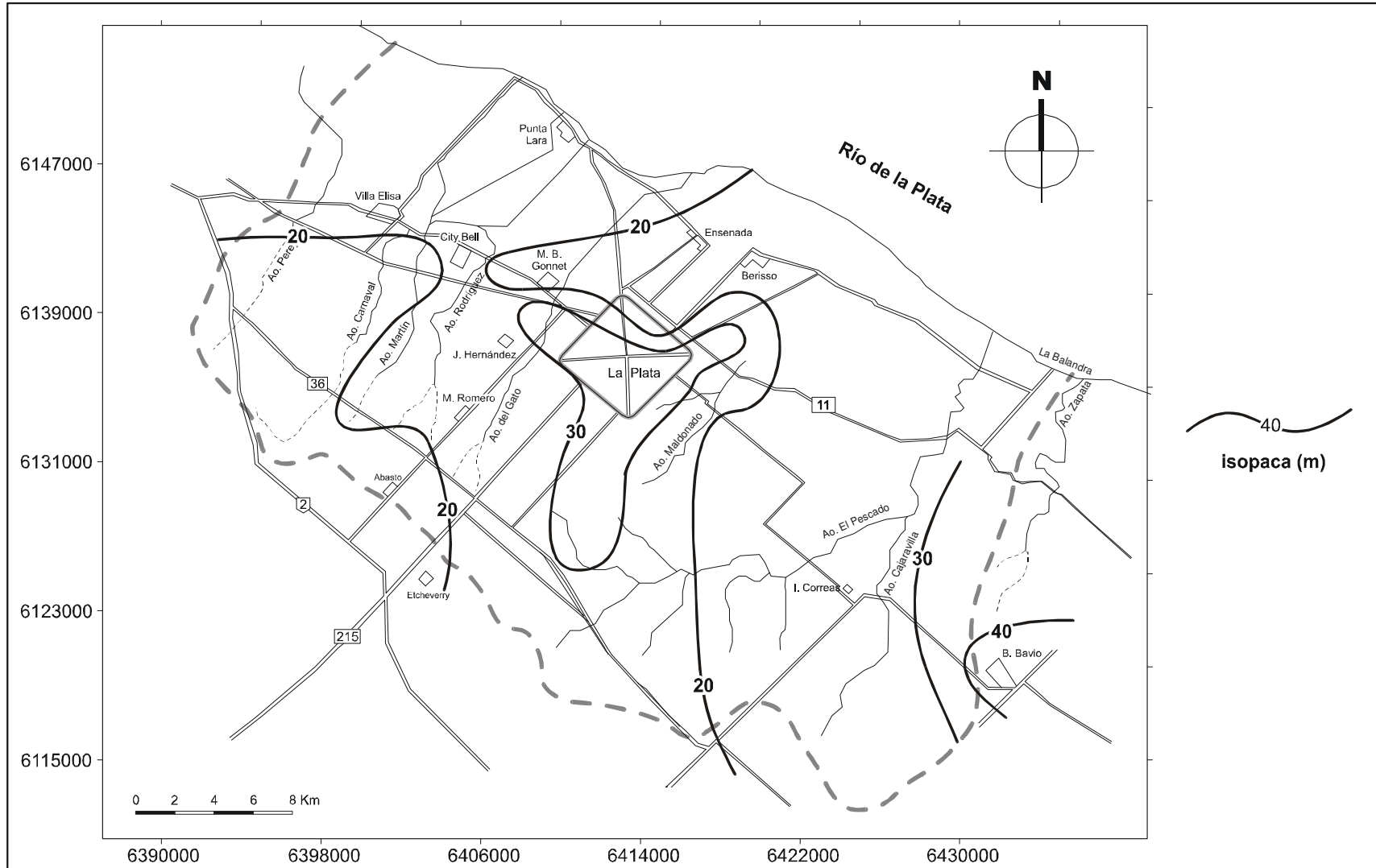
ACUÍFERO PUELCHÉ PROFUNDIDAD DEL TECHO

MAPA 3



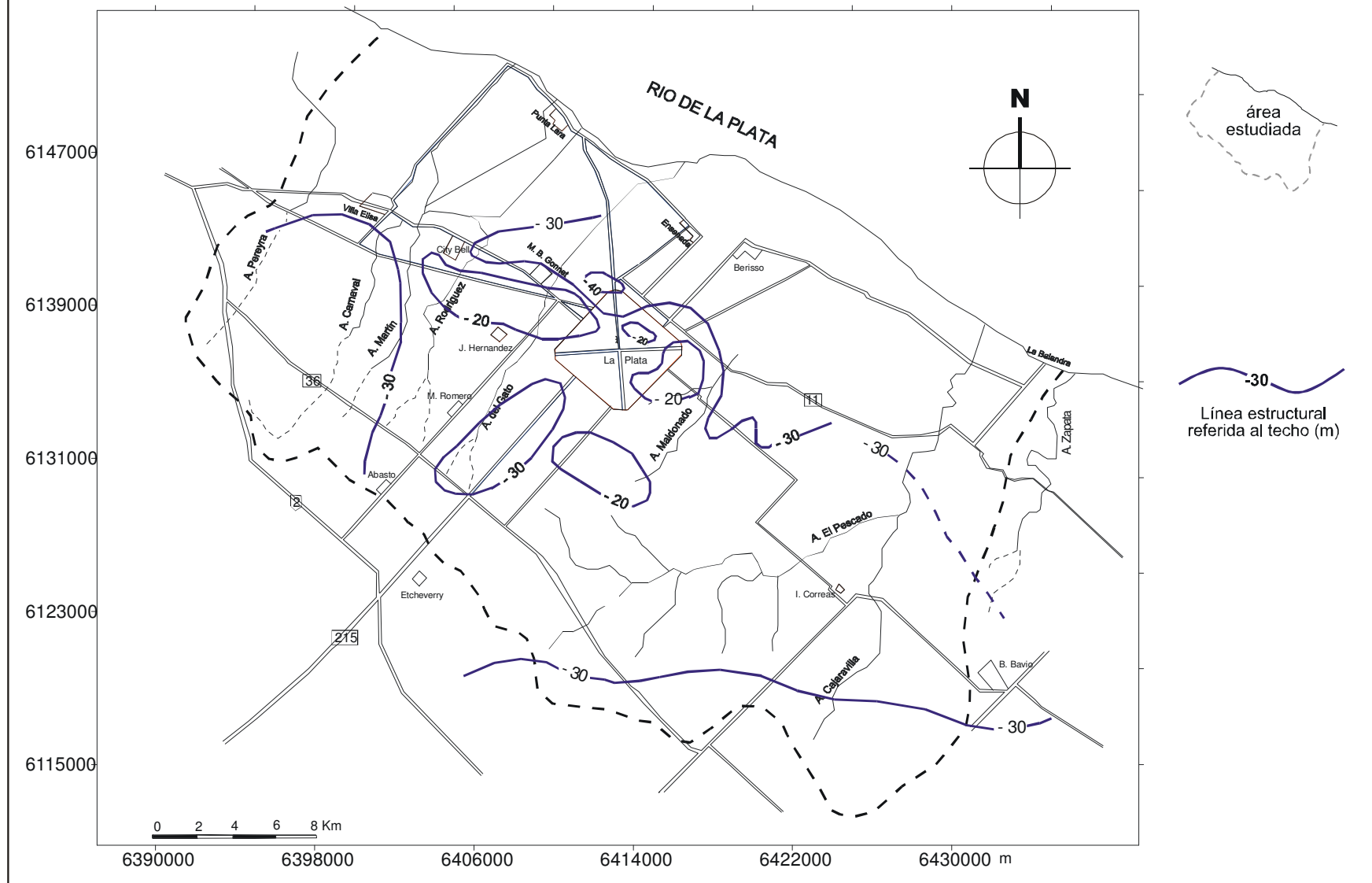
ACUIFERO PUELCHÉ ESPESOR

MAPA 4



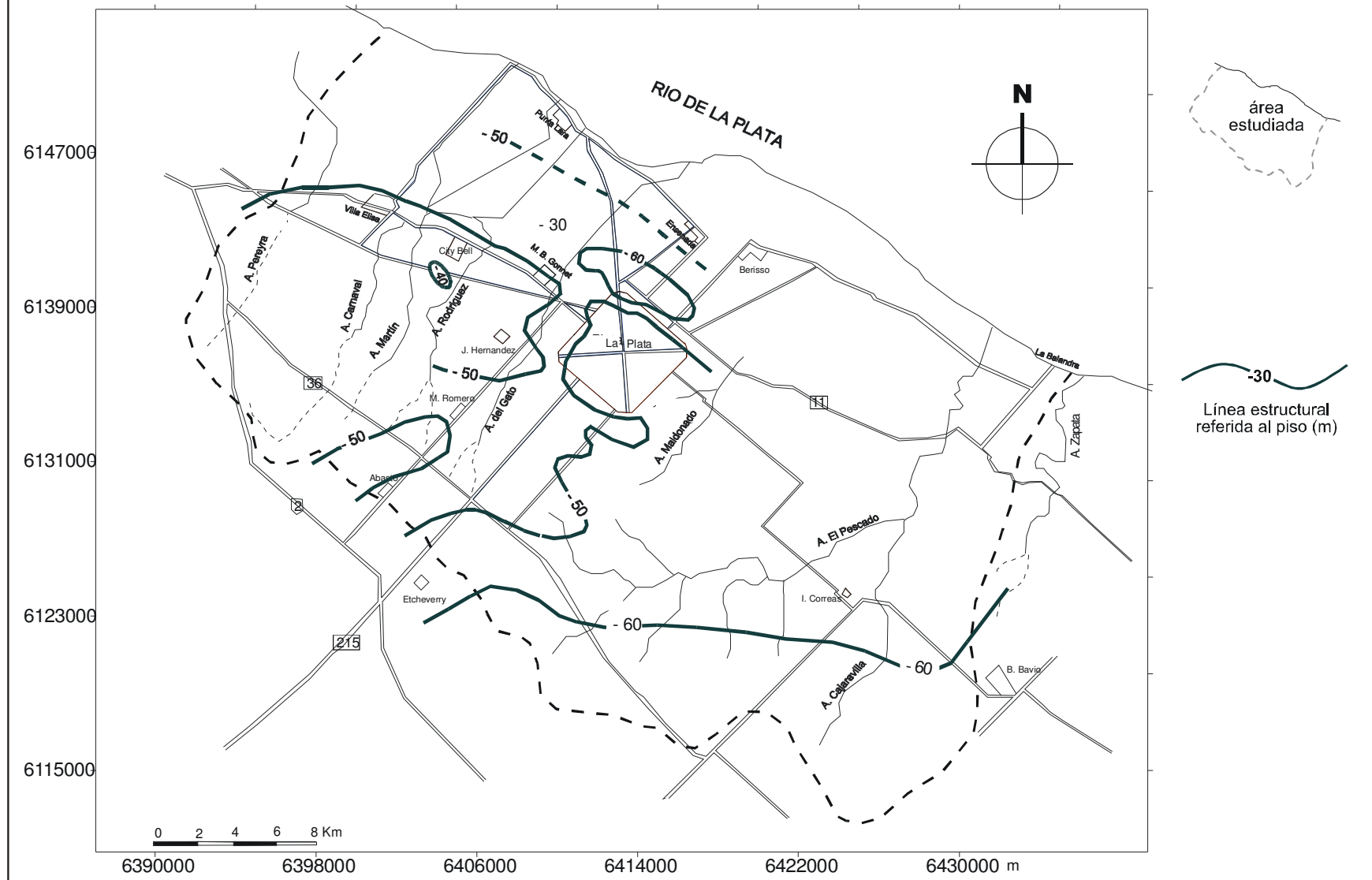
ACUIFERO PUELCHÉ ESTRUCTURAL DEL TECHO

MAPA 5



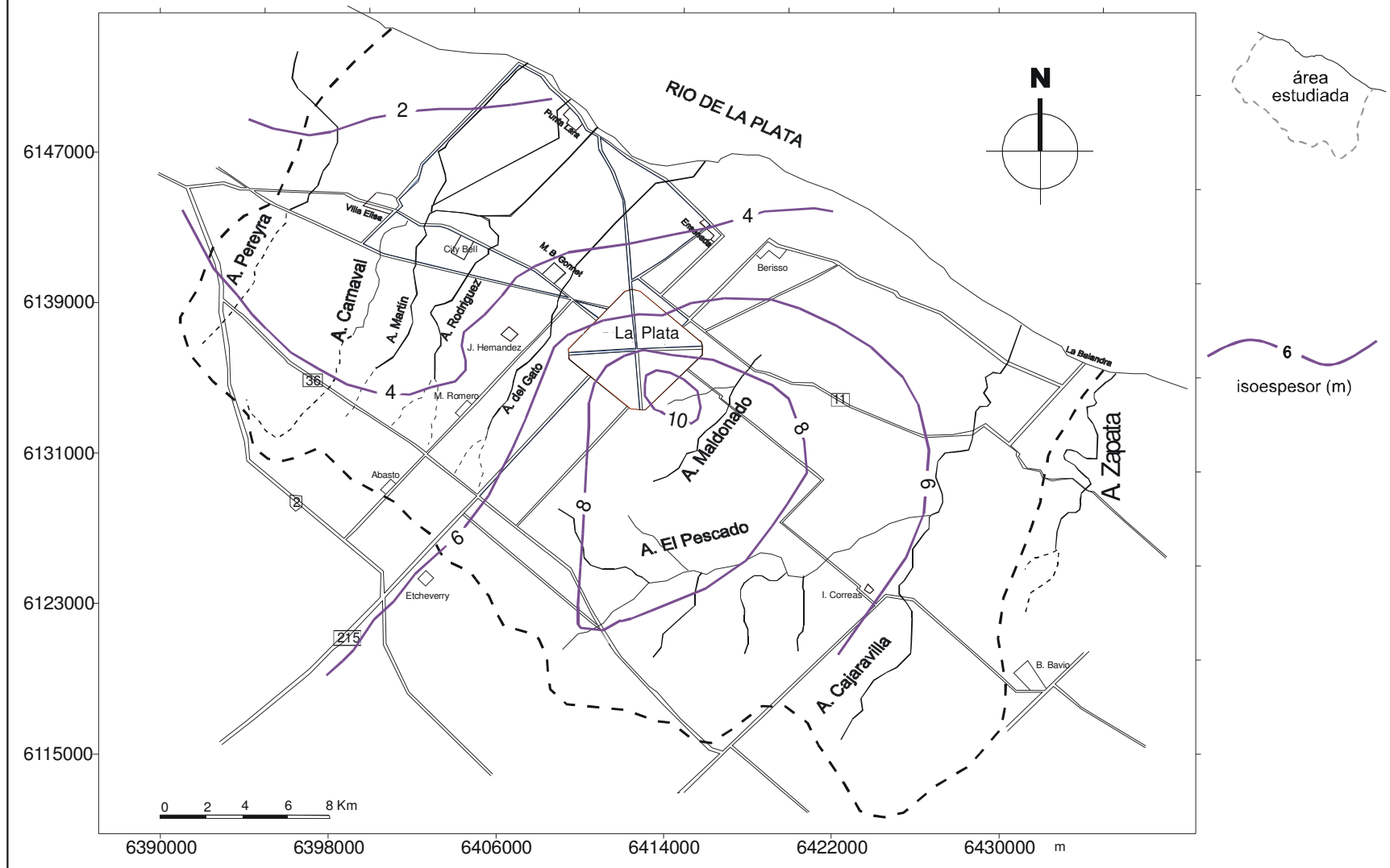
ACUIFERO PUELCHE ESTRUCTURAL DEL PISO

MAPA 6



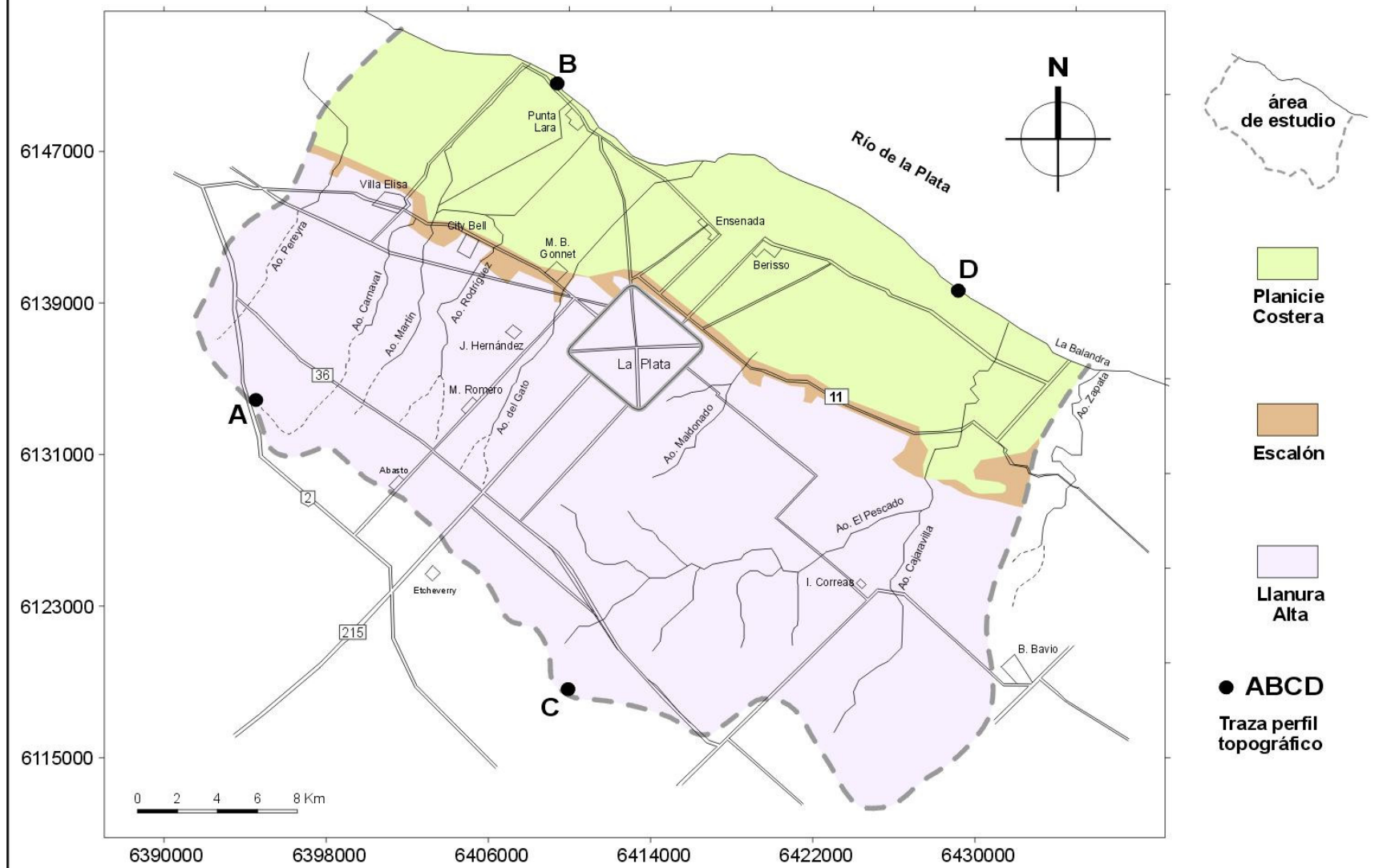
ESPESOR DEL ACUITARDO

MAPA 7



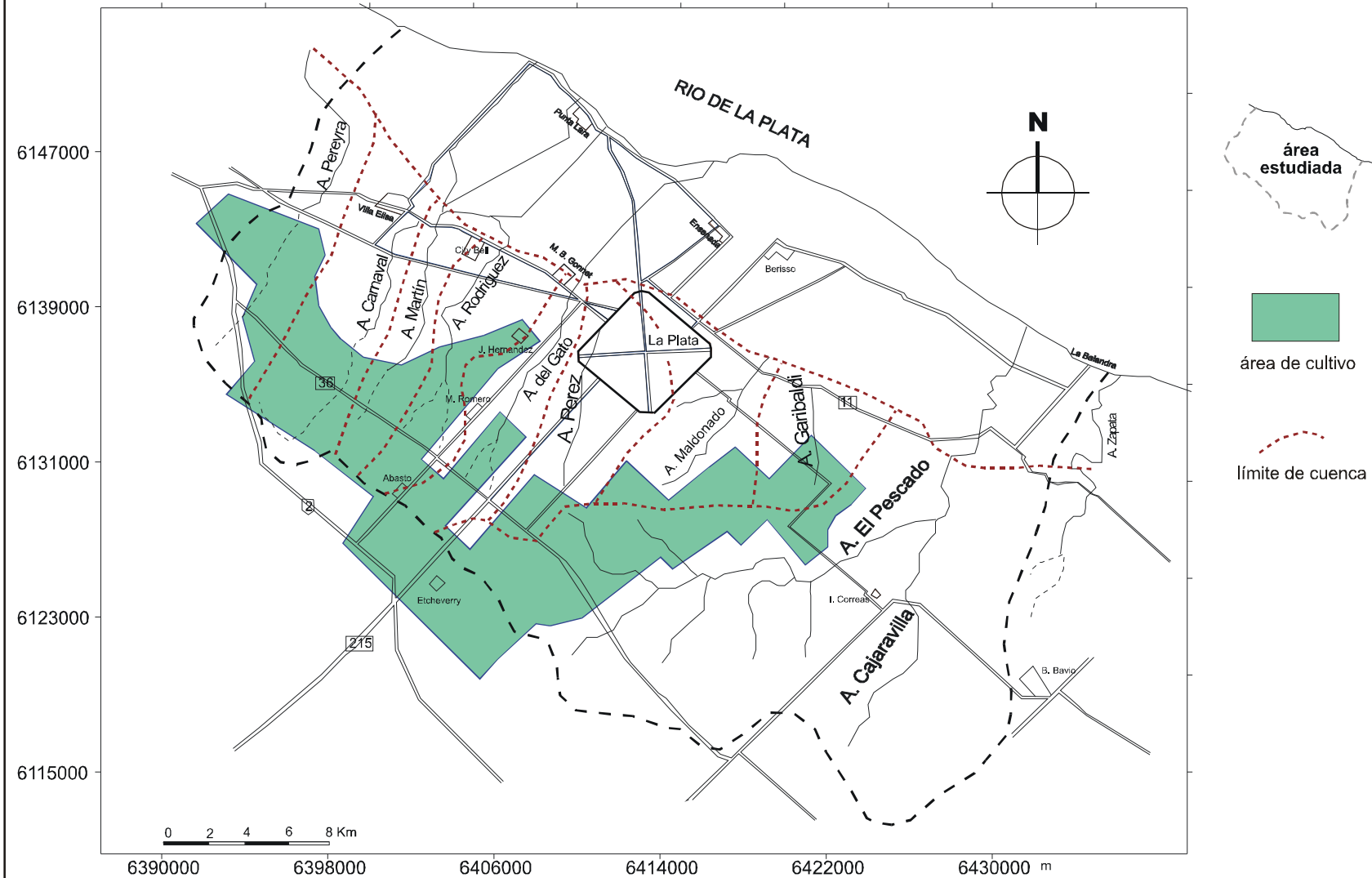
GEOMORFOLOGICO

MAPA 8



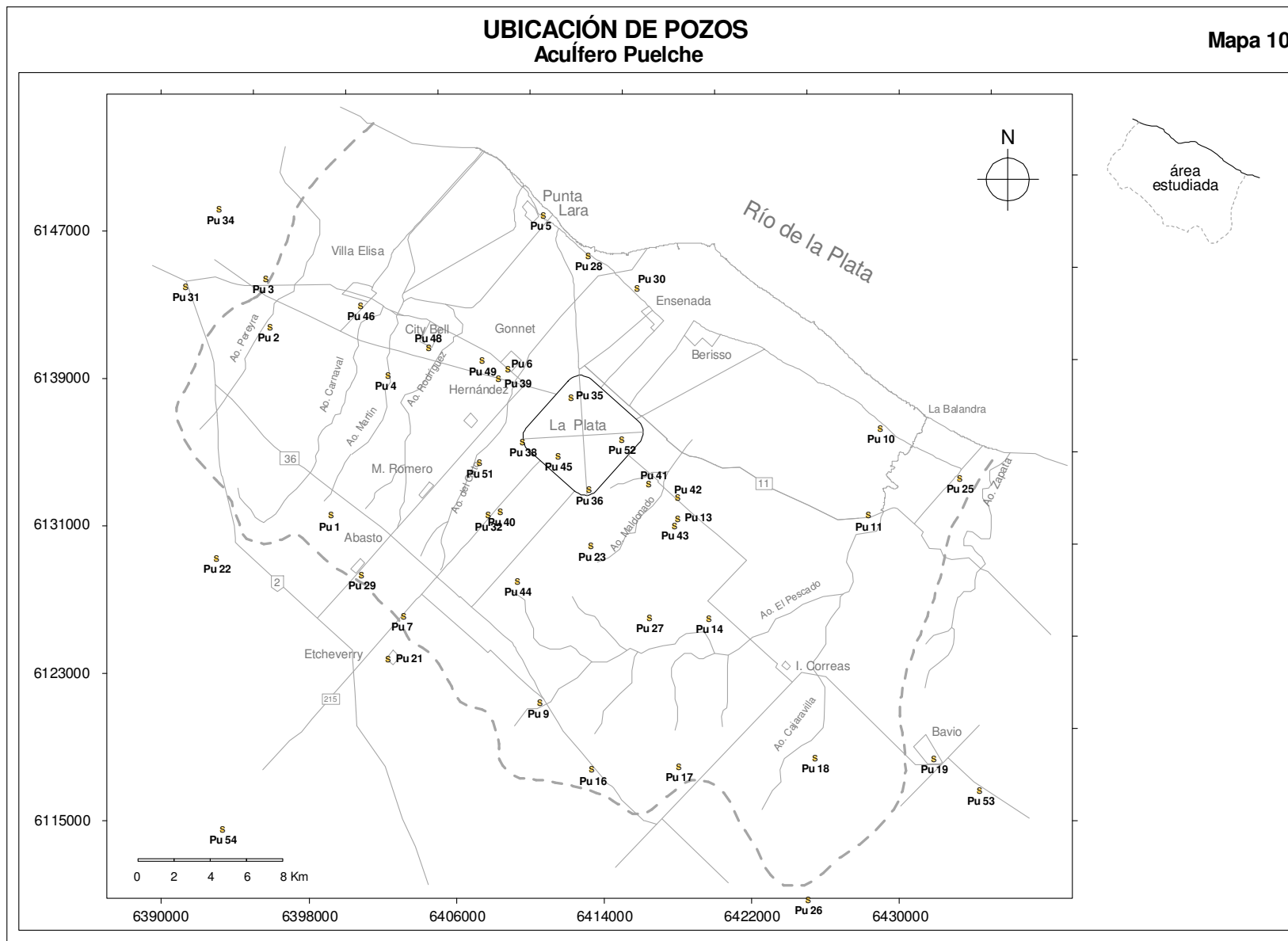
CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y ÁREA CULTIVADA

MAPA 9



UBICACIÓN DE POZOS Acuífero Puelche

Mapa 10

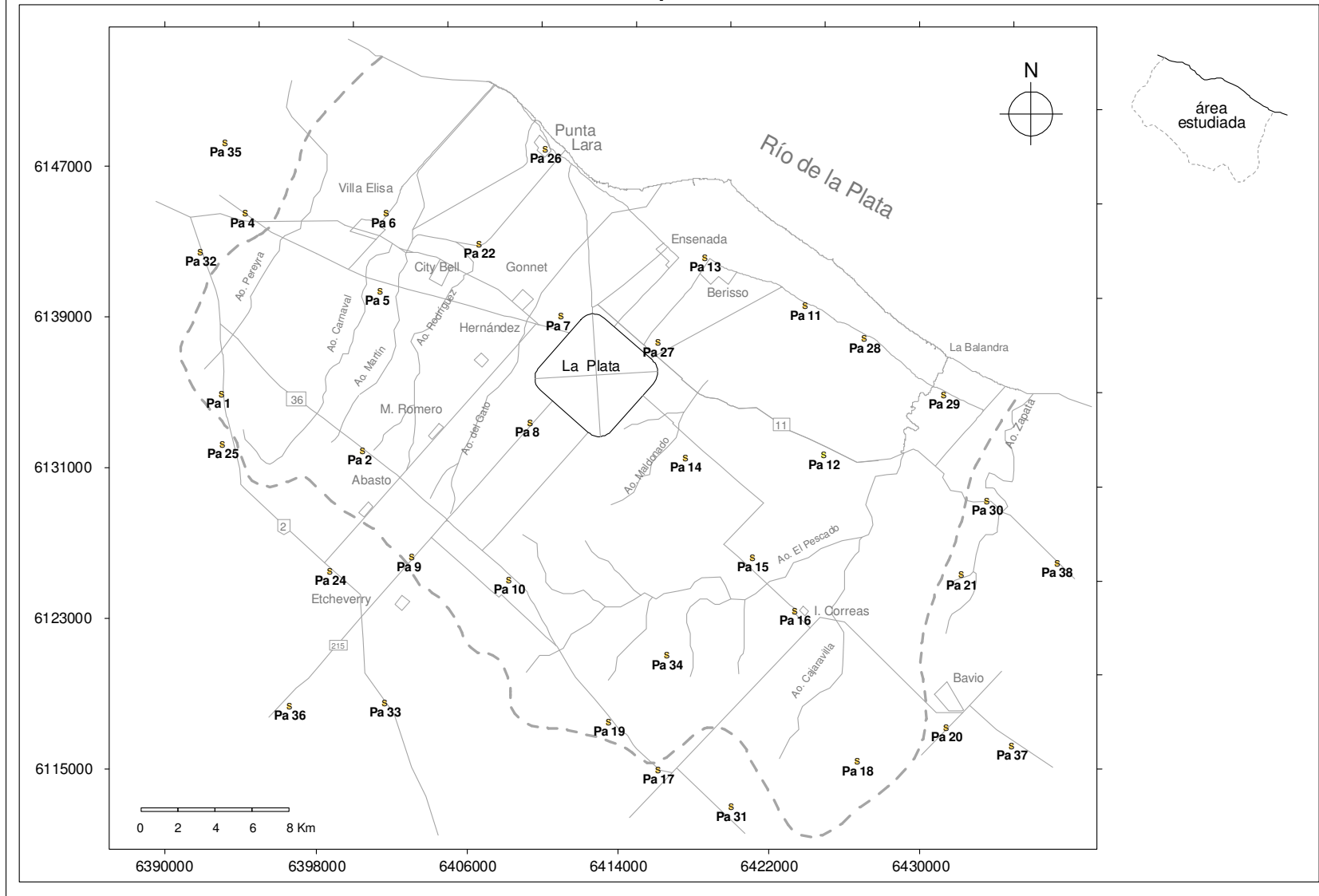


Mapa 11



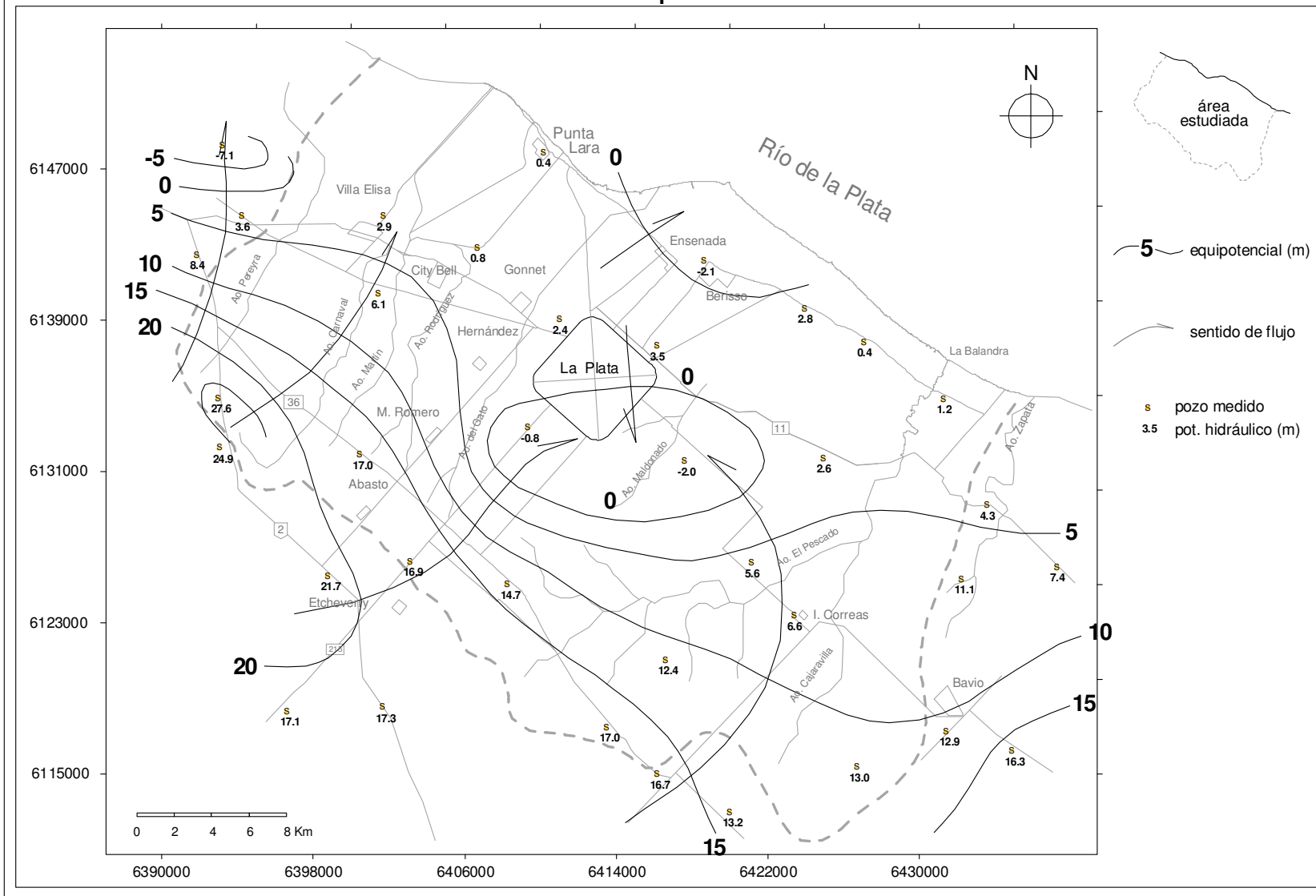
UBICACIÓN DE POZOS Acuífero Pampeano

Mapa 12



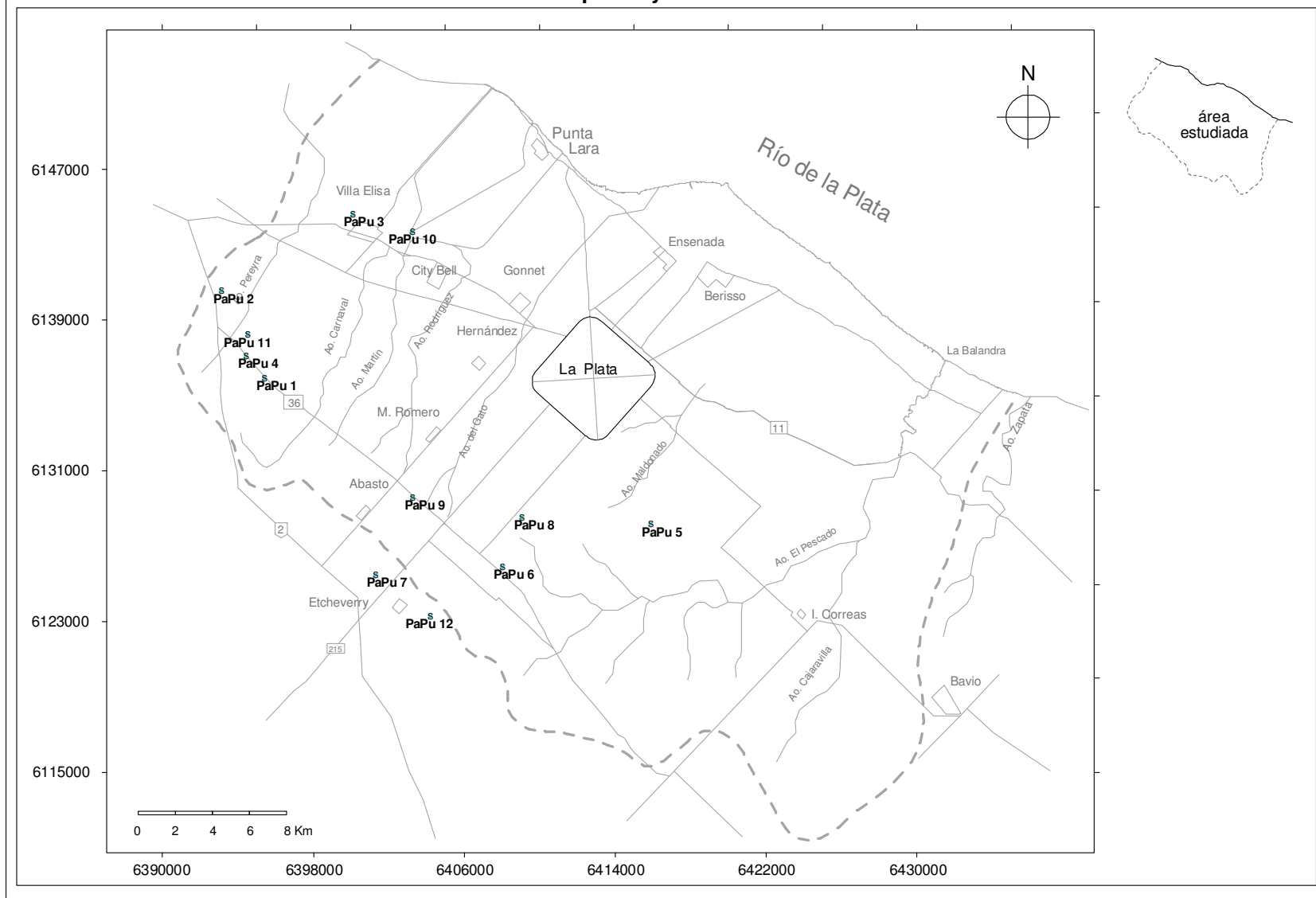
RED DE FLUJO **Acuífero Pampeano**

Mapa 13



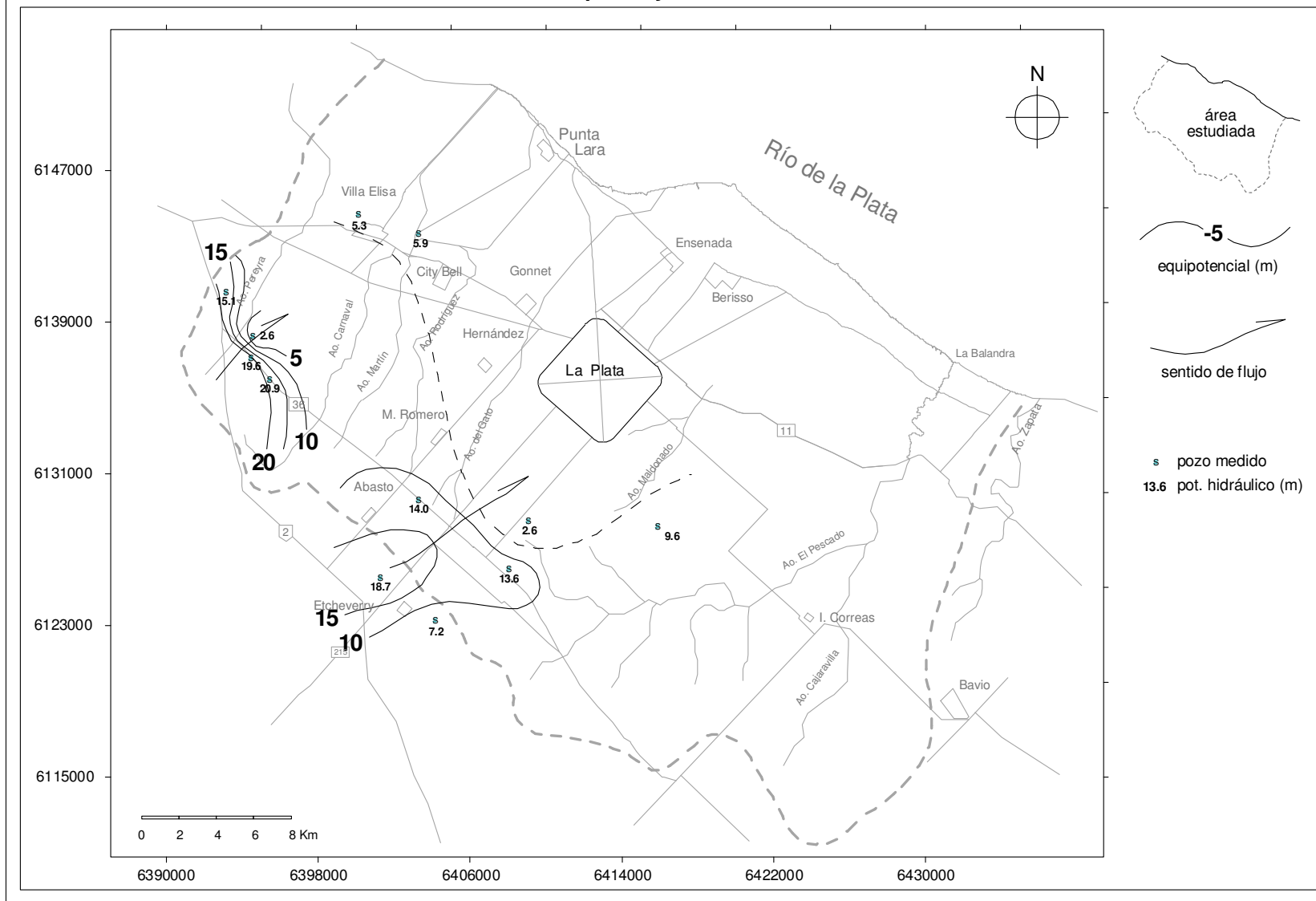
UBICACIÓN DE POZOS **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 14



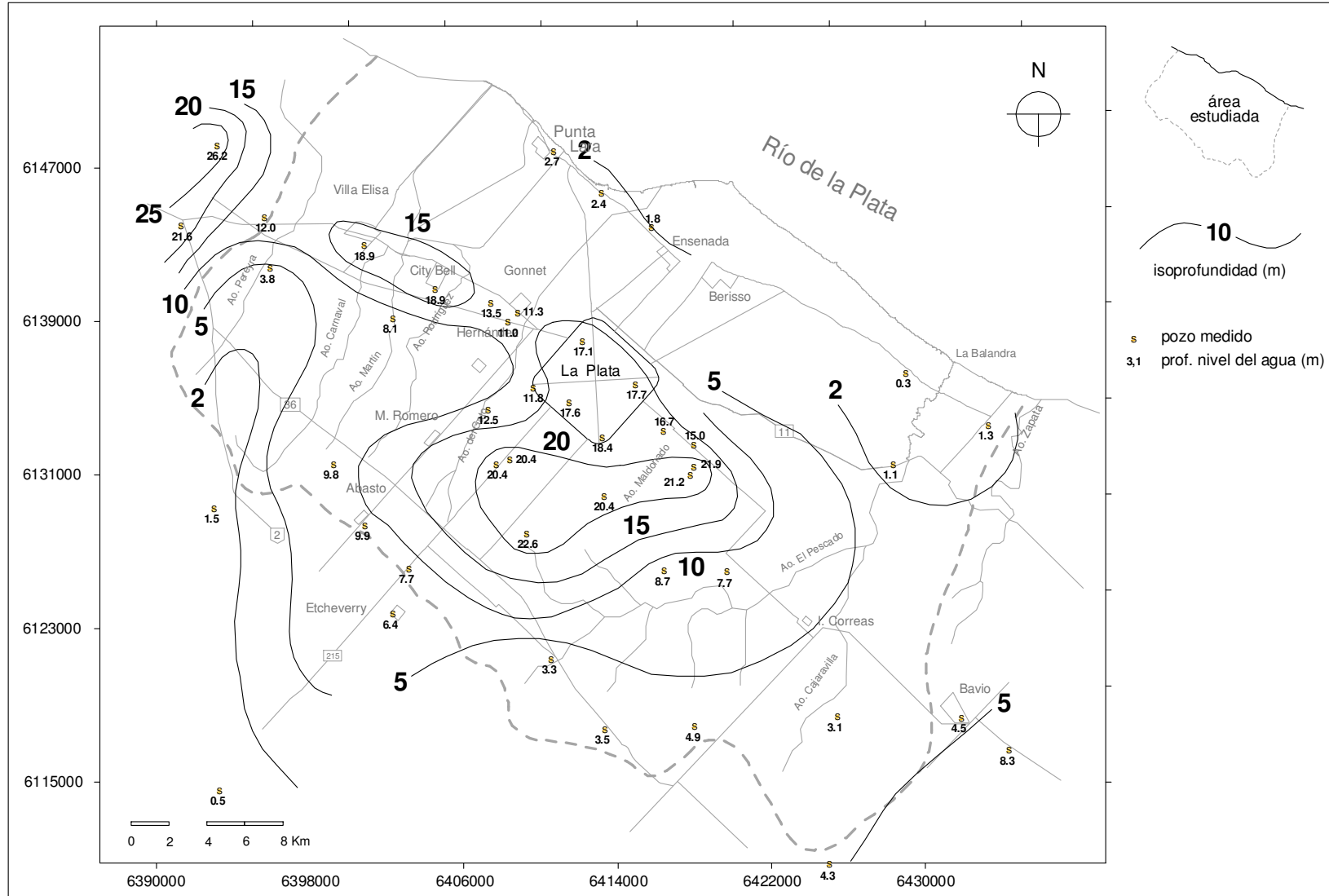
RED DE FLUJO Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 15



PROFUNDIDAD DE LA SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA Acuífero Puelche

Mapa 16

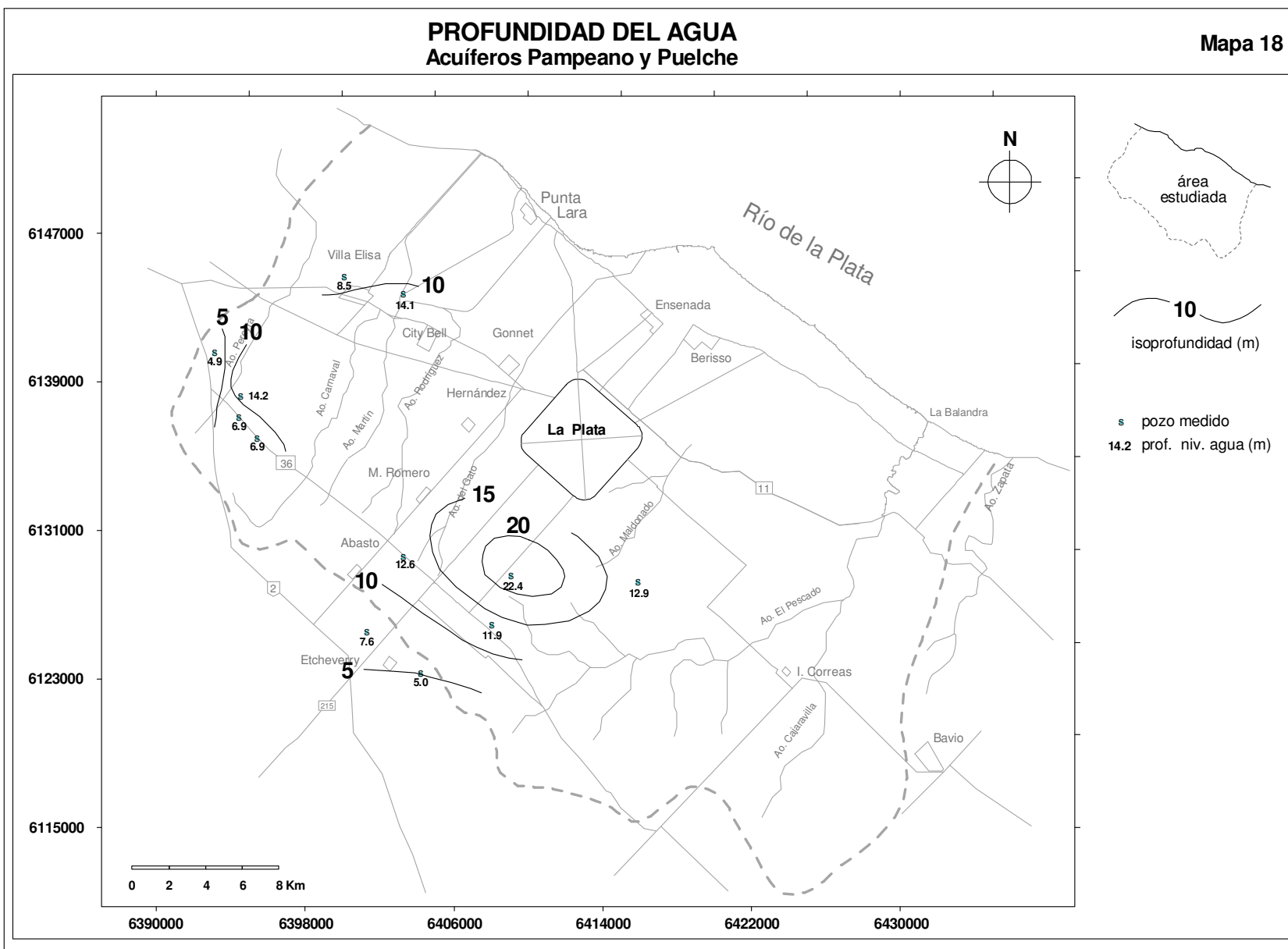


Mapa 17



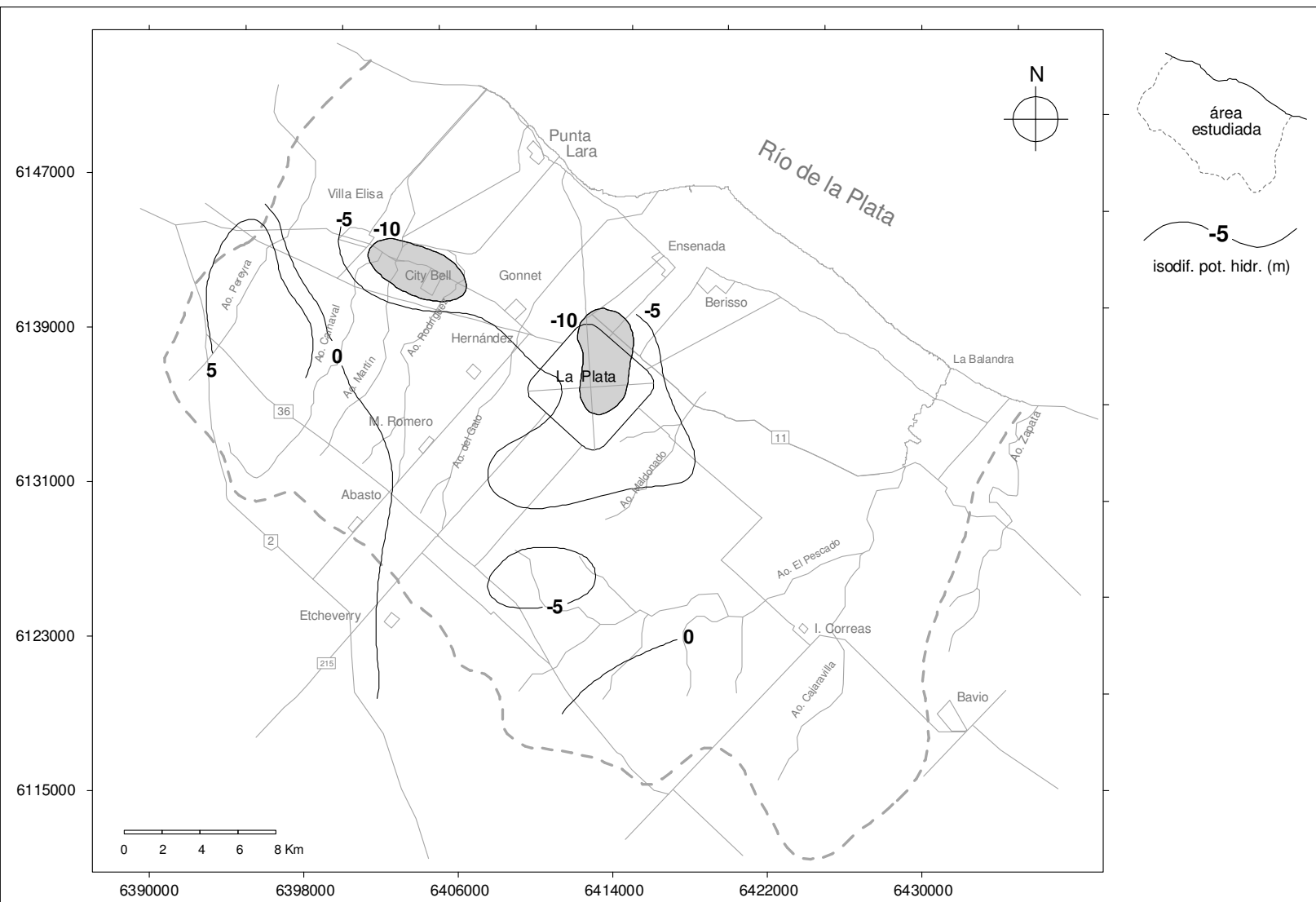
PROFUNDIDAD DEL AGUA **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 18



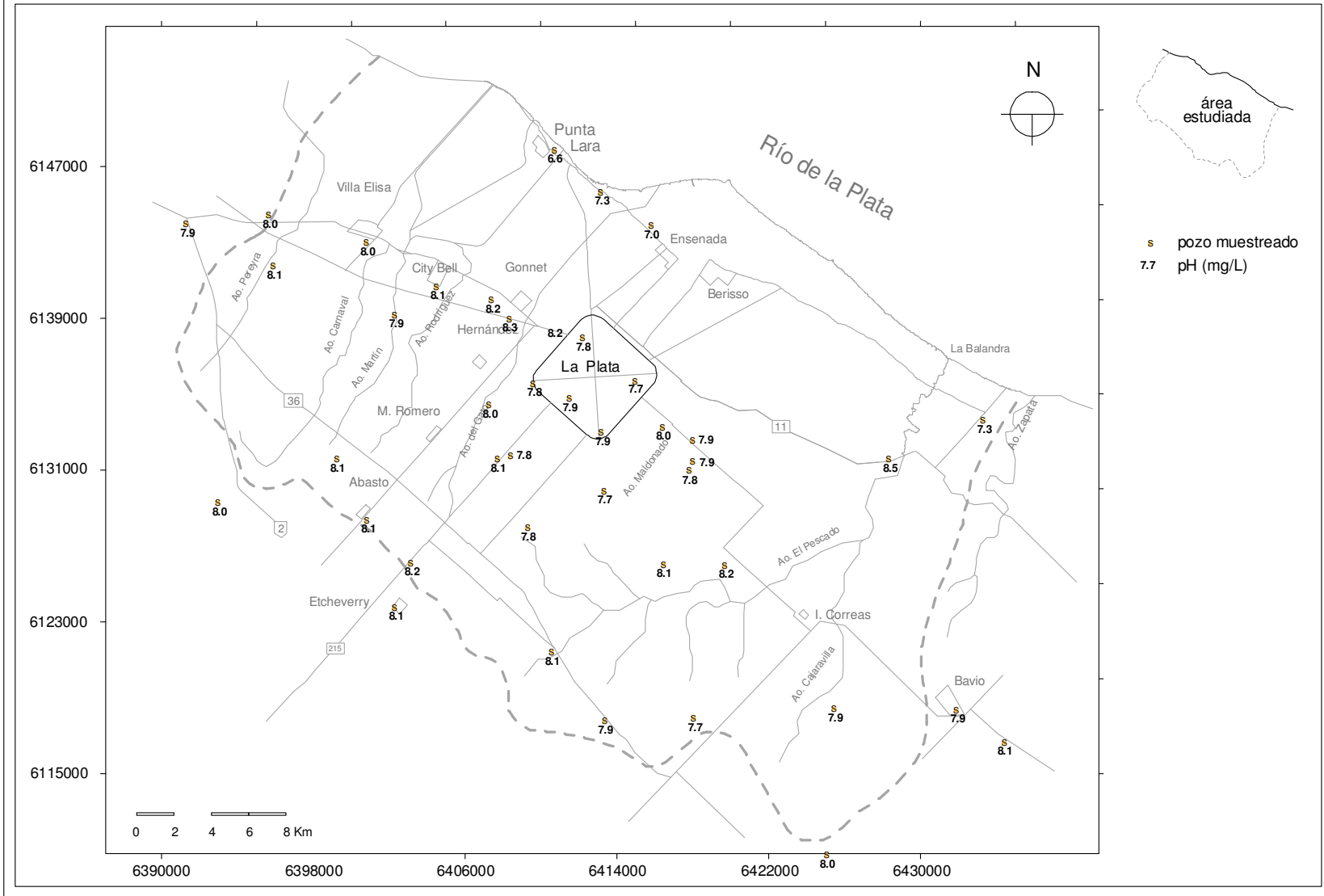
DIFERENCIA DE POTENCIAL HIDRÁULICO Acuíferos Puelche y Pampeano

Mapa 19



pH Acuífero Puelche

Mapa 20

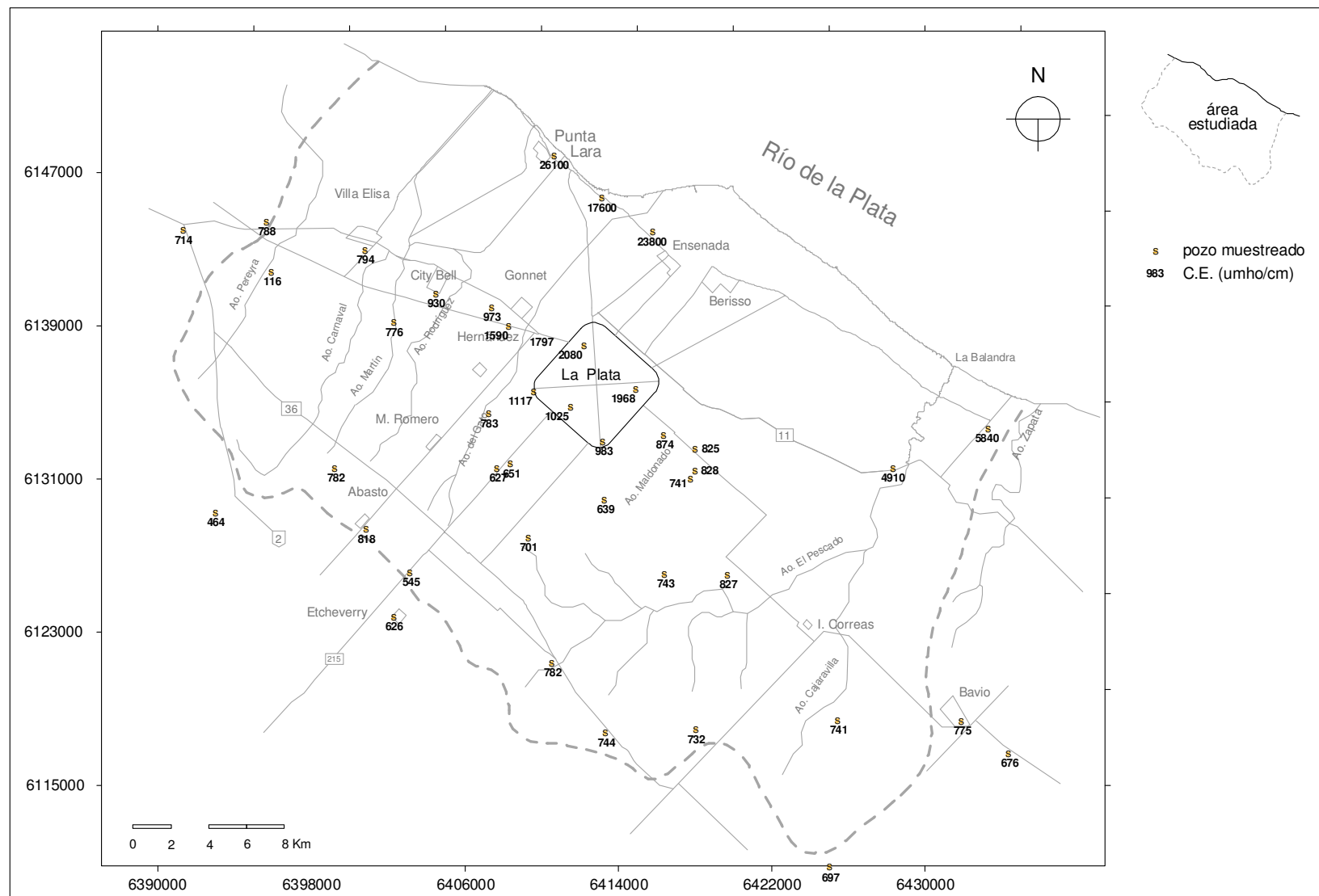


Mapa 21



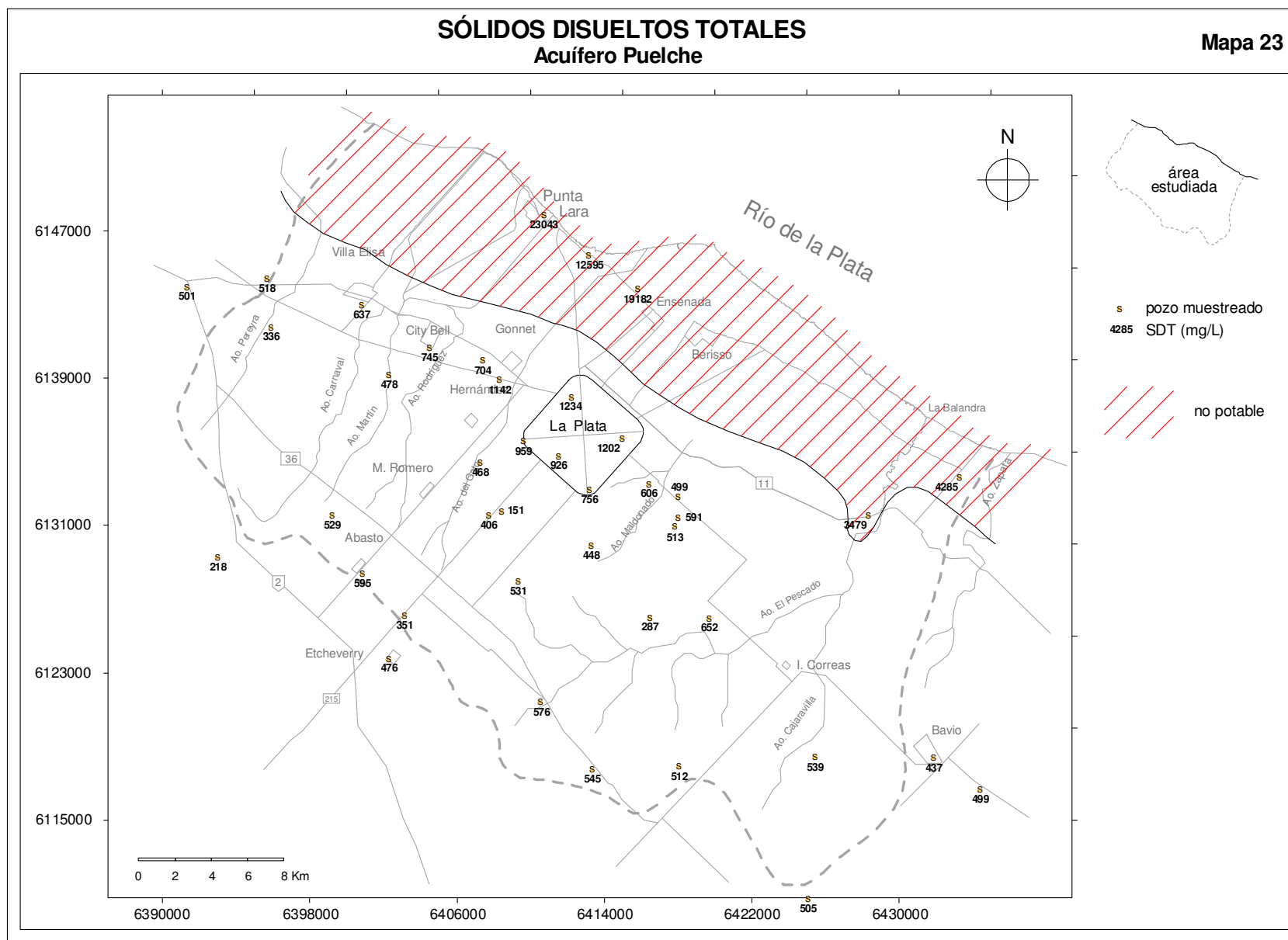
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Acuífero Puelche

Mapa 22



SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Acuífero Puelche

Mapa 23

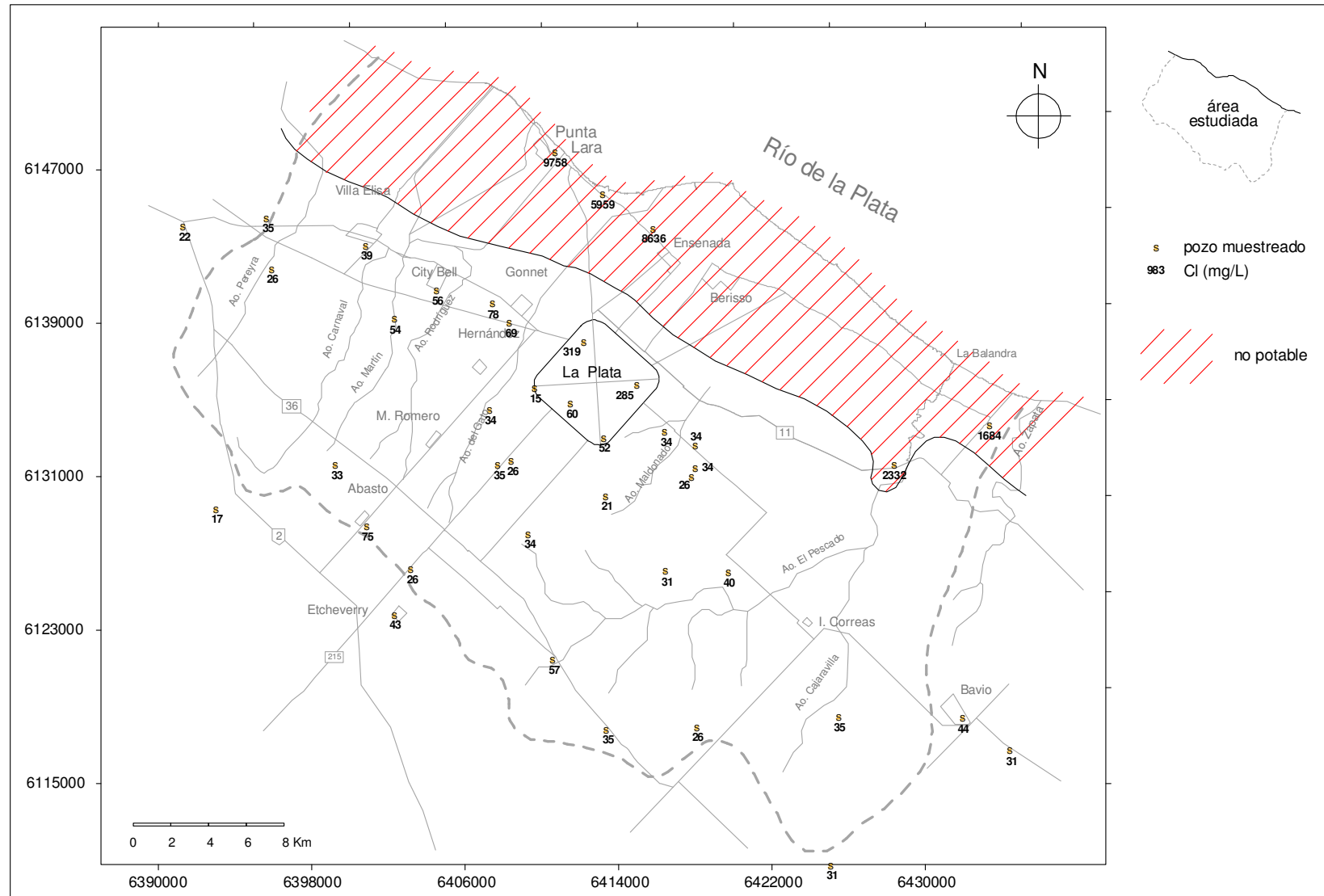


Mapa 24



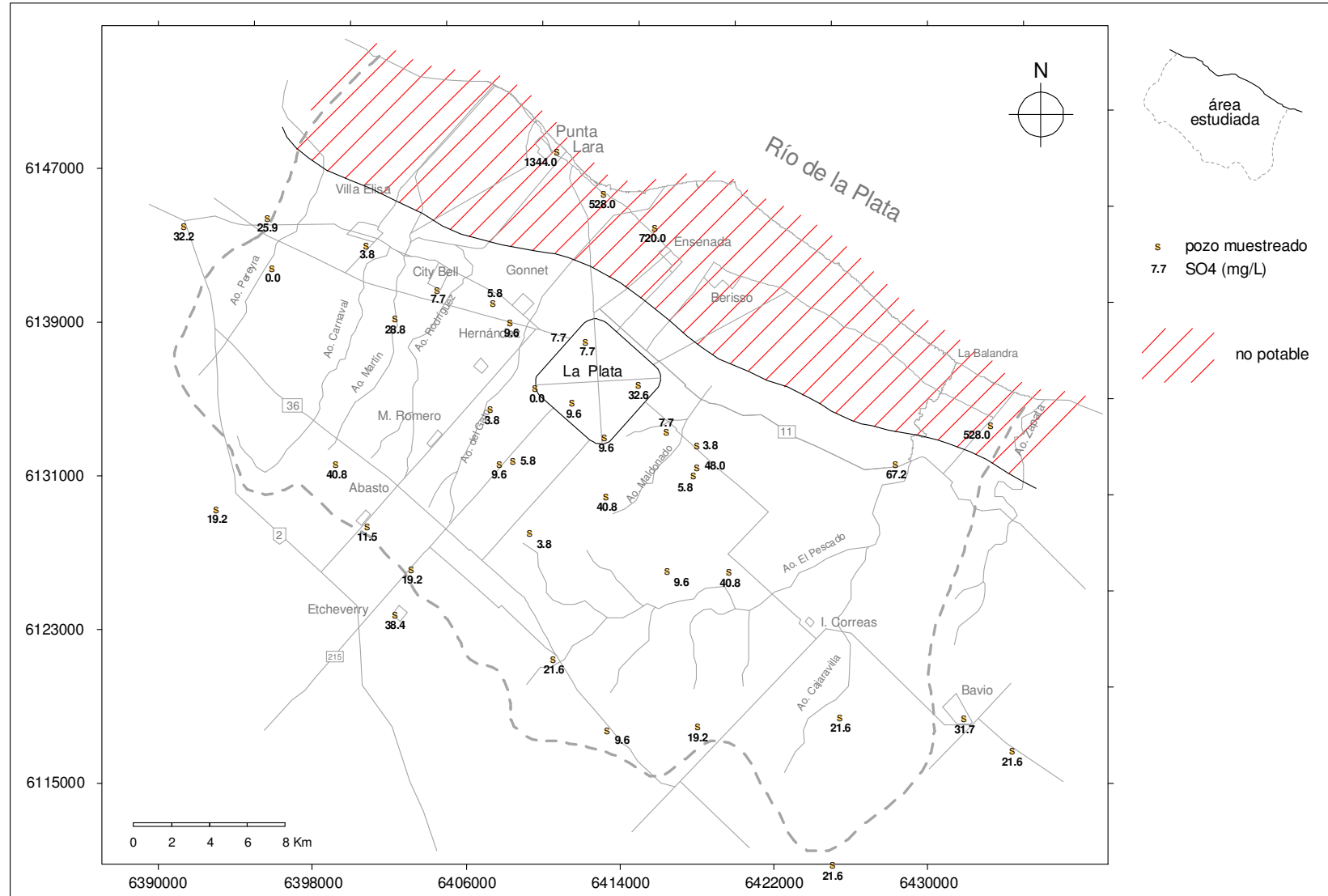
CLORUROS Acuífero Puelche

Mapa 25



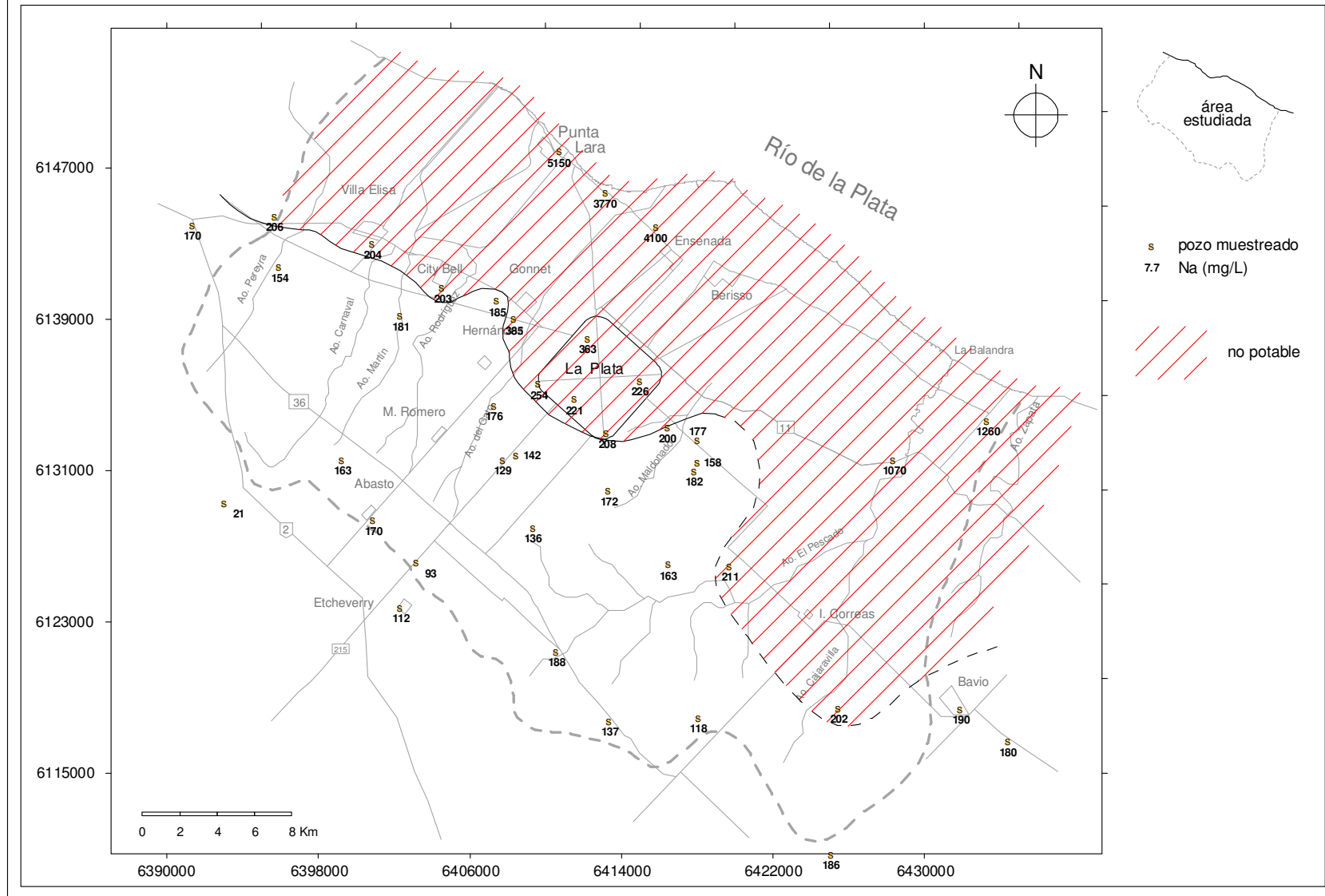
SULFATOS Acuífero Puelche

Mapa 26



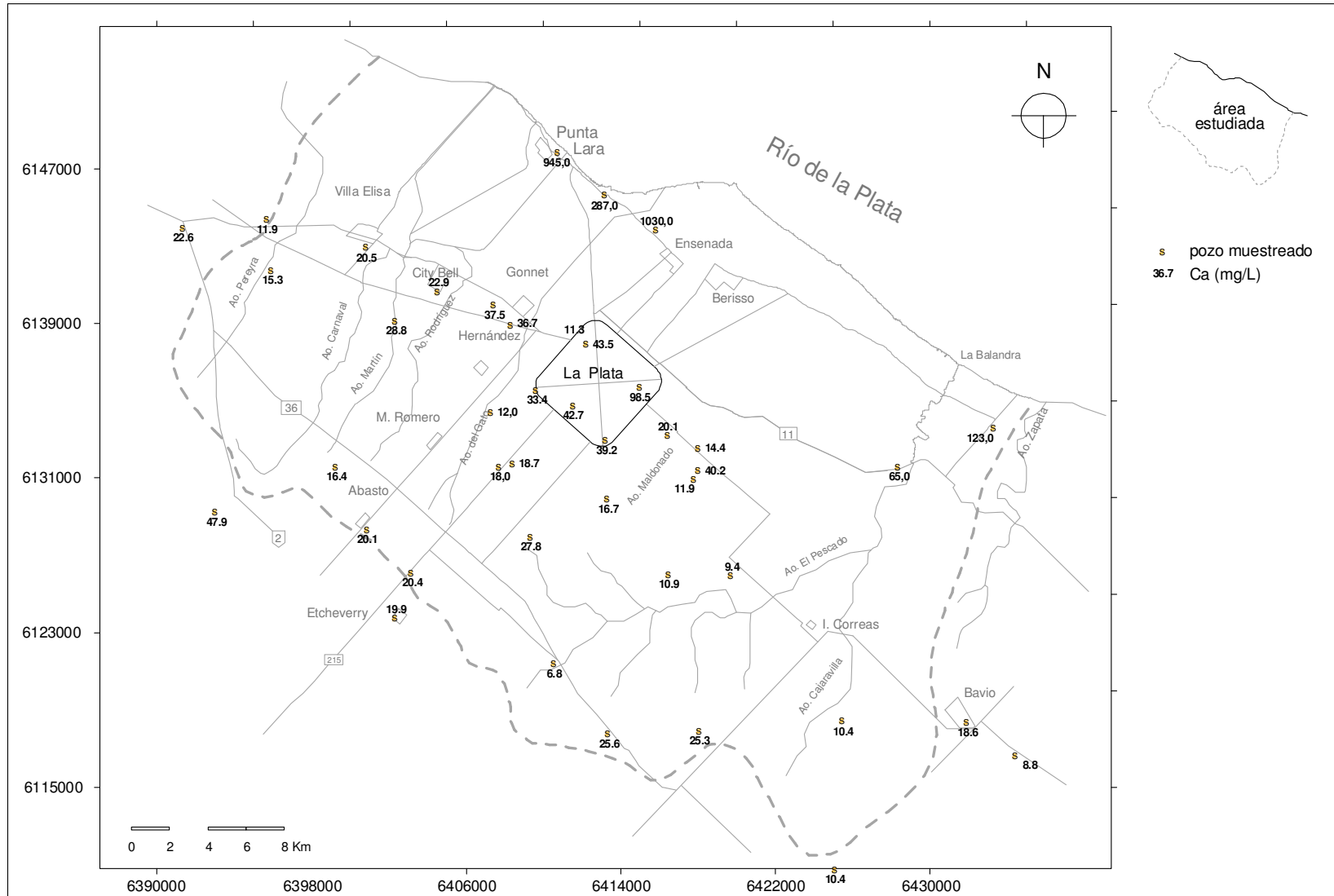
SODIO Acuífero Puelche

Mapa 27



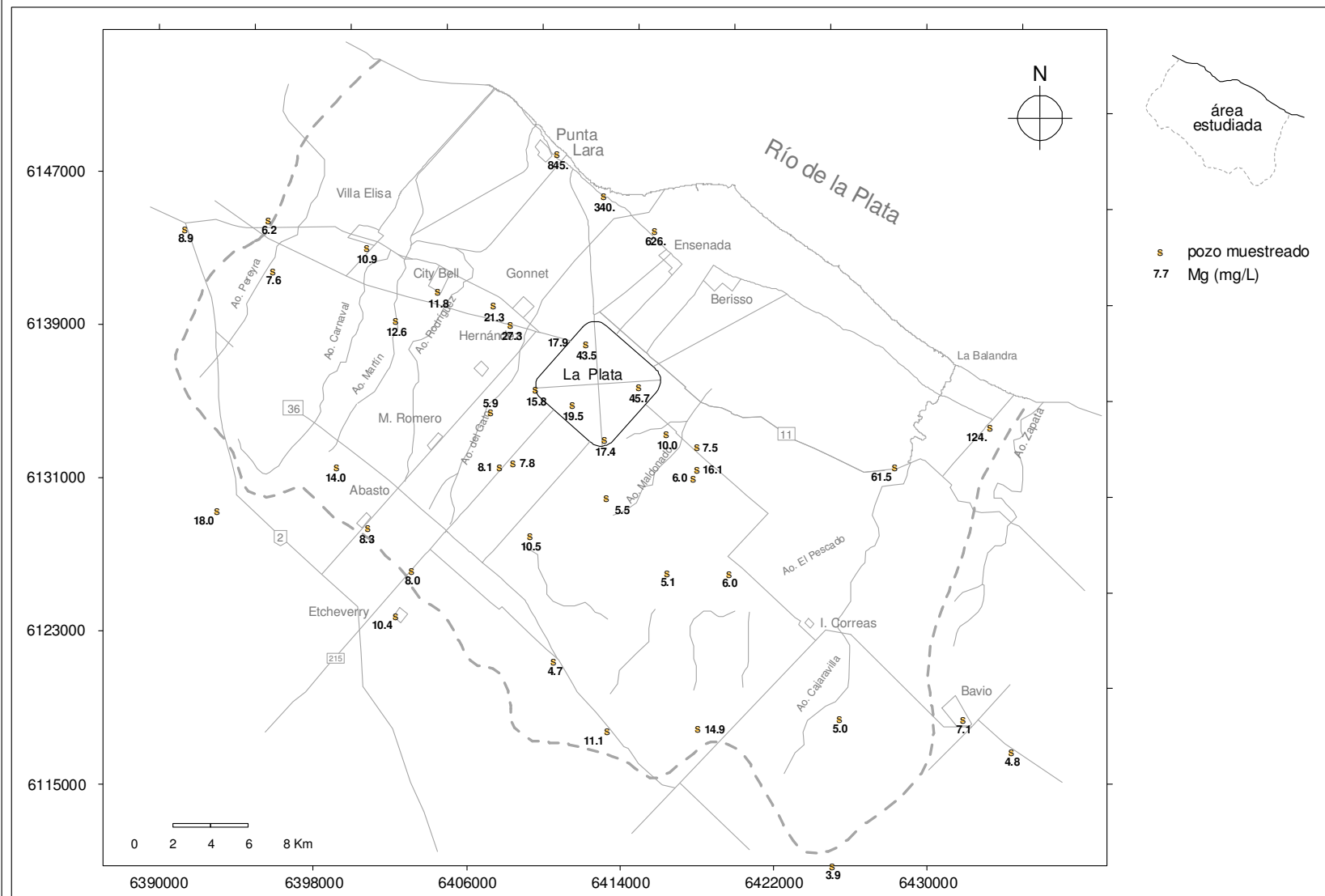
CALCIO **Acuífero Puelche**

Mapa 28



MAGNESIO Acuífero Puelche

Mapa 29

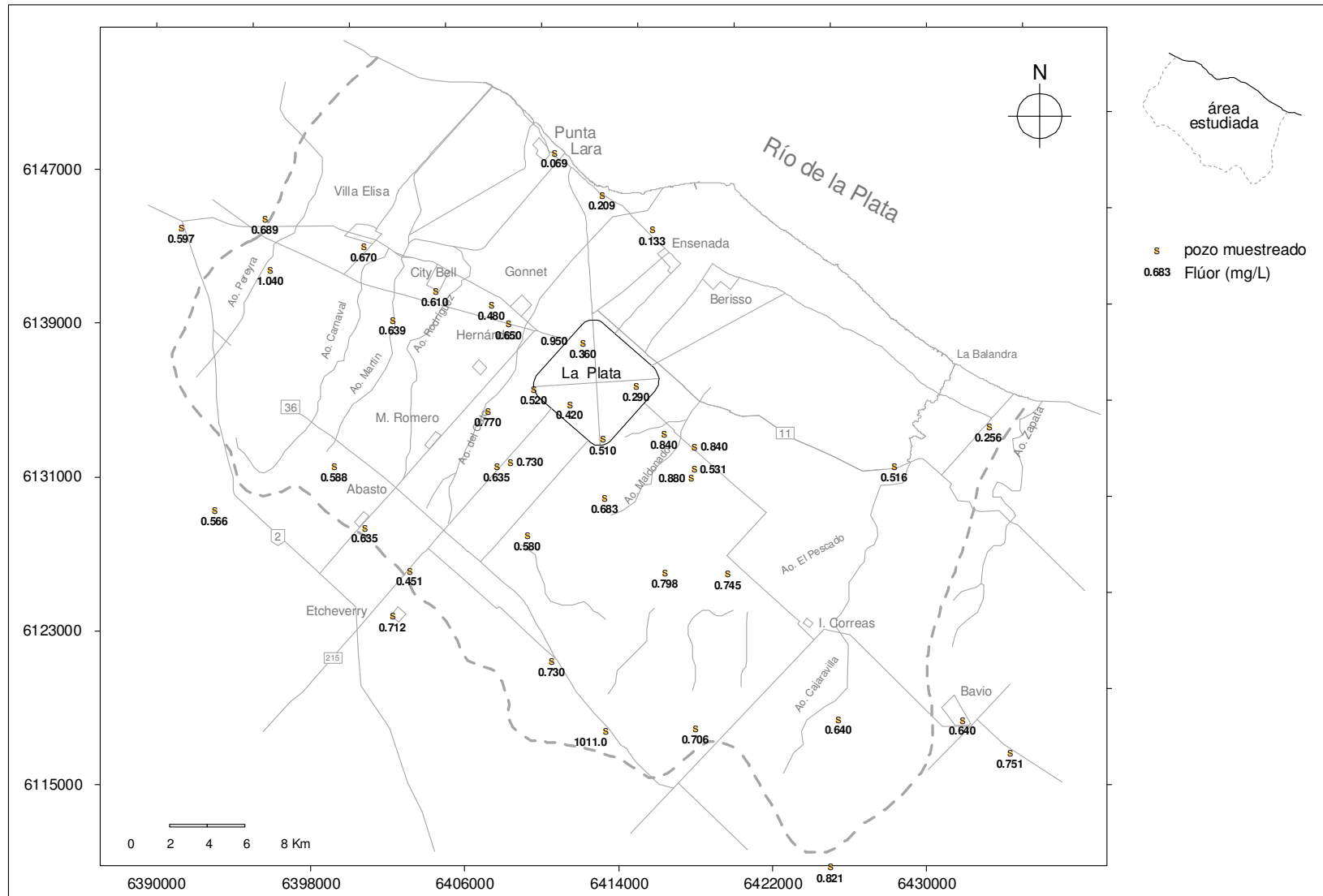


Mapa 30



FLÚOR Acuífero Puelche

Mapa 31

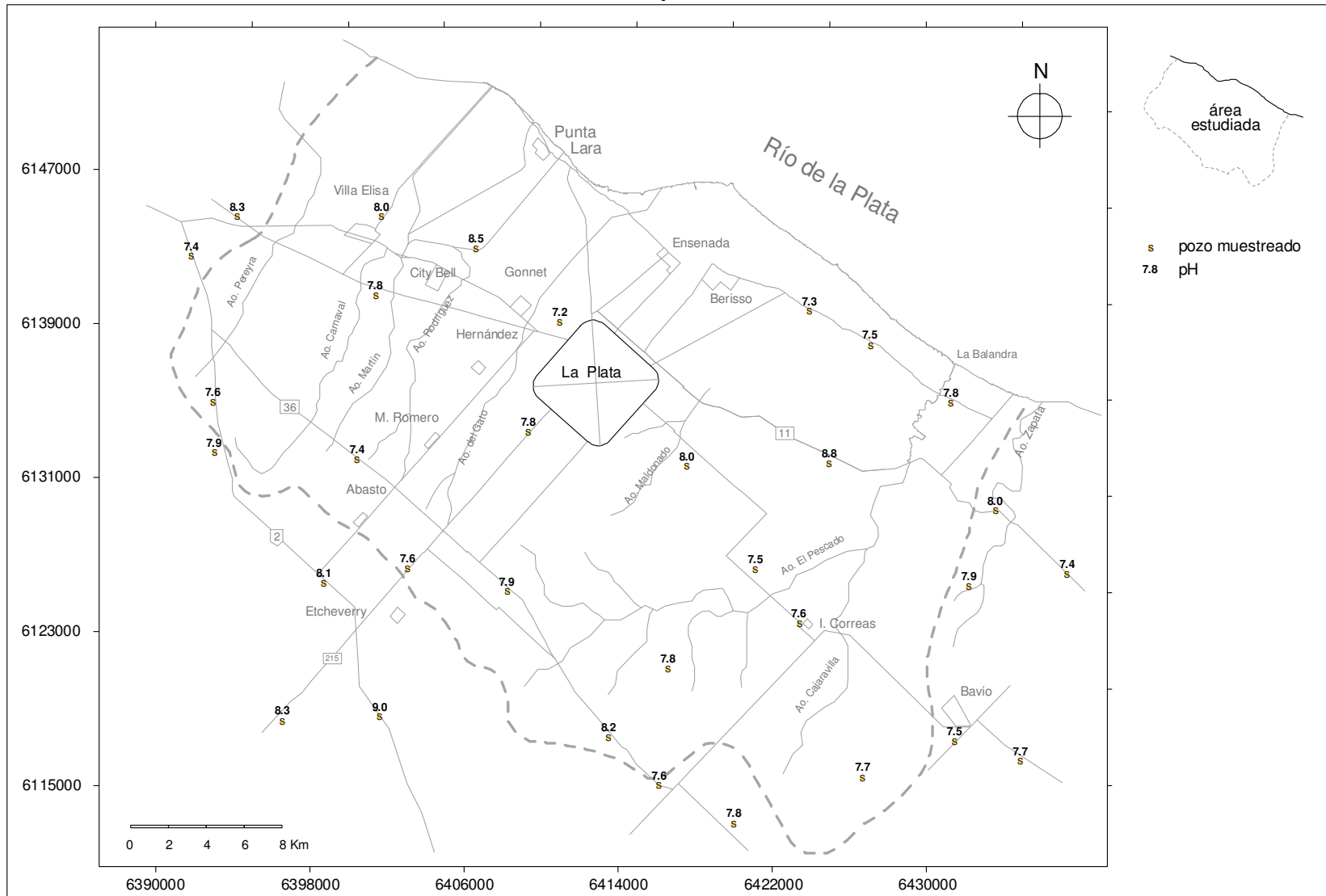


Mapa 32



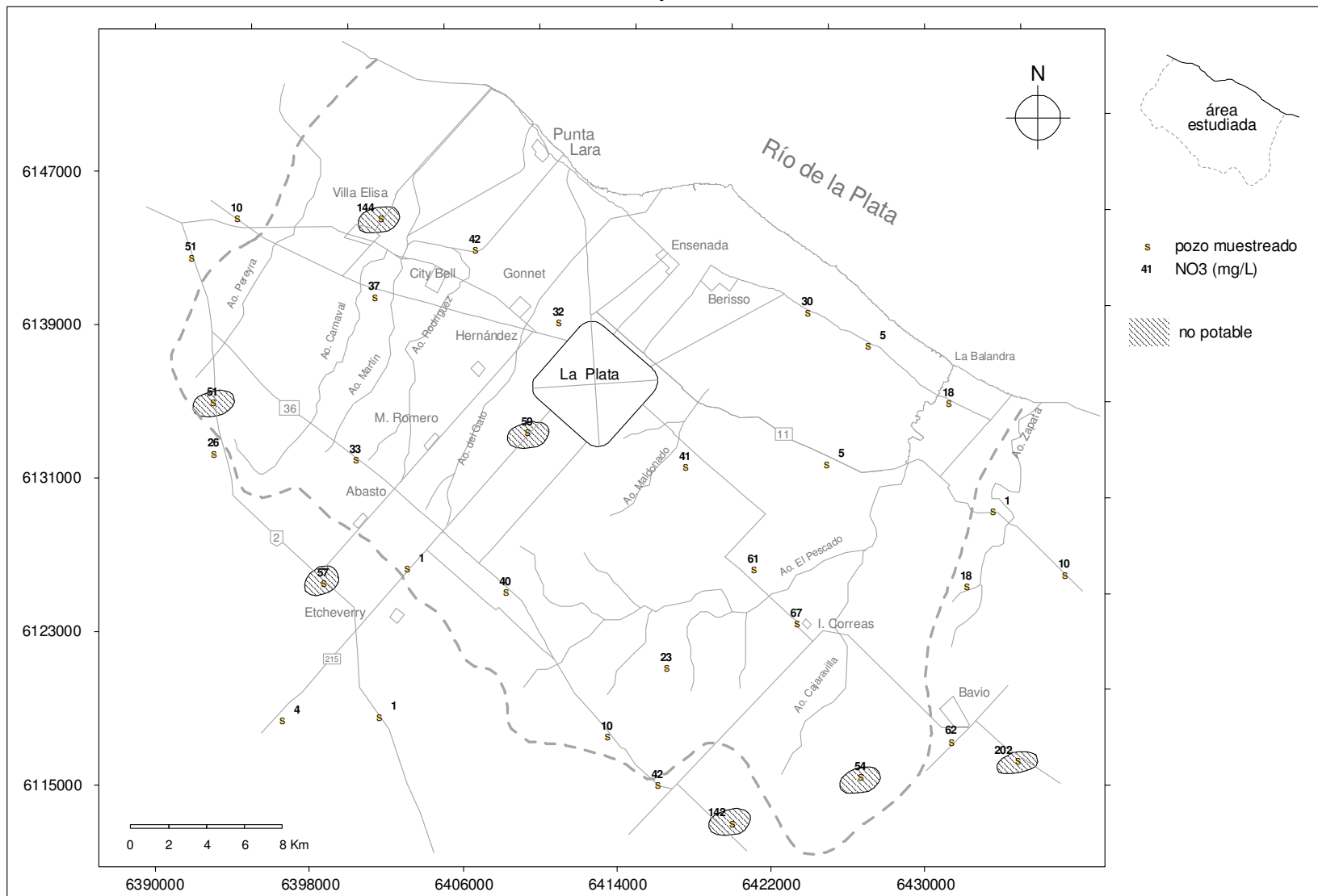
pH Acuífero Pampeano

Mapa 33



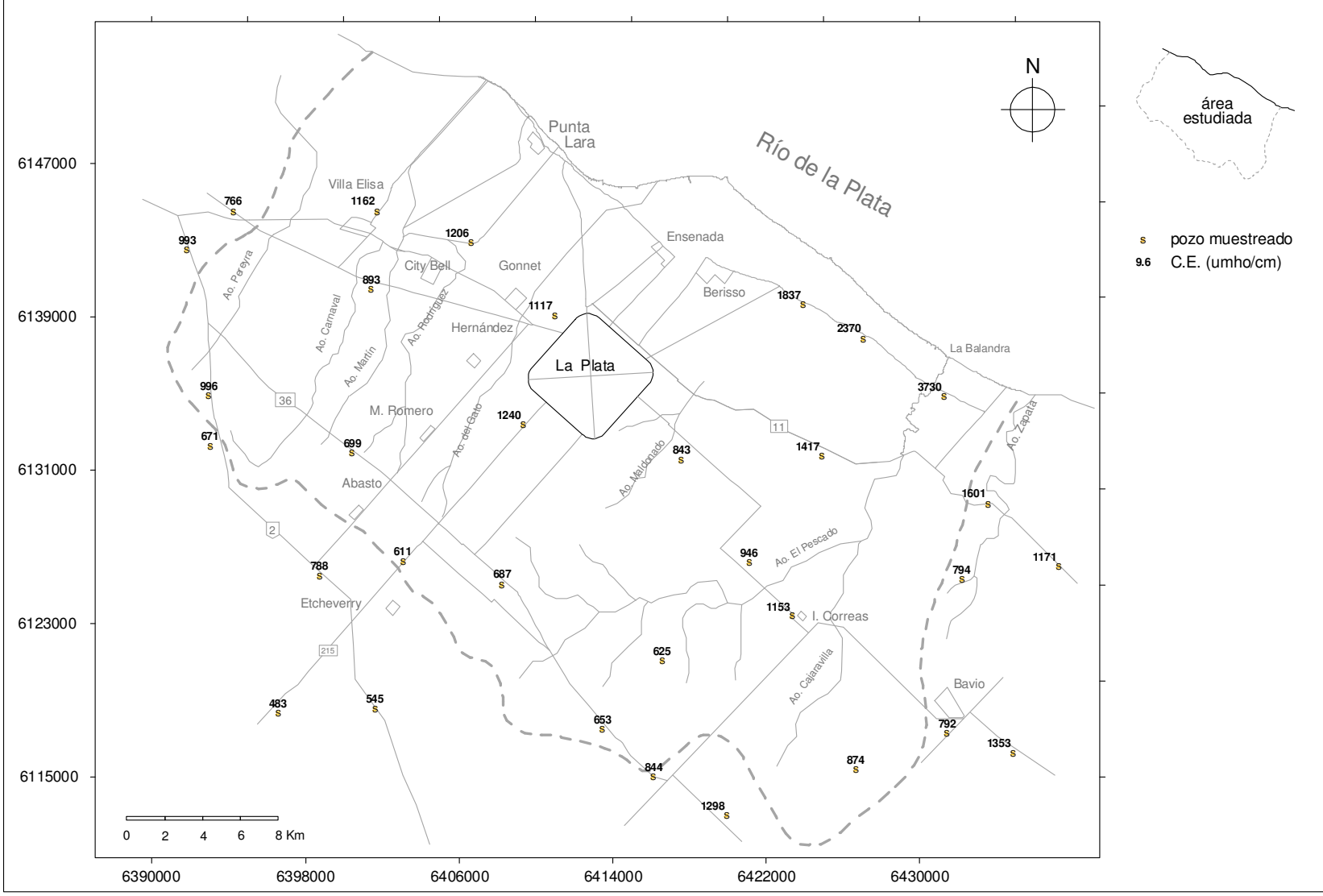
NITRATOS **Acuífero Pampeano**

Mapa 34



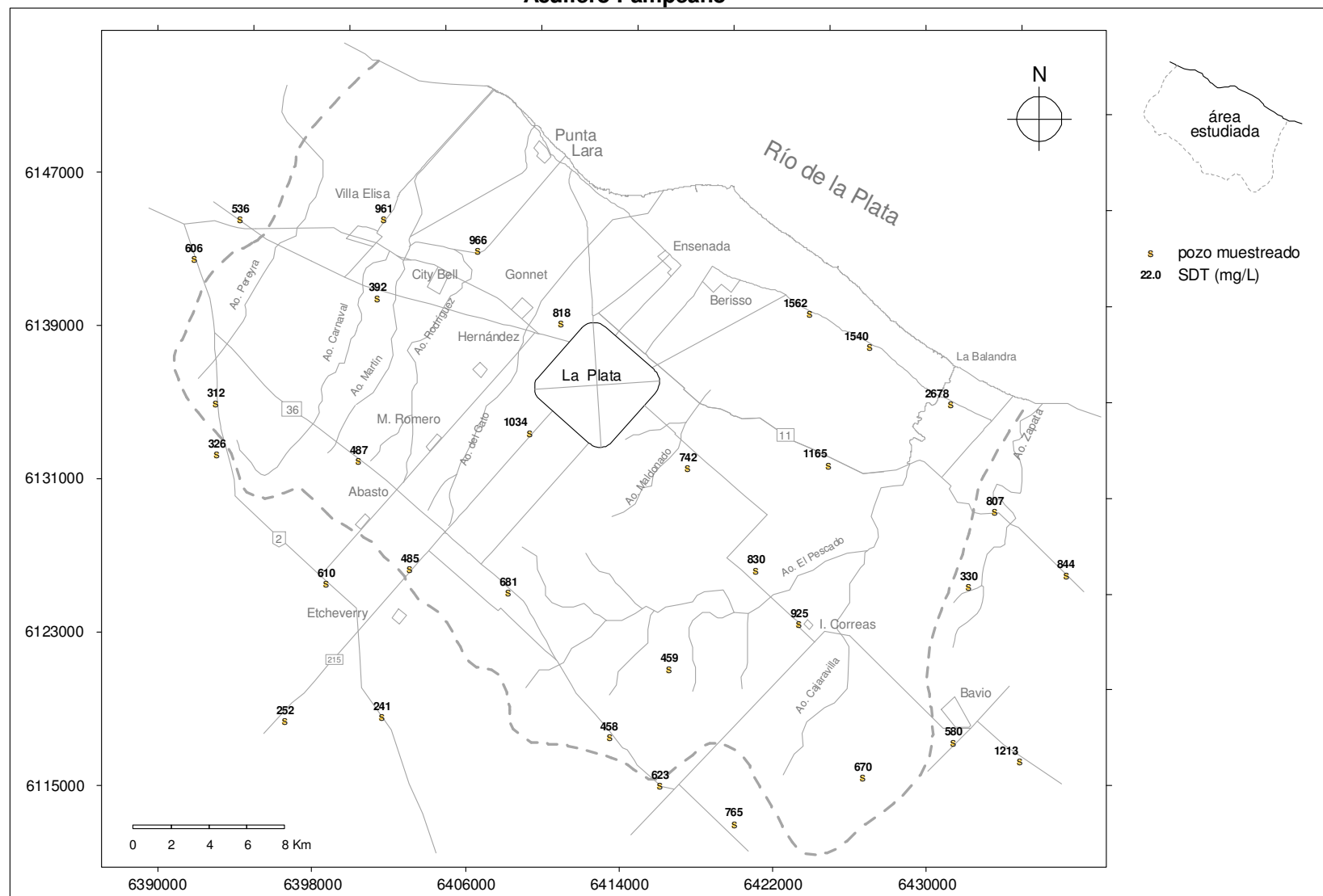
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Acuífero Pampeano

Mapa 35



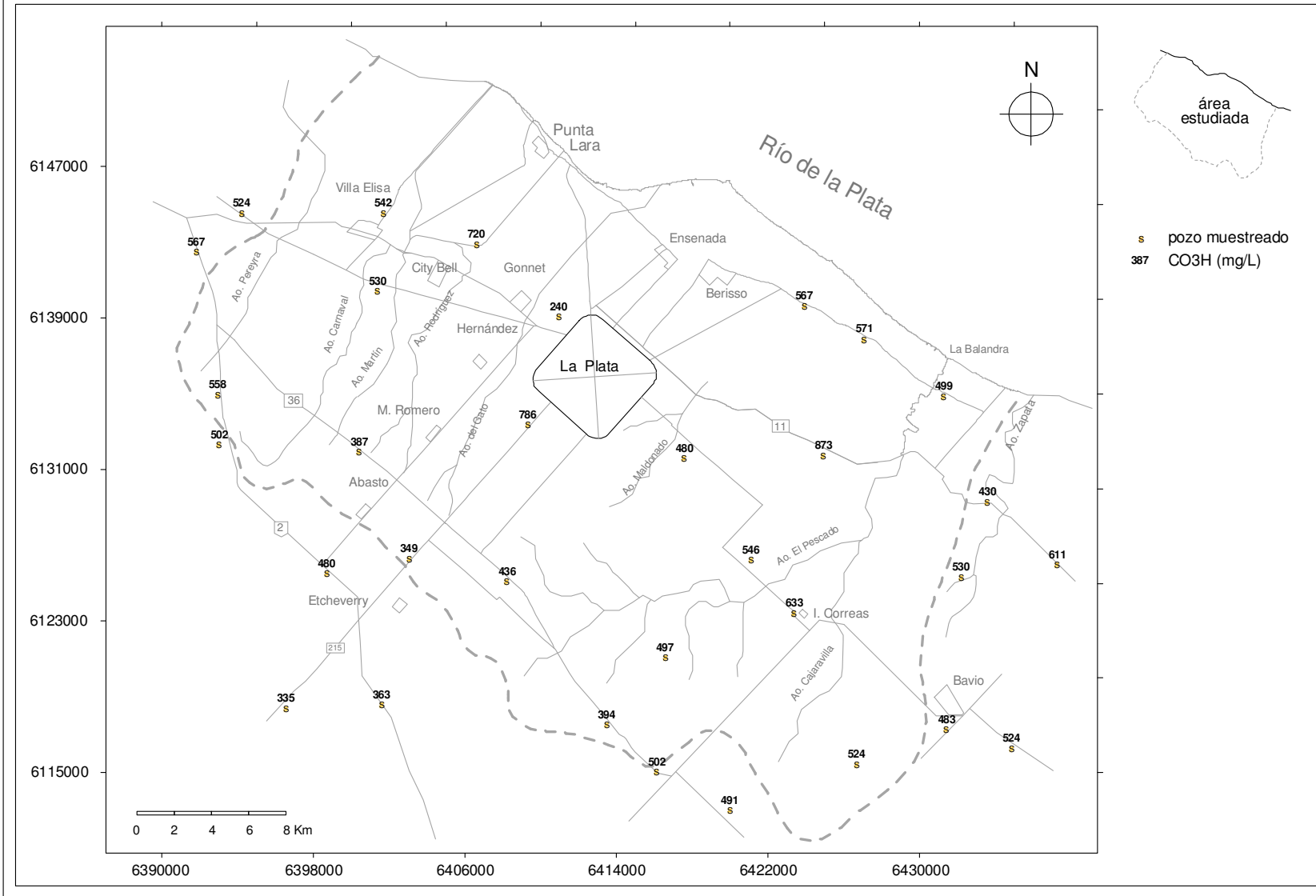
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES **Acuífero Pampeano**

Mapa 36



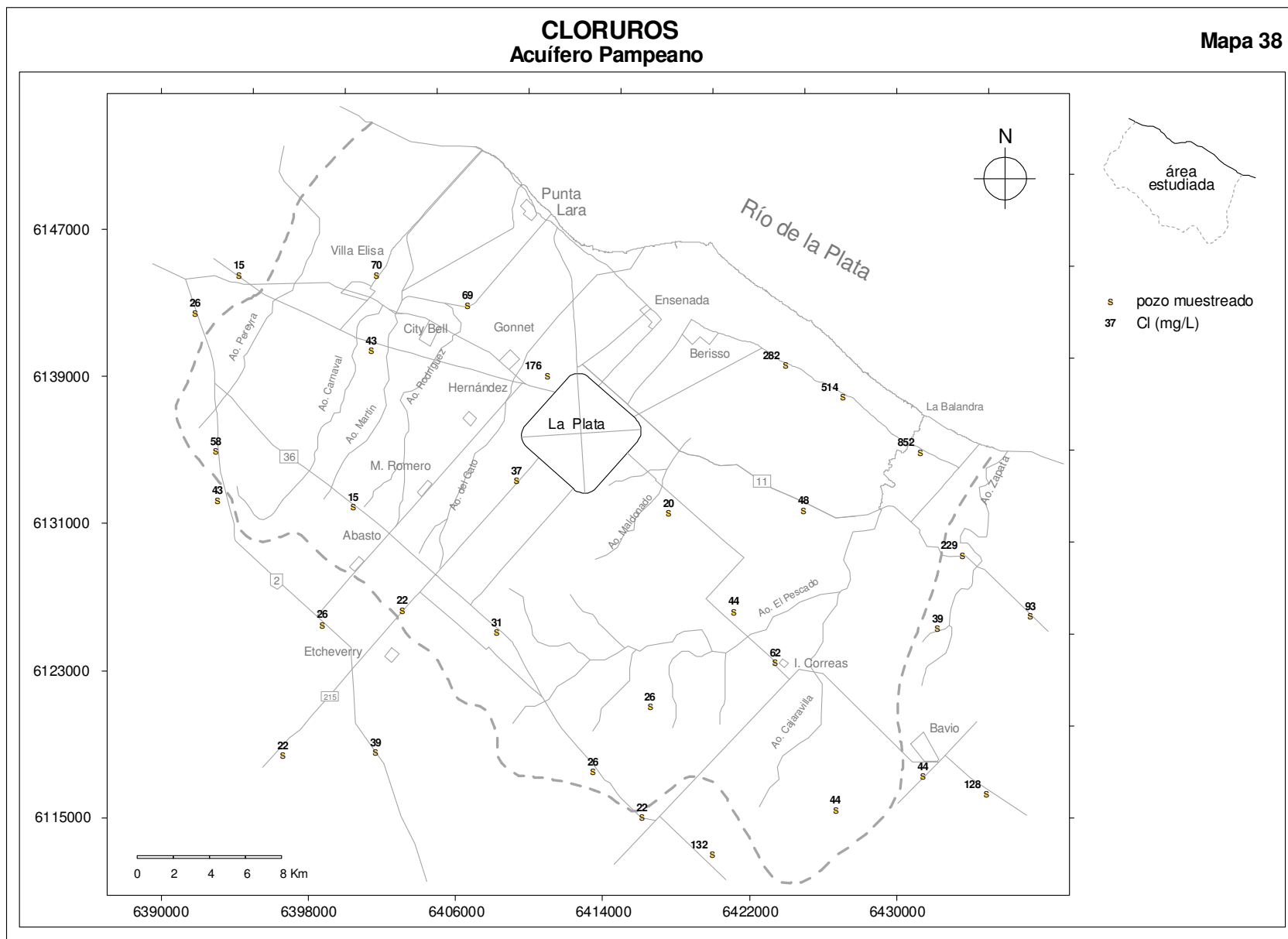
BICARBONATOS Acuífero Pampeano

Mapa 37



CLORUROS Acuífero Pampeano

Mapa 38

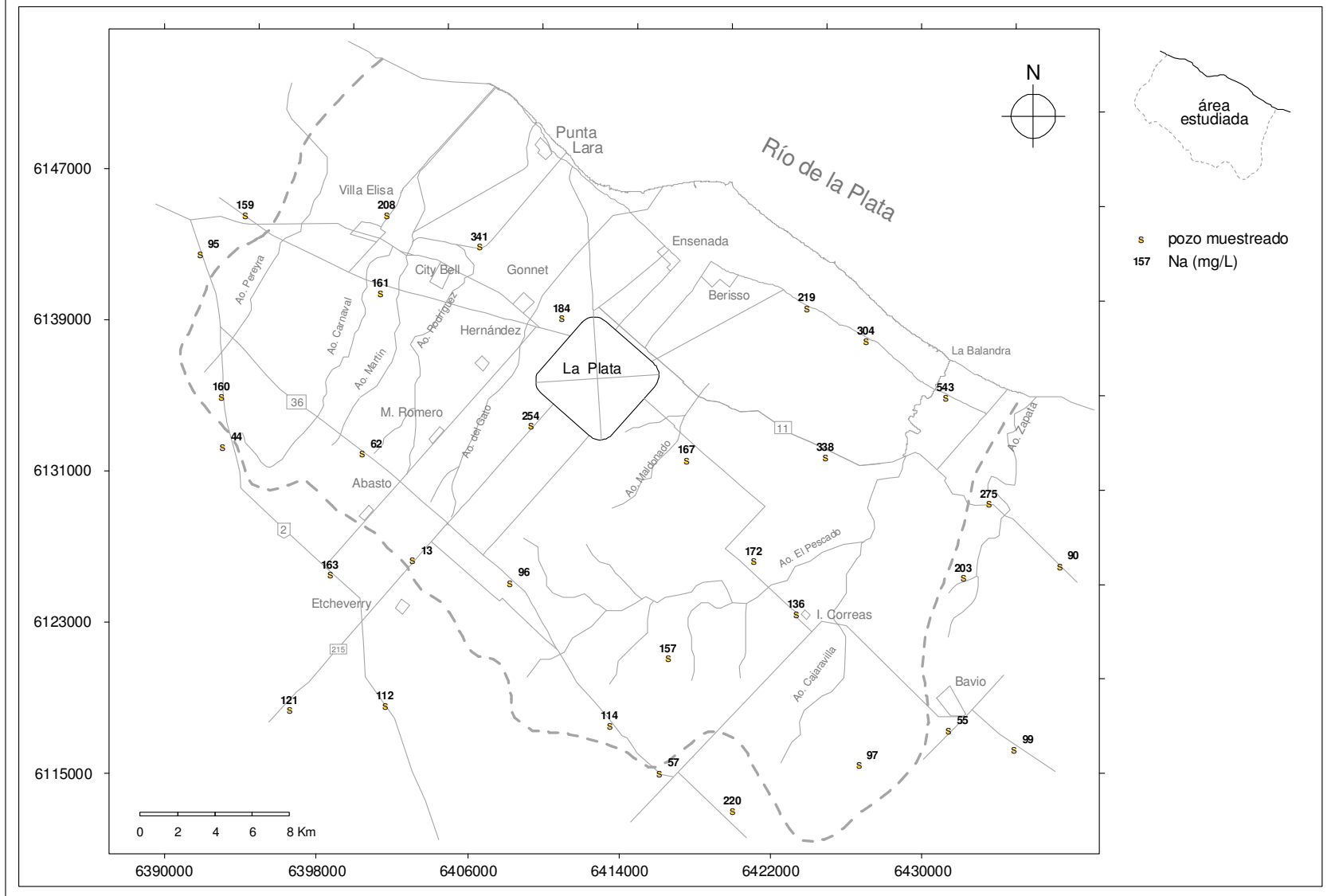


Mapa 39



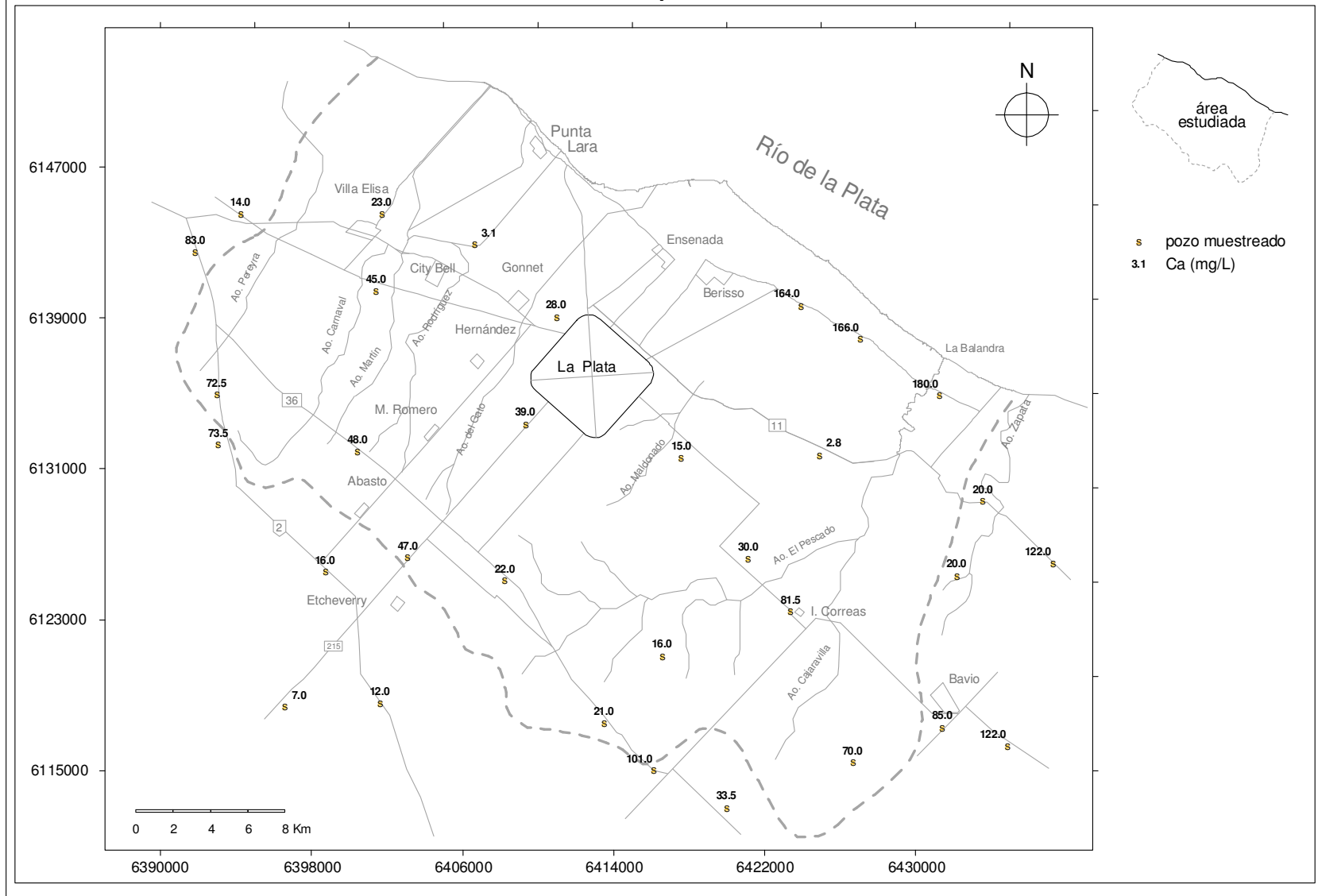
SODIO Acuífero Pampeano

Mapa 40



CALCIO Acuífero Pampeano

Mapa 41



Mapa 42

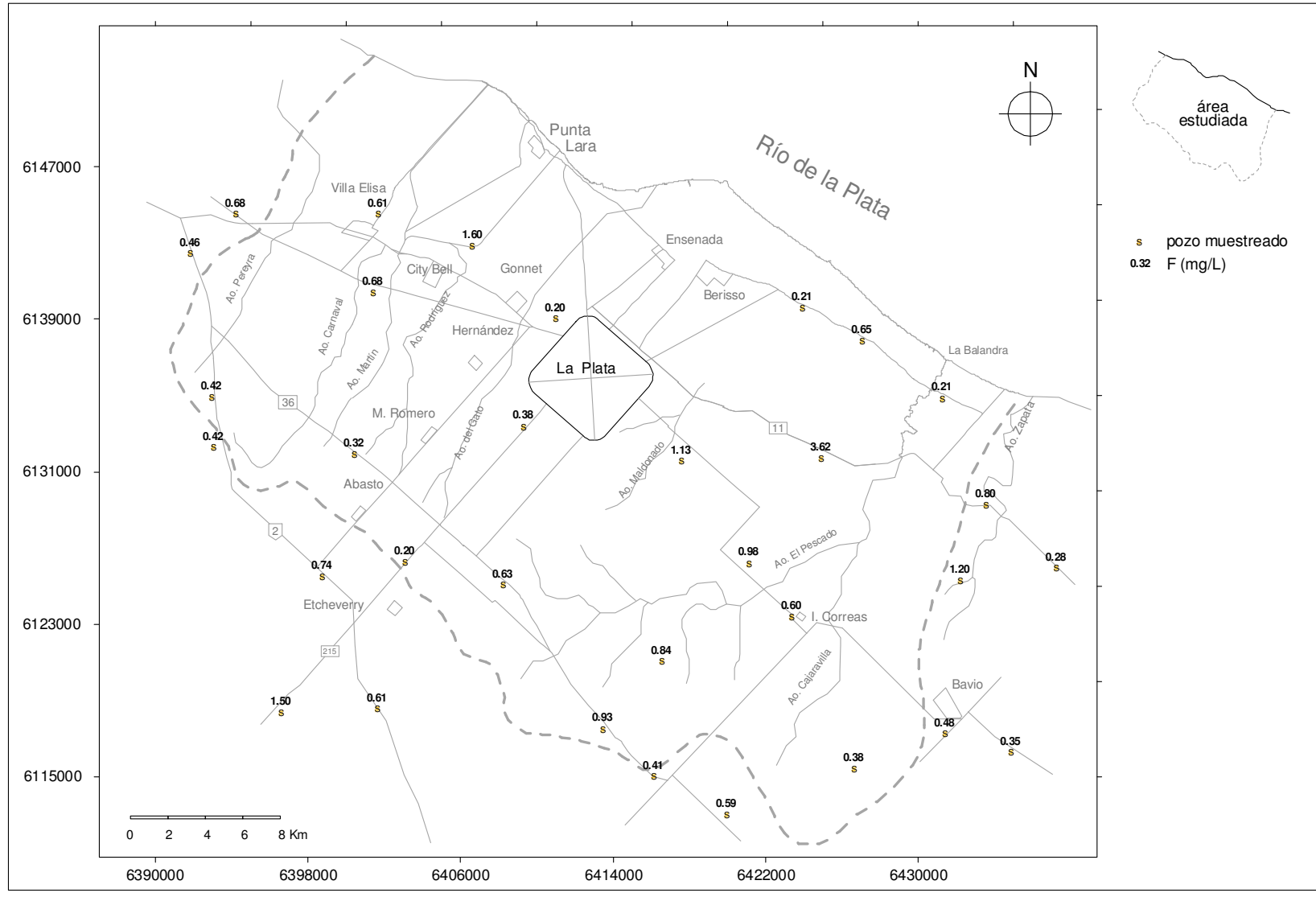


Mapa 43



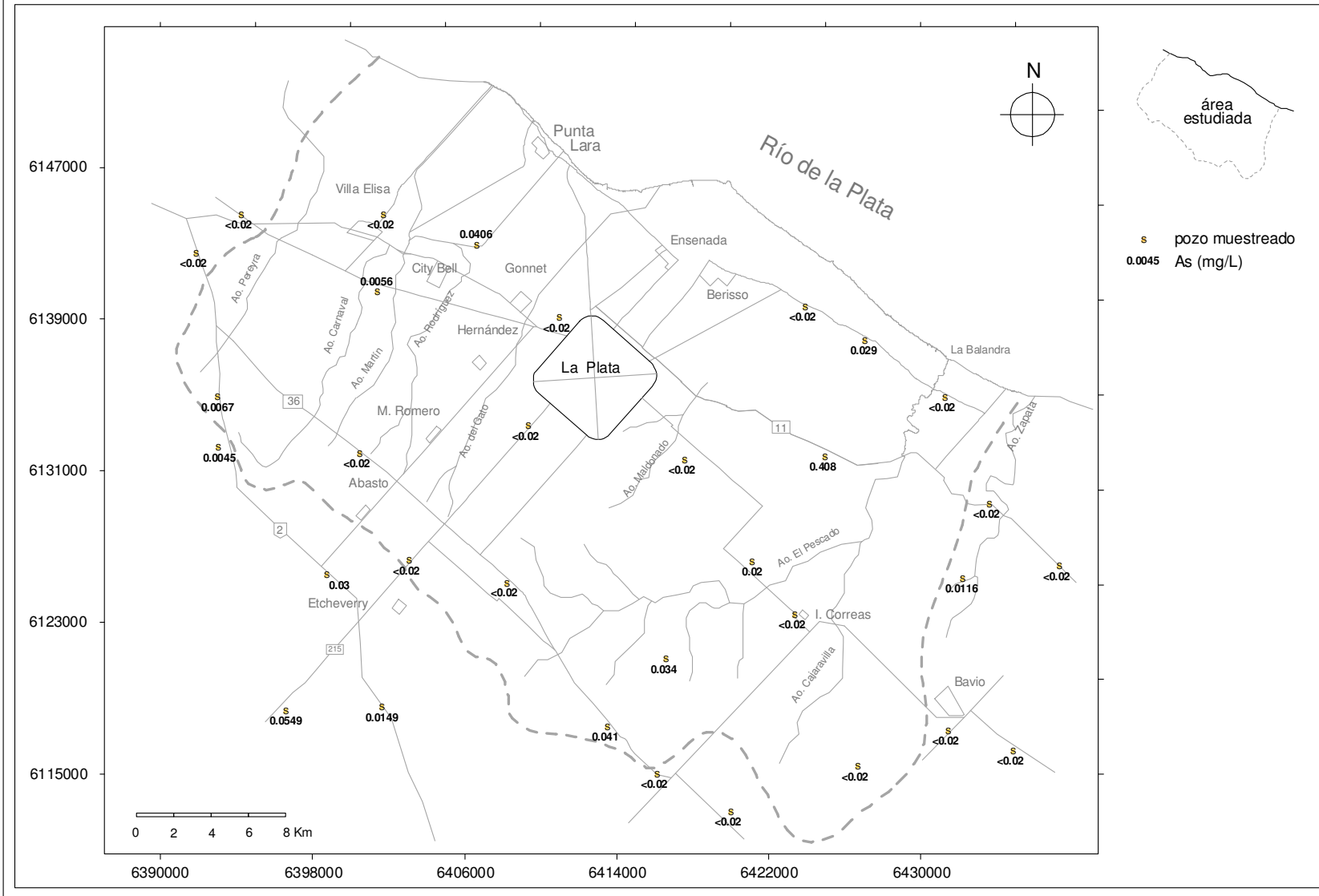
FLÚOR Acuífero Pampeano

Mapa 44



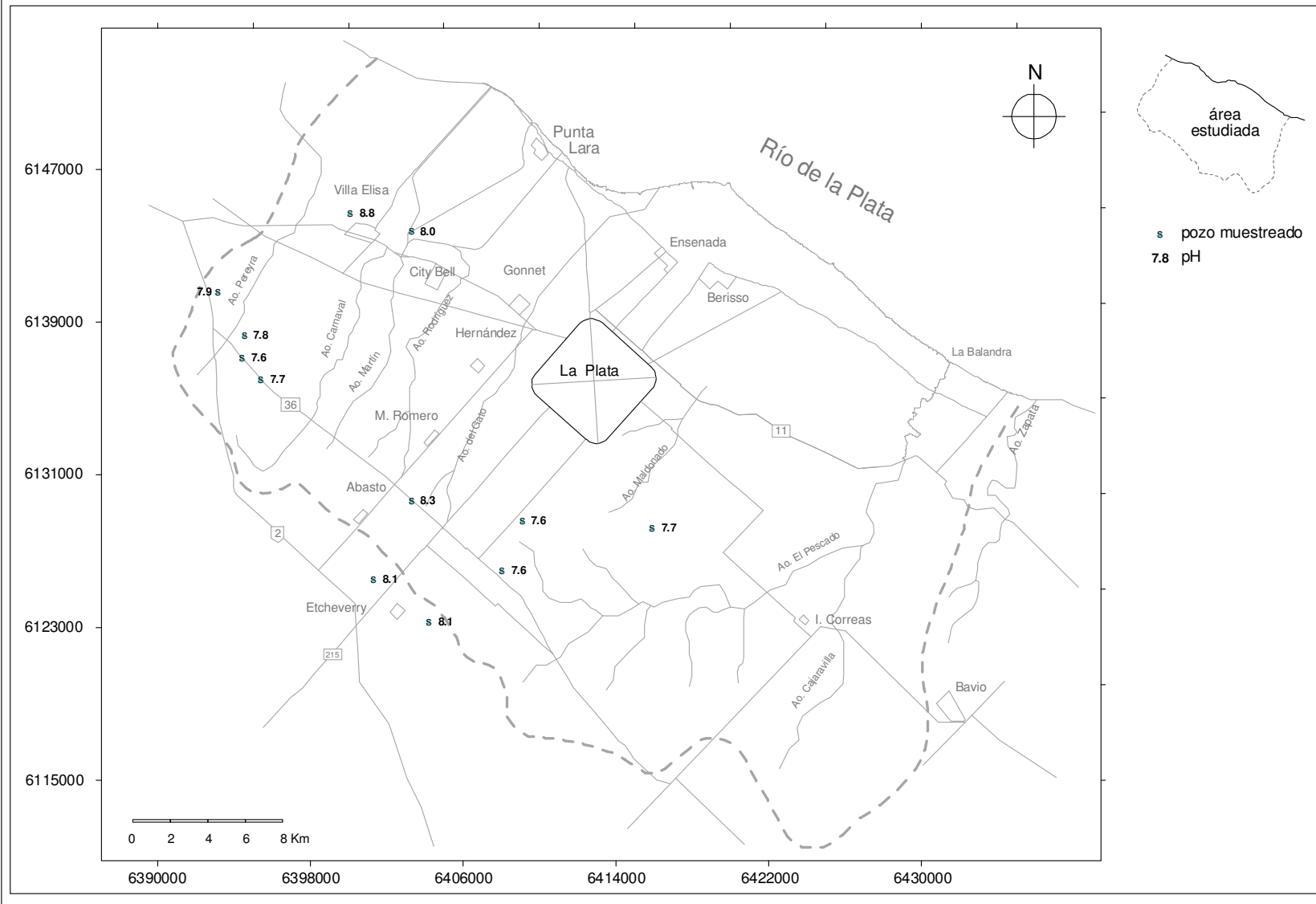
ARSÉNICO **Acuífero Pampeano**

Mapa 45



pH Acuíferos Pampeano y Puelche

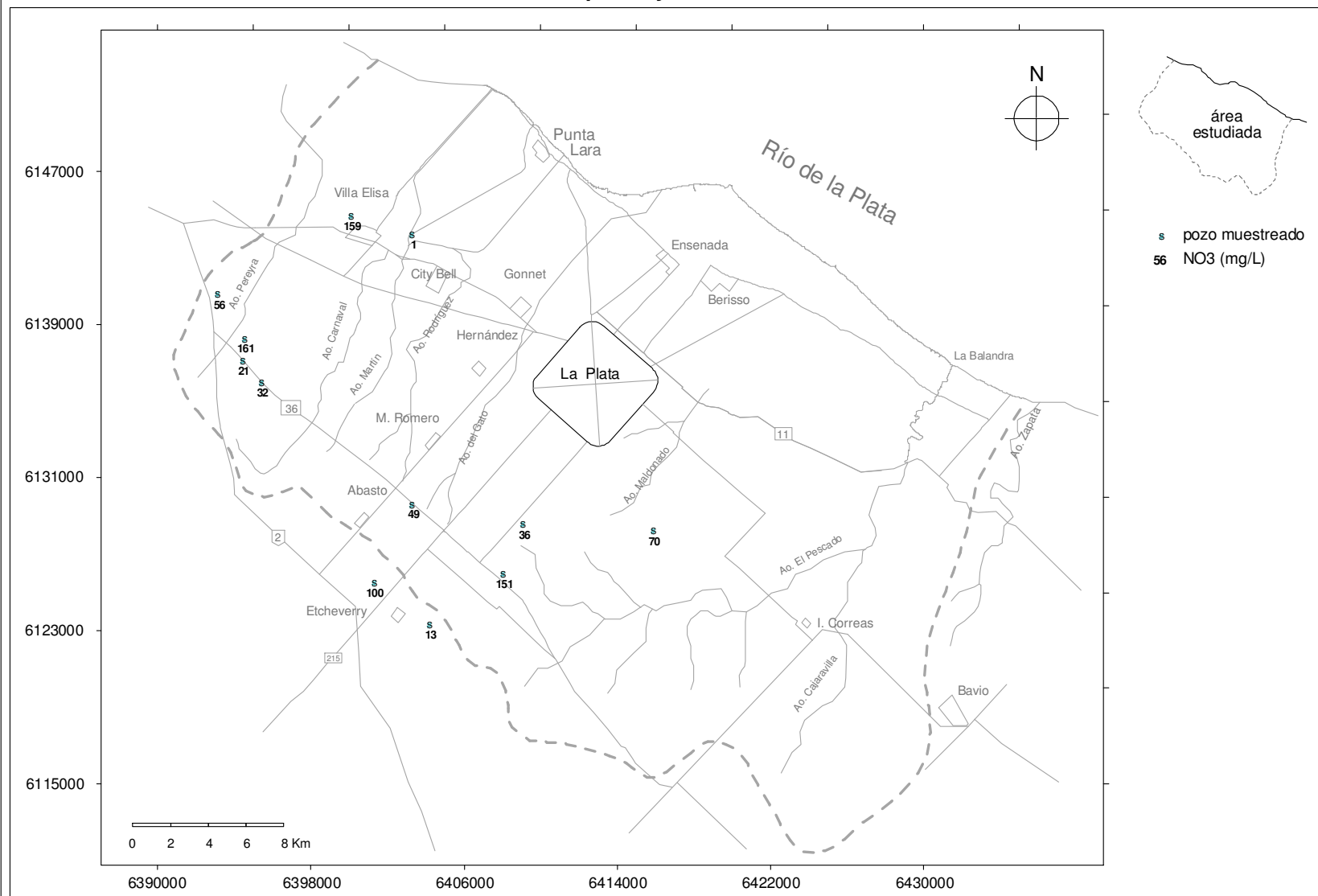
Mapa 46



NITRATOS

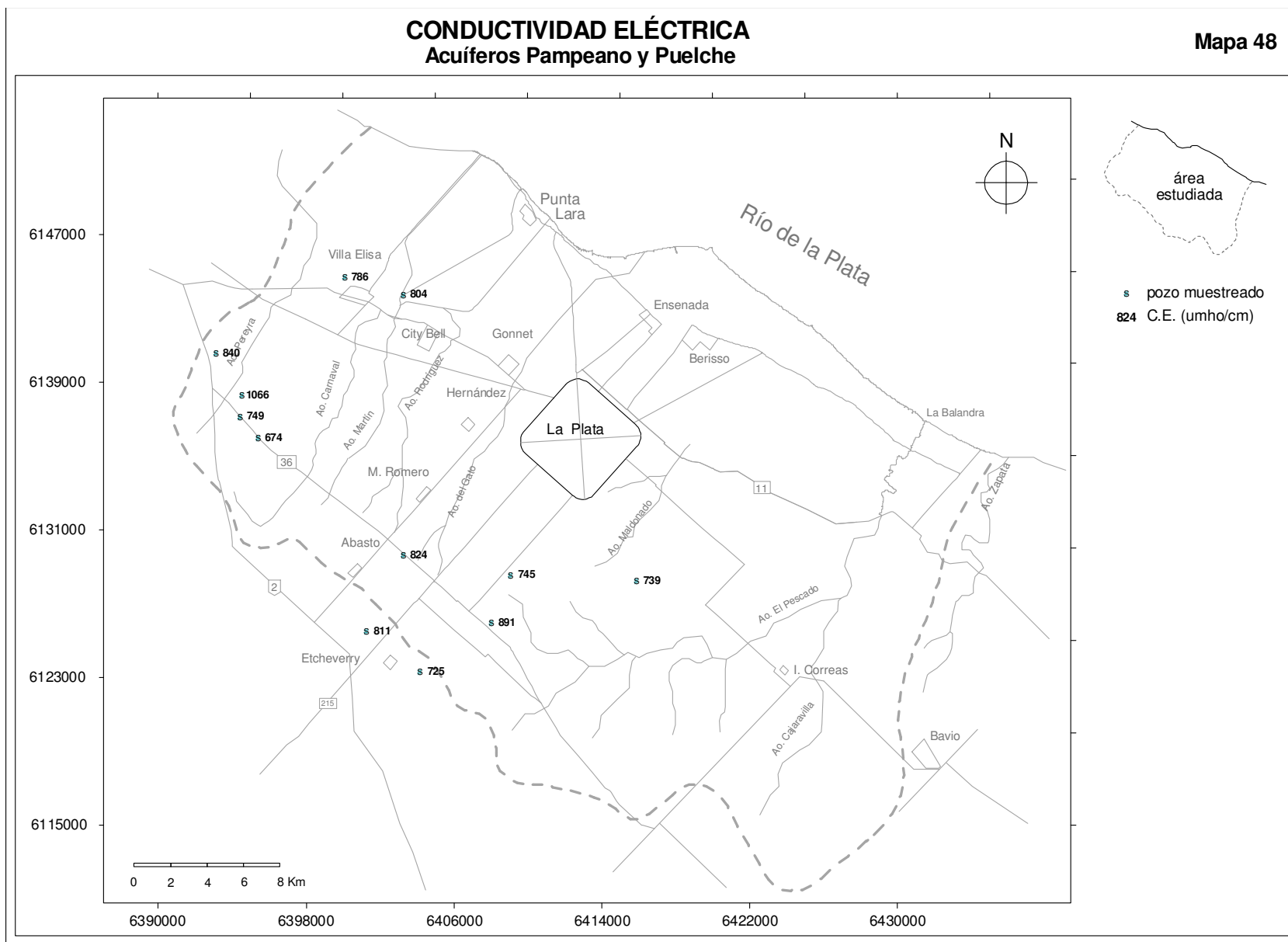
Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 47



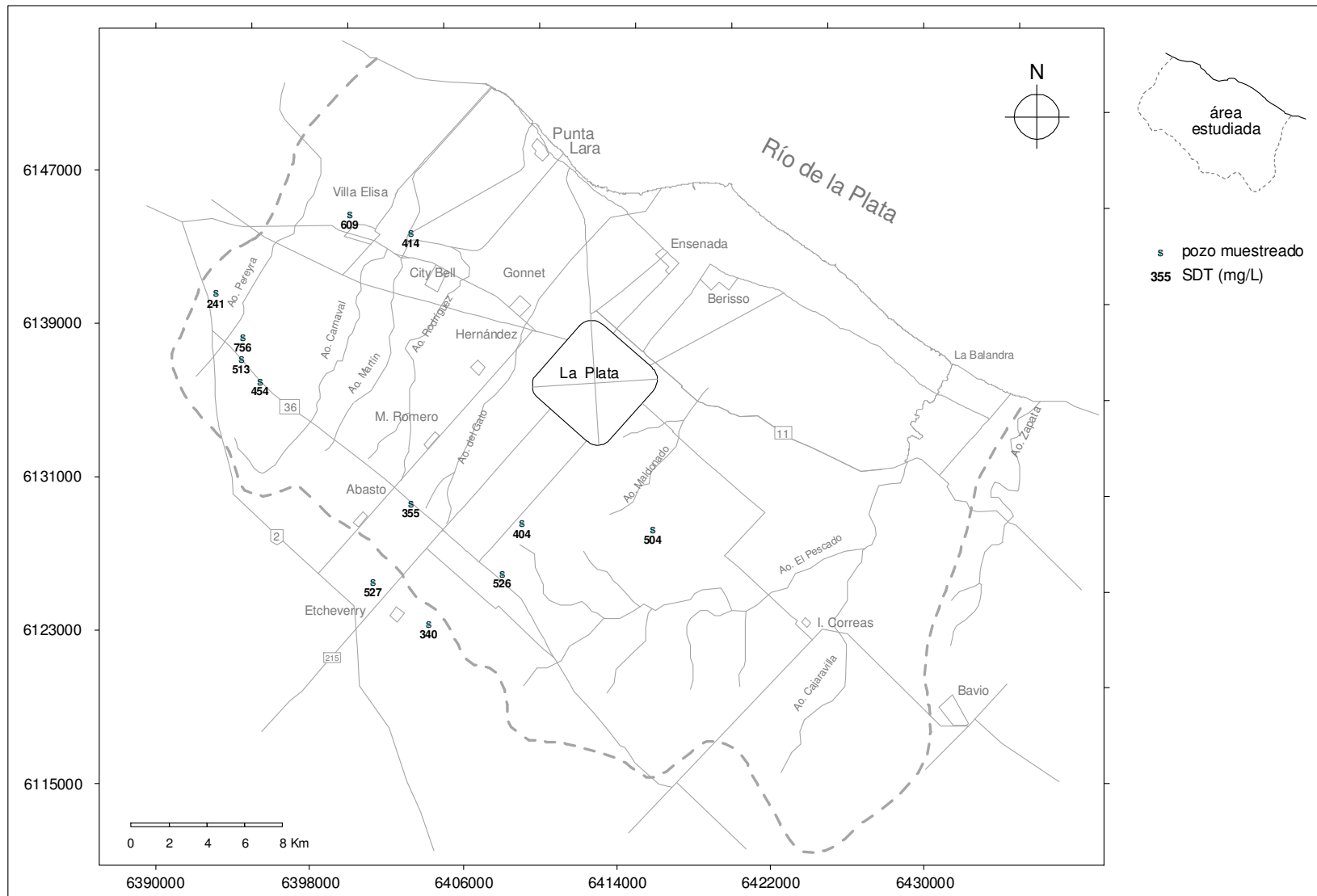
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 48



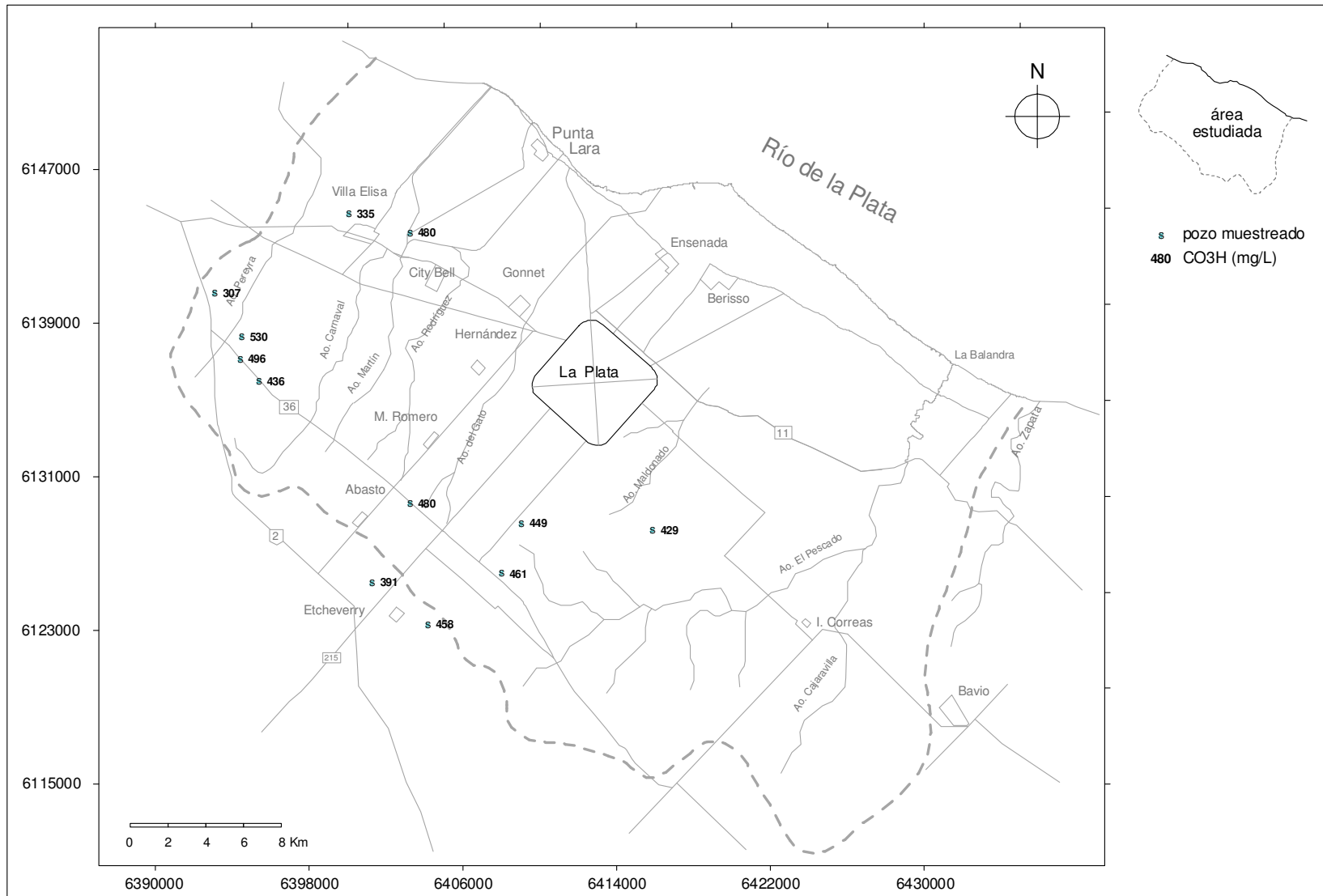
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 49



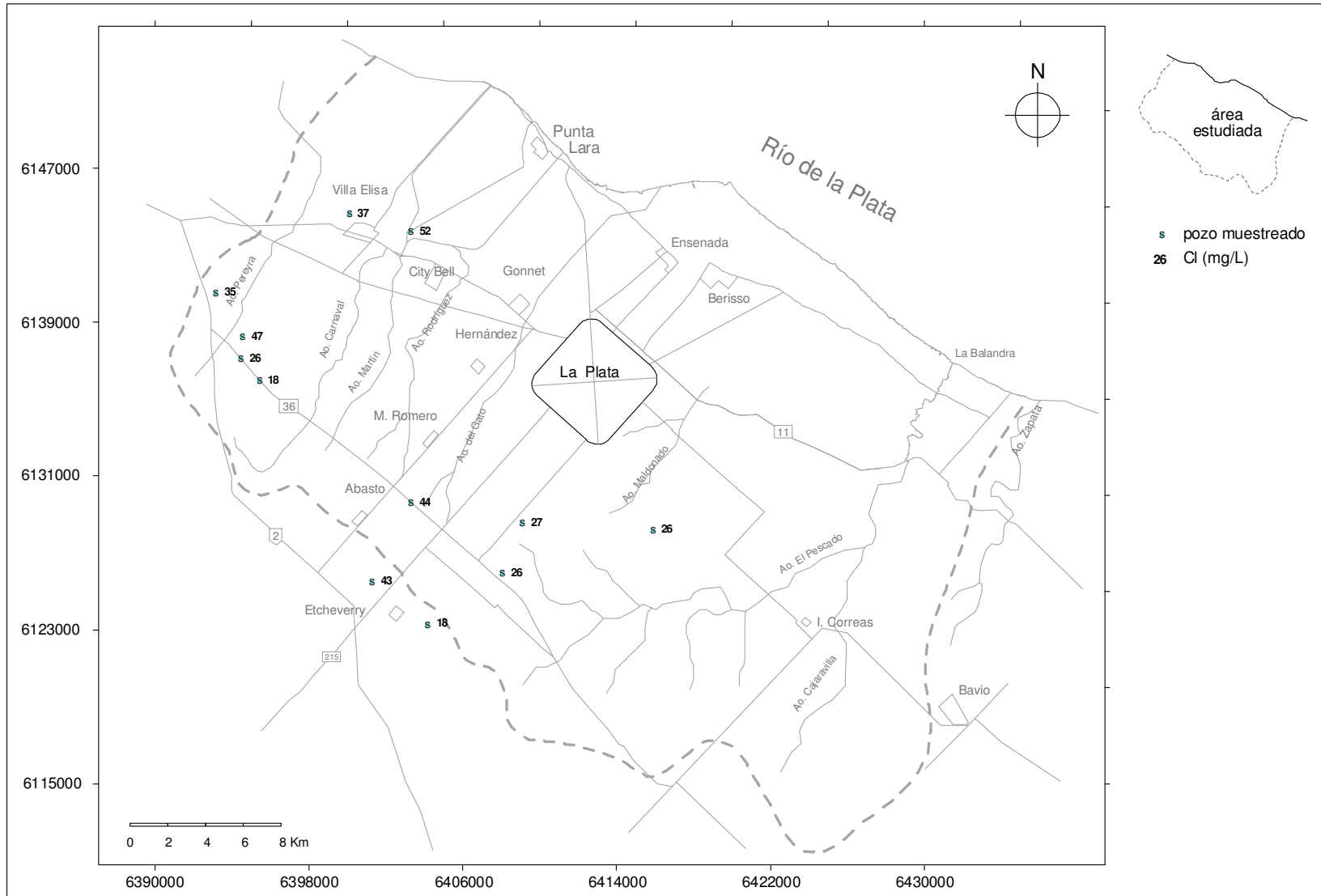
BICARBONATOS Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 50



CLORUROS **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 51

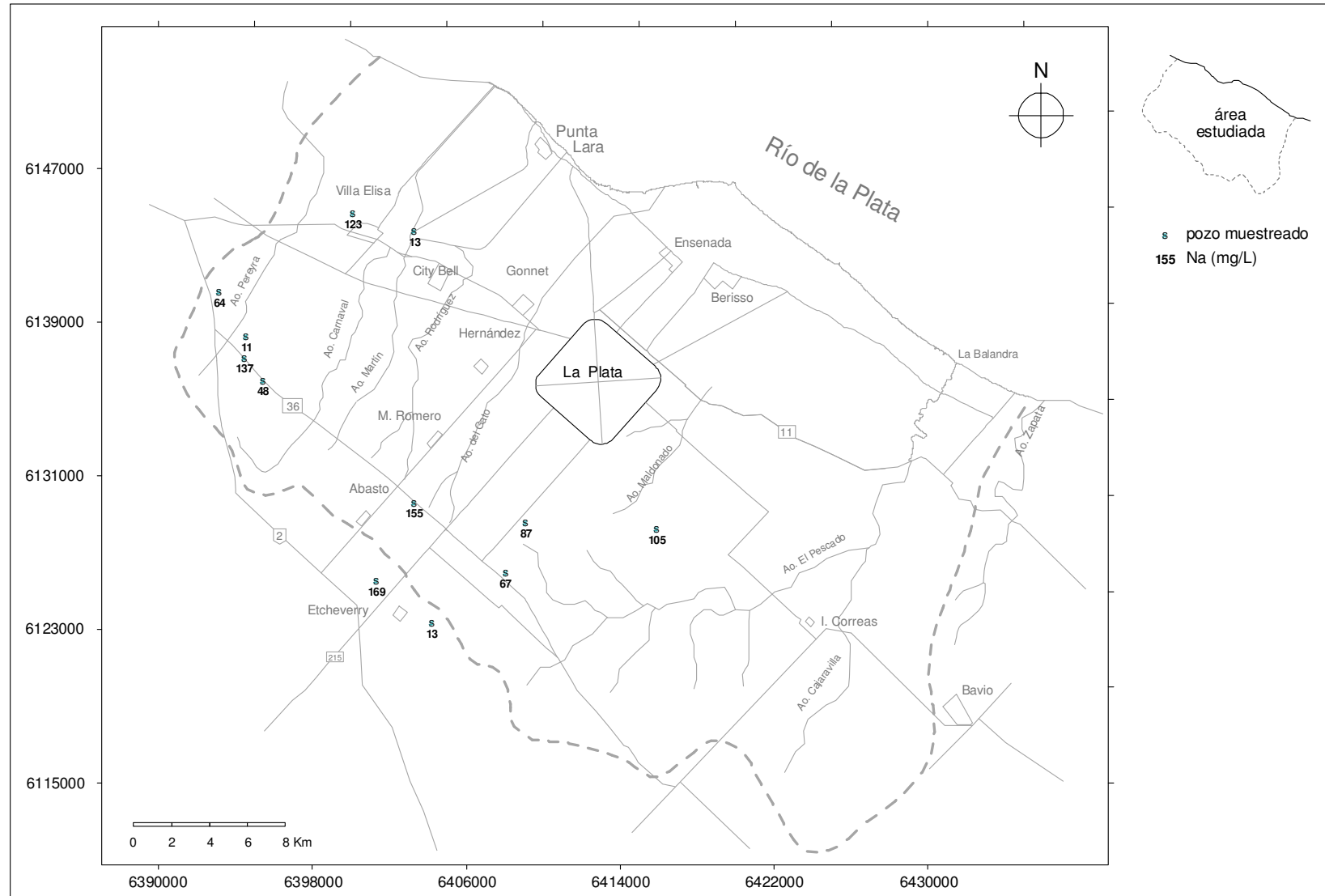


Mapa 52



SODIO Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 53



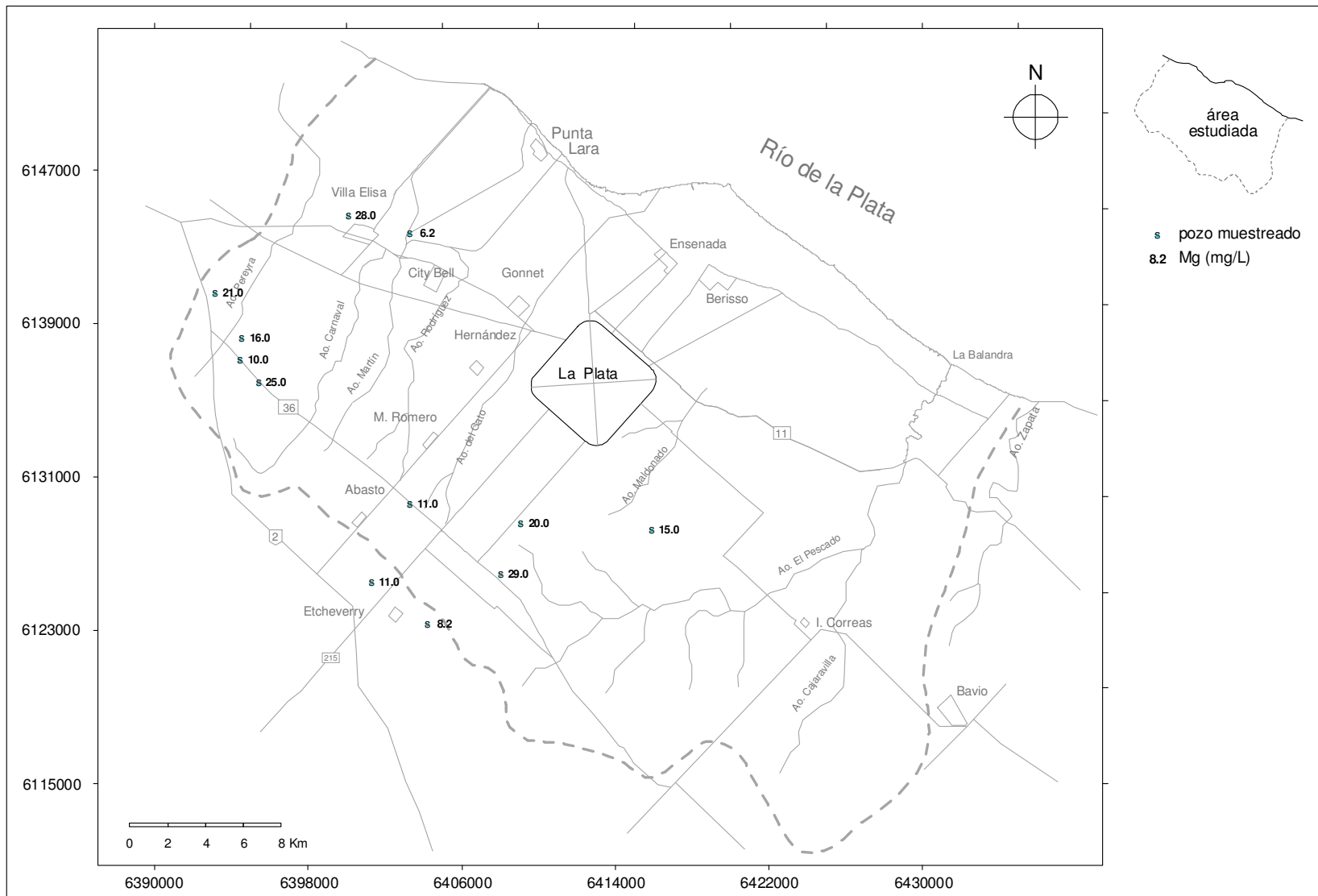
Mapa 54



MAGNESIO

Acuíferos Pampeano y Puelche

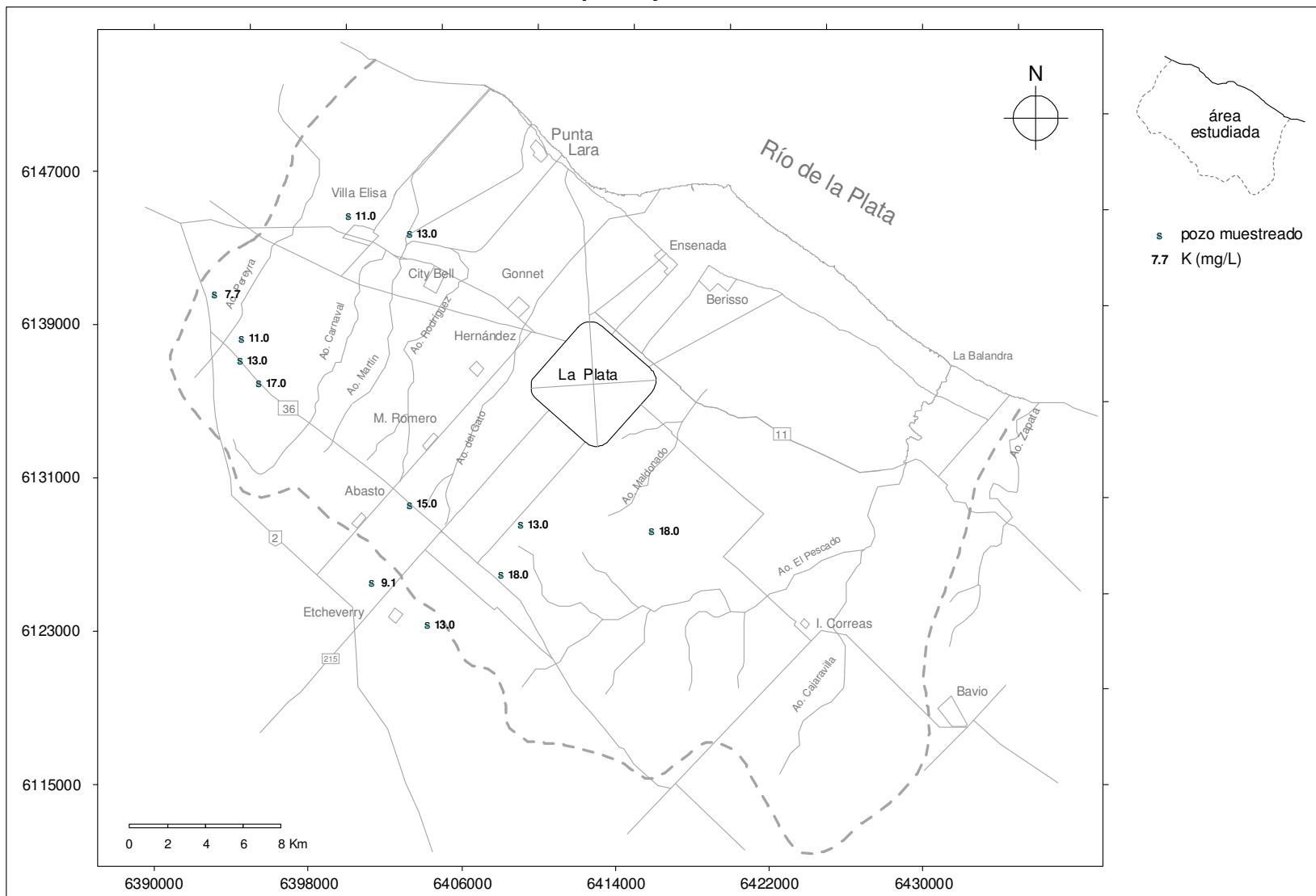
Mapa 55



POTASIO

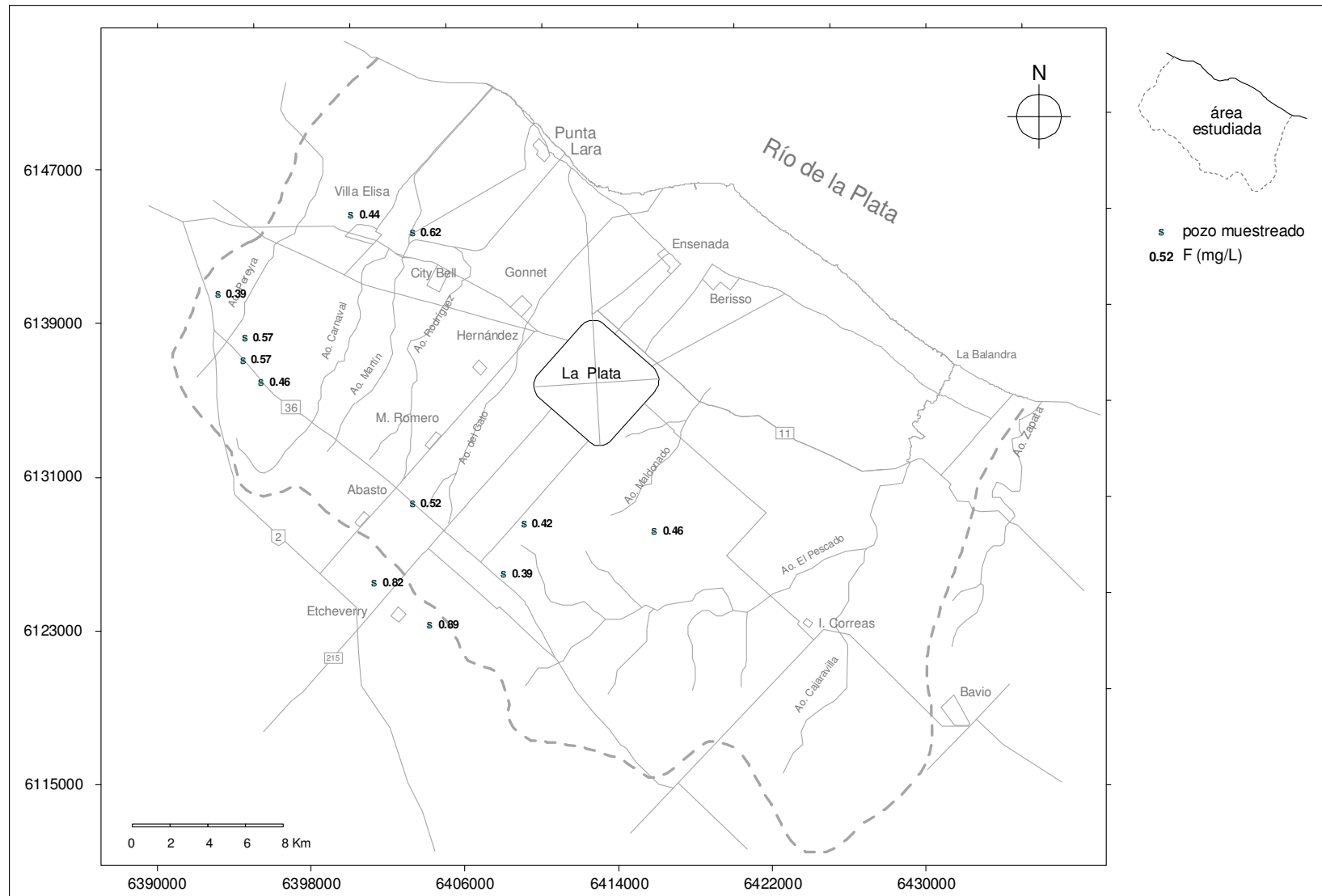
Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 56



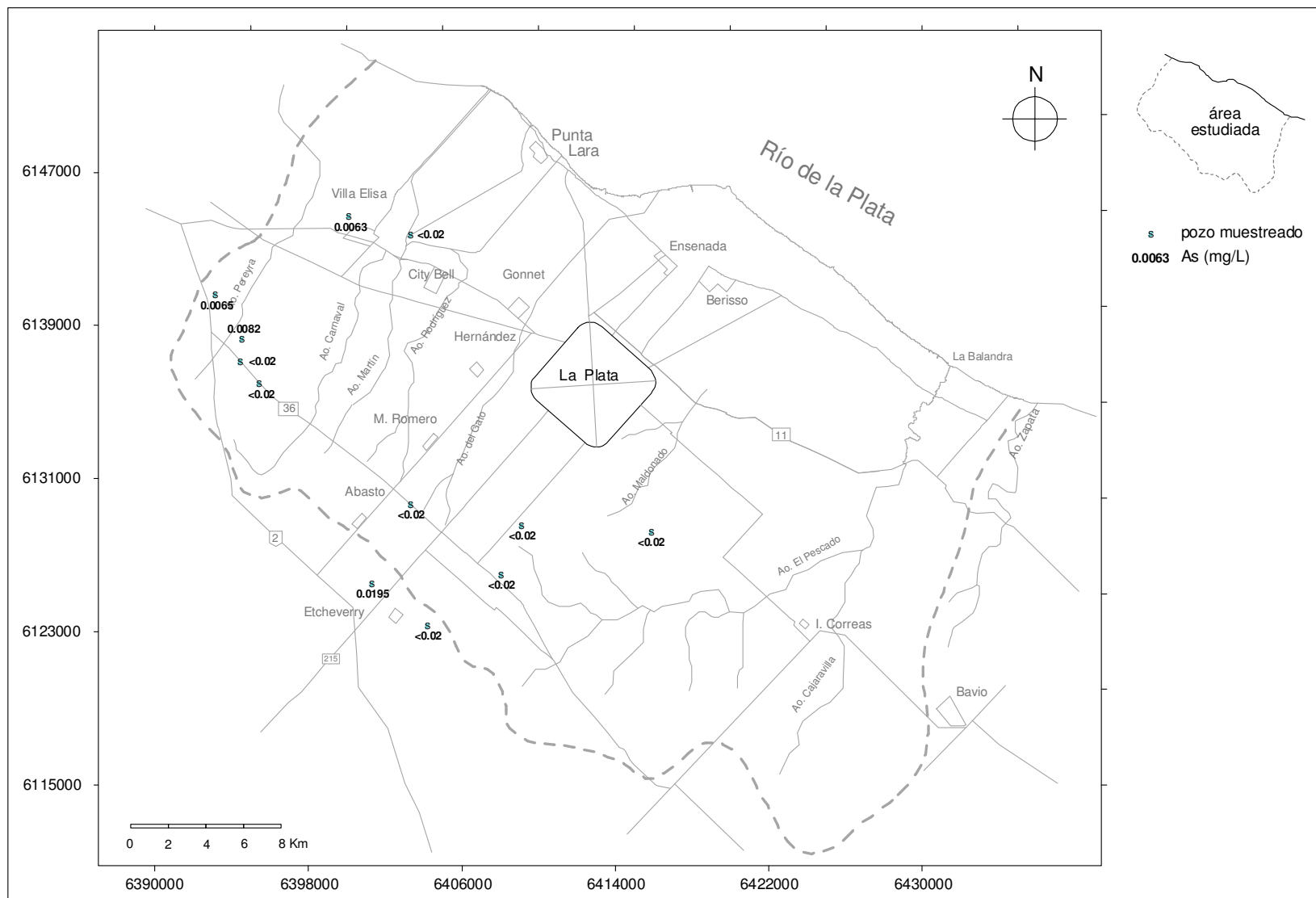
FLÚOR Acuíferos Pampeano y Puelche

Mapa 57



ARSÉNICO **Acuíferos Pampeano y Puelche**

Mapa 58



CUADRO 1

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

FORMACIÓN	POSTPAMPEANO	PAMPEANO		PUELICHE		PARANA	OLIVOS	BASAMENTO
		Llanura Alta	Planicie Costera	Llanura Alta	Planicie Costera			
Comportamiento Hidrogeológico	Acuicludo-acuitardo dominante. En los cordones conchiles, acuífero de baja permeabilidad	Acuífero de media productividad	Acuífero de media productividad	Acuífero de alta productividad	Acuífero de alta productividad	Acuicludo en la sección superior y acuífero en la inferior	Acuicludo en la sección superior y acuífero en la inferior	Acuífugo
Espesor (m)	0 a 30	25 a 45	0 a 30	15 a 30	15 a 25	234 (Perforación Pza. Armas)	189 (Perforación Pza. Armas)	
Caudal (m ³ /h)	0 (arcilla) 3 (conchilla)	10 a 30		40 a 160	30 a 120	15 a 70		
Transmisividad (m ² /d)	5 E-3 (arcilla) 10 (conchilla)	10 a 315		150 a 1500				
Permeabilidad (m/d)	1 E-3 (arcilla) 2 (conchilla)	1 a 10		10 a 50				
Salinidad (g/l)	15 (arcilla) 1 (conchilla)	0,3 a 1	4 a 15	0,5 a 1	8 a 20	3 a 7,5	6 a 40	
Litología	Arcillas y limos arcillosos y arenosos dominantes. Conchilla y arena subordinadas.	Limo arenoso loessoide	Limo arenoso loessoide	Arenas medianas y finas.	Arenas medianas y finas algo arcillosas.	Arcillas en la sección sup. y arenas arc. en la inferior	Arcilitas yesíferas en la sección sup. y conglomerado arenoso en la inferior	
Origen	Marino, fluvial y lacustre	Eólico y fluvial	Eólico y fluvial	Fluvial	Fluvial	Marino	Eólico y fluvial	Metamórfico
Edad	Pleistoceno sup. Holoceno	Pleistoceno medio - sup.	Pleistoceno medio - sup.	Plio-pleistoceno	Plio-pleistoceno	Mioceno	Oligoceno	Precámbrico

TABLA 1

ACUÍFERO PUELICHE - ANÁLISIS QUÍMICOS Y POTENCIAL HIDRÁULICO

POZO	X	Y	COTA TERR.	PROF. AGUA	COTA AGUA	pH	NO3	C.E.	SDT	CO3H	Cl	SO4	Na	Ca	Mg	K	F	As
Pu 1	6399225	6131600	28,8	9,8	19,0	8,1	9,4	782	529	436	33	41,0	163	16,0	14,0	13,0	0,59	<0.02
Pu 2	6395900	6141800	14,8	3,8	11,0	8,1	7,0	116	336	458	26	0,0	154	15,0	7,6	8,1	1,04	0.0102
Pu 3	6395650	6144450	15,8	12,0	3,8	8,0	46,0	788	518	502	35	26,0	206	12,0	6,2	12,0	0,69	<0.02
Pu 4	6402300	6139200	12,5	8,1	4,4	7,9	40,0	776	478	474	54	29,0	181	29,0	12,0	8,6	0,64	0.0085
Pu 5	6410700	6147900	2,0	2,7	-0,7	6,6	0,0	26100	23043	140	9758	1344,0	5150	945,0	845,0	89,0	0,07	<0.0002
Pu 7	6403150	6126150	27,5	7,7	19,8	8,2	11,2	545	351	327	26	19,0	93	20,0	8,0	12,0	0,45	<0.02
Pu 9	6410550	6121450	18,8	3,3	15,5	8,1	0,7	782	576	436	57	22,0	188	6,8	4,7	10,0	0,73	<0.02
Pu 11	6428350	6131600	2,6	1,1	1,5	8,5	0,0	4910	3479	447	2332	67,0	1070	65,0	61,0	31,0	0,52	0.0053
Pu 13	6418000	6131450	17,5	21,9	-4,4	7,9	36,0	828	591	530	34	48,0	158	40,0	16,0	7,5	0,53	0.0079
Pu 14	6419700	6126000	12,5	7,7	4,8	8,2	88,0	827	652	458	40	41,0	211	9,4	6,0	13,0	0,75	0.034
Pu 16	6413350	6117800	19,5	3,5	16,0	7,9	27,0	744	545	458	35	9,6	137	26,0	11,0	13,0	1,01	0.028
Pu 17	6418050	6117950	20,0	4,9	15,1	7,7	12,0	732	512	371	26	19,0	118	25,0	15,0	11,0	0,71	<0.02
Pu 18	6425450	6118450	12,0	3,1	8,9	7,9	9,6	741	539	502	35	21,0	202	10,0	5,0	12,0	0,64	<0.02
Pu 19	6431900	6118400	18,8	4,5	14,3	7,9	21,0	775	437	480	44	32,0	190	18,0	7,1	12,0	0,64	<0.02
Pu 21	6402300	6123800	25,8	6,4	19,4	8,1	6,0	626	476	391	43	38,0	112	20,0	10,0	7,1	0,71	0.0079
Pu 22	6393000	6129300	25,6	1,5	24,1	8,0	0,0	464	218	335	17	19,0	21	48,0	18,0	8,9	0,57	0.0085
Pu 23	6413300	6129950	21,9	20,4	1,5	7,7	17,2	639	448	436	21	40,8	172	17,0	5,5	10,0	0,68	<0.02
Pu 25	6433300	6133650	2,8	1,3	1,5	7,3	22,0	5840	4285	307	1684	528,0	1260	123,0	124,0	49,0	0,26	0.0022
Pu 26	6425050	6110750	21,3	4,3	17,0	8,0	16,0	697	505	480	31	22,0	186	10,0	3,9	10,0	0,82	0.037
Pu 27	6416450	6126050	16,9	8,7	8,2	8,1	13,0	743	287	458	31	9,6	163	11,0	5,1	12,0	0,80	0.022
Pu 28	6413150	6145700	2,5	2,4	0,1	7,3	1,0	17600	12595	809	5959	528,0	3770	287,0	340,0	119,0	0,21	0.0026
Pu 29	6400850	6128400	28,8	9,9	18,9	8,1	65,0	818	595	401	75	11,5	170	20,0	8,3	13,0	0,64	<0.02
Pu 30	6415800	6143900	2,5	1,8	0,7	7,0	0,0	23800	19182	307	8636	720,0	4100	1030,0	626,0	78,0	0,13	0.0012
Pu 31	6391300	6144000	21,8	21,6	0,2	7,9	35,0	714	501	486	22	32,0	170	22,0	8,9	18,0	0,60	<0.02
Pu 32	6407700	6131600	23,1	20,4	2,7	8,1	9,2	627	406	393	35	9,6	129	18,0	8,1	12,0	0,64	<0.02
Pu 35	6412200	6138000	18,0	17,1	0,9	7,8	92,0	2080	1234	546	319	7,7	363	43,0	43,0	23,0	0,36	0.0046
Pu 36	6413200	6133000	18,8	18,4	0,4	7,9	65,0	983	756	546	52	9,6	208	39,0	17,0	11,0	0,51	0.0046
Pu 38	6409600	6135600	9,4	11,8	-2,4	7,8	79,0	1117	959	655	15	0,0	254	33,0	16,0	11,2	0,52	0.0039
Pu 39	6408300	6139000	10,2	11,0	-0,8	8,3	32,0	1590	1142	786	69	9,6	385	37,0	27,0	15,0	0,65	0.0045
Pu 40	6408400	6131800	19,0	20,4	-1,4	7,8	5,0	651	151	436	26	5,8	142	19,0	7,8	7,7	0,73	0.0078
Pu 41	6416400	6133300	11,4	16,7	-5,3	8,0	41,0	874	606	567	34	7,7	200	20,0	10,0	9,2	0,84	0.0079
Pu 42	6418000	6132600	11,6	15,0	-3,4	7,9	49,0	825	499	502	34	3,8	177	14,0	7,5	7,3	0,84	0.0086
Pu 43	6417800	6131000	19,4	21,2	-1,8	7,8	49,0	741	513	458	26	5,8	182	12,0	6,0	6,3	0,88	0.0091
Pu 44	6409300	6128000	22,0	22,6	-0,6	7,8	40,0	701	531	415	34	3,8	136	28,0	10,5	8,7	0,58	0.0074
Pu 45	6411500	6134800	11,4	17,6	-6,2	7,9	91,0	1025	926	546	60	9,6	221	43,0	20,0	10,0	0,42	0.0021
Pu 46	6400800	6143000	17,5	18,9	-1,4	8,0	68,0	794	637	502	39	3,8	204	20,0	11,0	8,4	0,67	0.0063
Pu 48	6404500	6140700	13,7	18,9	-5,2	8,1	45,0	930	745	567	56	7,7	203	23,0	12,0	10,0	0,61	0.0052
Pu 49	6407400	6140000	7,6	13,5	-5,9	8,2	25,0	973	704	589	78	5,8	185	37,0	21,0	12,0	0,48	0.0039
Pu 51	6407250	6134450	10,6	12,5	-1,9	8,0	14,0	783	468	480	34	3,8	176	12,0	5,9	6,4	0,77	0.0106
Pu 52	6414950	6135750	20,0	17,7	2,3	7,7	107,0	1968	1202	480	285	33,0	226	98,0	45,0	15,0	0,29	0.0021
Pu 53	6434400	6116700	21,3	8,3	13,0	8,1	2,1	676	499	436	31	22,0	180	8,8	4,8	11,0	0,75	<0.02

TABLA 2

ACUÍFERO PAMPEANO - ANÁLISIS QUÍMICOS Y POTENCIAL HIDRÁULICO

POZO	X	Y	COTA TERR.	PROF. AGUA	COTA AGUA	pH	NO3	C.E.	SDT	CO3H	Cl	SO4	Na	Ca	Mg	K	F	As
Pa 1	6392975	6134950	29,5	1,9	27,6	7,6	51	996	312	558	58	19,0	160	72,5	28,0	21,0	0,42	0.0067
Pa 2	6400450	6131950	26,7	9,7	17,0	7,4	33	699	487	387	15	31,0	62	48,0	16,0	13,5	0,32	<0.02
Pa 4	6394250	6144550	19,3	15,7	3,6	8,3	10	766	536	524	15	22,0	159	14,0	7,5	13,0	0,68	<0.02
Pa 5	6401425	6140450	12,5	6,4	6,1	7,8	37	893	392	530	43	29,0	161	45,0	23,0	11,5	0,68	0.0056
Pa 6	6401725	6144550	3,6	0,7	2,9	8,0	144	1162	961	542	70	65,0	208	23,0	24,0	27,0	0,61	<0.02
Pa 7	6411000	6139100	7,5	5,1	2,4	7,2	32	1117	818	240	176	134,0	184	28,0	17,0	16,5	0,20	<0.02
Pa 8	6409350	6133400	14,4	15,2	-0,8	7,8	59	1240	1034	786	37	23,0	254	39,0	14,0	15,5	0,38	<0.02
Pa 9	6403100	6126300	27,5	10,6	16,9	7,6	1	611	485	349	22	9,6	13	47,0	15,0	14,0	0,20	<0.02
Pa 10	6408250	6125100	24,4	9,7	14,7	7,9	40	687	681	436	31	9,6	96	22,0	7,6	13,0	0,63	<0.02
Pa 11	6423950	6139650	5,0	2,2	2,8	7,3	30	1837	1562	567	282	185,0	219	164,0	48,0	30,5	0,21	<0.02
Pa 12	6424950	6131750	4,3	1,7	2,6	8,8	5	1417	1165	873	48	21,0	338	2,8	2,7	20,0	3,62	0.408
Pa 14	6417600	6131600	13,4	15,4	-2,0	8,0	41	843	742	480	20	9,6	167	15,0	6,2	10,0	1,13	<0.02
Pa 15	6421150	6126250	15,3	9,7	5,6	7,5	61	946	830	546	44	9,6	172	30,0	16,0	16,0	0,98	0.02
Pa 16	6423400	6123450	10,6	4,0	6,6	7,6	67	1153	925	633	62	41,0	136	81,5	47,0	17,0	0,60	<0.02
Pa 17	6416150	6115050	22,5	5,8	16,7	7,6	42	844	623	502	22	44,0	57	101,0	36,0	19,0	0,41	<0.02
Pa 18	6426700	6115450	18,8	5,8	13,0	7,7	54	874	670	524	44	11,0	97	70,0	25,0	18,0	0,38	<0.02
Pa 19	6413500	6117550	19,1	2,1	17,0	8,2	10	653	458	394	26	14,0	114	21,0	6,4	11,0	0,93	0.041
Pa 20	6431450	6117300	21,3	8,4	12,9	7,5	62	792	580	483	44	9,6	55	85,0	31,0	19,0	0,48	<0.02
Pa 21	6432225	6125350	13,8	2,7	11,1	7,9	18	794	330	530	39	38,0	203	20,0	6,5	7,2	1,20	0.0116
Pa 22	6406650	6142900	2,5	1,7	0,8	8,5	42	1206	966	720	69	17,0	341	3,1	2,3	10,0	1,60	0.0406
Pa 24	6398750	6125550	25,3	3,6	21,7	8,1	57	788	610	480	26	9,6	163	16,0	6,0	13,0	0,74	0.03
Pa 25	6393050	6132300	27,8	2,9	24,9	7,9	26	671	326	502	43	48,0	44	73,5	26,0	16,0	0,42	0.0045
Pa 28	6427100	6137900	2,0	1,6	0,4	7,5	5	2370	1540	571	514	172,0	304	166,0	60,0	22,0	0,65	0.029
Pa 29	6431300	6134900	2,7	1,5	1,2	7,8	18	3730	2678	499	852	346,0	543	180,0	79,0	23,0	0,21	<0.02
Pa 30	6433600	6129300	5,0	0,7	4,3	8,0	1	1601	807	430	229	77,0	275	20,0	12,5	16,5	0,80	<0.02
Pa 31	6420000	6113050	17,0	3,8	13,2	7,8	142	1298	765	491	132	70,0	220	33,5	16,0	17,5	0,59	<0.02
Pa 32	6391850	6142500	21,1	12,7	8,4	7,4	51	993	606	567	26	27,0	95	83,0	31,0	17,0	0,46	<0.02
Pa 33	6401650	6118600	19,8	2,5	17,3	9,0	1	545	241	363	39	29,0	112	12,0	13,0	9,3	0,61	0.0149
Pa 34	6416600	6121100	17,0	4,6	12,4	7,8	23	625	459	497	26	9,6	157	16,0	7,3	12,0	0,84	0.034
Pa 36	6396600	6118400	18,9	1,8	17,1	8,3	4	483	252	335	22	19,0	121	7,0	3,9	7,0	1,50	0.0549
Pa 37	6434900	6116300	19,4	3,1	16,3	7,7	202	1353	1213	524	128	96,0	99	122,0	51,0	20,0	0,35	<0.02
Pa 38	6437300	6126000	9,4	2,0	7,4	7,4	10	1171	844	611	93	9,6	90	122,0	27,0	21,0	0,28	<0.02

TABLA 3

ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELCHÉ - ANÁLISIS QUÍMICOS Y POTENCIAL HIDRÁULICO

POZO	X	Y	COTA TERR.	PROF. AGUA	COTA AGUA	pH	NO3	C.E.	SDT	CO3H	Cl	SO4	Na	Ca	Mg	K	F	As
PaPu 1	6395425	6136000	27,8	6,9	20,9	7,7	32	674	454	436	18	31,0	48	81,0	25,0	17,0	0,46	<0.02
PaPu 2	6393150	6140600	20,0	4,9	15,1	7,9	56	840	241	307	35	19,0	64	40,0	21,0	7,7	0,39	0.0065
PaPu 3	6400100	6144700	13,8	8,5	5,3	8,8	159	786	609	335	37	48,0	123	20,0	28,0	11,0	0,44	0.0063
PaPu 4	6394450	6137150	26,5	6,9	19,6	7,6	21	749	513	496	26	9,6	137	27,0	10,0	13,0	0,57	<0.02
PaPu 5	6415900	6128250	22,5	12,9	9,6	7,7	70	739	504	429	26	9,6	105	35,0	15,0	18,0	0,46	<0.02
PaPu 6	6408050	6126000	25,5	11,9	13,6	7,6	151	891	526	461	26	41,0	67	90,0	29,0	18,0	0,39	<0.02
PaPu 7	6401300	6125550	26,3	7,6	18,7	8,1	100	811	527	391	43	67,0	169	33,0	11,0	9,1	0,82	0.0195
PaPu 8	6409100	6128600	25,0	22,4	2,6	7,6	36	745	404	449	27	41,0	87	92,0	20,0	13,0	0,42	<0.02
PaPu 9	6403300	6129650	26,6	12,6	14,0	8,3	49	824	355	480	44	9,6	155	28,0	11,0	15,0	0,52	<0.02
PaPu 10	6403300	6143750	20,0	14,1	5,9	8,0	1	804	414	480	52	9,6	13	9,3	6,2	13,0	0,62	<0.02
PaPu 11	6394550	6138300	16,8	14,2	2,6	7,8	161	1066	756	530	47	48,0	11	44,0	16,0	11,0	0,57	0.0082
PaPu 12	6404200	6123350	12,2	5,0	7,2	8,1	13	725	340	458	18	22,0	13	13,0	8,2	13,0	0,89	<0.02

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PUELCHÉ – LLANURA ALTA

Pozo	Pu 1	Pu 2	Pu 3	Pu 4	Pu 7	Pu 9	Pu 13	Pu 14	Pu 16	Pu 17
Coord. x	6399225	6395900	6395650	6402300	6403150	6410550	6418000	6419700	6413350	6418050
Coord. y	6131600	6141800	6144450	6139200	6126150	6121450	6131450	6126000	6117800	6117950

CE uS/cm	782	116	788	776	545	782	828	827	744	732
pH	8,1	8,1	8	7,9	8,2	8,1	7,9	8,2	7,9	7,7
TSD	529	336	518	478	351	576	591	652	545	512

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	436	458	502	474	327	436	530	458	458	371
SO ₄ =	41	0	26	29	19	22	48	41	9,6	19
Cl-	33	26	35	54	26	57	34	40	35	26
NO ₃ -	9,4	7	46	40	11,2	0,7	36	88	27	12
sum aniones	519,4	491	609	597	383,2	515,7	648	627	529,6	428
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	163	154	206	181	93	188	158	211	137	118
K+	13	8,1	12	8,6	12	10	7,5	13	13	11
Ca++	16	15	12	29	20	6,8	40	9,4	26	25
Mg++	14	7,6	6,2	12	8	4,7	16	6	11	15
sum cationes	206	184,7	236,2	230,6	133	209,5	221,5	239,4	187	169

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	7,15	7,51	8,23	7,77	5,36	7,15	8,69	7,51	7,51	6,08
SO ₄ =	0,85	0,00	0,54	0,60	0,40	0,46	1,00	0,85	0,20	0,40
Cl-	0,93	0,73	0,99	1,52	0,73	1,61	0,96	1,13	0,99	0,73
NO ₃ -	0,15	0,11	0,74	0,65	0,18	0,01	0,58	1,42	0,44	0,19
Cl-+NO ₃ -	1,08	0,85	1,73	2,17	0,91	1,62	1,54	2,55	1,42	0,93
sum aniones	9,08	8,35	10,50	10,54	6,67	9,22	11,23	10,91	9,13	7,40
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	7,42	6,90	9,26	8,09	4,35	8,43	7,06	9,51	6,29	5,41
Na+	7,09	6,70	8,96	7,87	4,04	8,17	6,87	9,17	5,96	5,13
K+	0,33	0,21	0,31	0,22	0,31	0,26	0,19	0,33	0,33	0,28
Ca++	0,80	0,75	0,60	1,45	1,00	0,34	2,00	0,47	1,30	1,25
Mg++	1,16	0,63	0,51	0,99	0,66	0,39	1,32	0,50	0,91	1,24
sum cationes	9,38	8,28	10,38	10,53	6,01	9,16	10,38	10,47	8,50	7,90

cationes(meq/l)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	78,69	89,88	78,38	73,72	80,38	77,50	77,39	68,83	82,24	82,15
SO ₄ =	9,40	0,00	5,16	5,73	5,93	4,97	8,91	7,83	2,19	5,35
Cl-	10,23	8,77	9,39	14,43	10,98	17,41	8,53	10,33	10,80	9,89
NO ₃ -	1,67	1,35	7,07	6,12	2,71	0,12	5,17	13,01	4,77	2,61
Cl-+NO ₃ -	11,90	10,12	16,46	20,55	13,69	17,53	13,70	23,34	15,57	12,51
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	79,13	83,36	89,28	76,81	72,37	92,05	68,00	90,78	74,00	68,49
Na+	75,58	80,86	86,32	74,73	67,26	89,25	66,16	87,60	70,09	64,93
K+	3,55	2,50	2,96	2,09	5,11	2,79	1,85	3,17	3,91	3,56
Ca++	8,53	9,06	5,78	13,77	16,63	3,71	19,26	4,49	15,30	15,82
Mg++	12,34	7,58	4,94	9,42	11,00	4,24	12,73	4,74	10,70	15,69
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas										
rNa/rK	21,32	32,32	29,18	35,78	13,18	31,96	35,81	27,59	17,92	18,24
rMg/rCa	1,45	0,84	0,85	0,68	0,66	1,14	0,66	1,06	0,70	0,99
rSO ₄ /rCl	0,92	0,00	0,55	0,40	0,54	0,29	1,04	0,76	0,20	0,54
rCl/rCO ₃ H	0,13	0,10	0,12	0,20	0,14	0,22	0,11	0,15	0,13	0,12
icb	-6,98	-8,42	-8,40	-4,32	-4,94	-4,25	-6,37	-7,44	-5,38	-6,39
Kr	3,44	3,48	3,44	4,44	3,06	2,59	5,32	2,98	4,18	3,59

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PUELCHÉ – LLANURA ALTA

Pozo	Pu 18	Pu 19	Pu 21	Pu 22	Pu 23	Pu 26	Pu 27	Pu 29	Pu 31	Pu 32
Coord. x	6425450	6431900	6402300	6393000	6413300	6425050	6416450	6400850	6391300	6407700
Coord. y	6118450	6118400	6123800	6129300	6129950	6110750	6126050	6128400	6144000	6131600

CE uS/cm	741	775	626	464	639	697	743	818	714	627
pH	7,9	7,9	8,1	8	7,7	8	8,1	8,1	7,9	8,1
TSD	539	437	476	218	448	505	287	595	501	406

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	502	480	391	335	436	480	458	401	486	393
SO ₄ =	21	32	38	19	40,8	22	9,6	11,5	32	9,6
Cl-	35	44	43	17	21	31	31	75	22	35
NO ₃ -	9,6	21	6	0	17,2	16	13	65	35	9,2
sum aniones	567,6	577	478	371	515	549	511,6	552,5	575	446,8
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	202	190	112	21	172	186	163	170	170	129
K+	12	12	7,1	8,9	10	10	12	13	18	12
Ca++	10	18	20	48	17	10	11	20	22	18
Mg++	5	7,1	10	18	5,5	3,9	5,1	8,3	8,9	8,1
sum cationes	229	227,1	149,1	95,9	204,5	209,9	191,1	211,3	218,9	167,1

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	8,23	7,87	6,41	5,49	7,15	7,87	7,51	6,57	7,97	6,44
SO ₄ =	0,44	0,67	0,79	0,40	0,85	0,46	0,20	0,24	0,67	0,20
Cl-	0,99	1,24	1,21	0,48	0,59	0,87	0,87	2,11	0,62	0,99
NO ₃ -	0,15	0,34	0,10	0,00	0,28	0,26	0,21	1,05	0,56	0,15
Cl-+NO ₃ -	1,14	1,58	1,31	0,48	0,87	1,13	1,08	3,16	1,18	1,13
sum aniones	9,81	10,11	8,51	6,37	8,87	9,46	8,79	9,97	9,82	7,78
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	9,09	8,57	5,05	1,14	7,73	8,34	7,39	7,72	7,85	5,92
Na+	8,78	8,26	4,87	0,91	7,48	8,09	7,09	7,39	7,39	5,61
K+	0,31	0,31	0,18	0,23	0,26	0,26	0,31	0,33	0,46	0,31
Ca++	0,50	0,90	1,00	2,40	0,85	0,50	0,55	1,00	1,10	0,90
Mg++	0,41	0,59	0,83	1,49	0,45	0,32	0,42	0,69	0,74	0,67
sum cationes	10,00	10,05	6,88	5,03	9,04	9,17	8,37	9,41	9,69	7,49

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	83,91	77,80	75,33	86,26	80,61	83,19	85,41	65,91	81,15	82,84
SO ₄ =	4,46	6,59	9,30	6,22	9,59	4,85	2,28	2,40	6,79	2,57
Cl-	10,05	12,26	14,23	7,52	6,67	9,23	9,93	21,18	6,31	12,68
NO ₃ -	1,58	3,35	1,14	0,00	3,13	2,73	2,39	10,51	5,75	1,91
Cl-+NO ₃ -	11,63	15,60	15,37	7,52	9,80	11,96	12,32	31,69	12,06	14,59
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	90,87	85,21	73,44	22,69	85,57	91,03	88,39	82,08	81,05	79,03
Na+	87,80	82,16	70,80	18,16	82,74	88,24	84,72	78,55	76,30	74,93
K+	3,07	3,05	2,64	4,53	2,83	2,79	3,67	3,53	4,75	4,10
Ca++	5,00	8,95	14,54	47,73	9,40	5,46	6,57	10,63	11,36	12,02
Mg++	4,13	5,84	12,02	29,58	5,03	3,52	5,04	7,29	7,59	8,94
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas										
rNa/rK	28,62	26,92	26,82	4,01	29,24	31,62	23,09	22,23	16,06	18,28
rMg/rCa	0,83	0,65	0,83	0,62	0,53	0,64	0,77	0,69	0,67	0,74
rSO ₄ /rCl	0,44	0,54	0,65	0,83	1,44	0,52	0,23	0,11	1,08	0,20
rCl/rCO ₃ H	0,12	0,16	0,19	0,09	0,08	0,11	0,12	0,32	0,08	0,15
icb	-8,22	-5,91	-3,17	-1,38	-12,07	-8,55	-7,47	-2,66	-11,67	-5,00
Kr	3,24	3,82	3,45	4,17	3,51	3,14	3,14	3,51	4,12	3,34

TABLA 4

Pozo	Pu 36	Pu 40	Pu 41	Pu 42	Pu 43	Pu 44	Pu 46	Pu 48	Pu 49	Pu 51	Pu 53
Coord. x	6413200	6408400	6416400	6418000	6417800	6409300	6400800	6404500	6407400	6407250	6434400
Coord. y	6133000	6131800	6133300	6132600	6131000	6128000	6143000	6140700	6140000	6134450	6116700

CE uS/cm	983	651	874	825	741	701	794	930	973	783	676
pH	7,9	7,8	8	7,9	7,8	7,8	8	8,1	8,2	8	8,1
TSD	756	151	606	499	513	531	637	745	704	468	499

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	546	436	567	502	458	415	502	567	589	480	436
SO ₄ =	9,6	5,8	7,7	3,8	5,8	3,8	3,8	7,7	5,8	3,8	22
Cl-	52	26	34	34	26	34	39	56	78	34	31
NO ₃ -	65	5	41	49	49	40	68	45	25	14	2,1
sum aniones	672,6	472,8	649,7	588,8	538,8	492,8	612,8	675,7	697,8	531,8	491,1

cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	208	142	200	177	182	136	204	203	185	176	180
K+	11	7,7	9,2	7,3	6,3	8,7	8,4	10	12	6,4	11
Ca++	39	19	20	14	12	28	20	23	37	12	8,8
Mg++	17	7,8	10	7,5	6	10,5	11	12	21	5,9	4,8
sum cationes	275	176,5	239,2	205,8	206,3	183,2	243,4	248	255	200,3	204,6

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	8,95	7,15	9,30	8,23	7,51	6,80	8,23	9,30	9,66	7,87	7,15
SO ₄ =	0,20	0,12	0,16	0,08	0,12	0,08	0,08	0,16	0,12	0,08	0,46
Cl-	1,46	0,73	0,96	0,96	0,73	0,96	1,10	1,58	2,20	0,96	0,87
NO ₃ -	1,05	0,08	0,66	0,79	0,79	0,65	1,10	0,73	0,40	0,23	0,03
Cl-+NO ₃ -	2,51	0,81	1,62	1,75	1,52	1,60	2,20	2,30	2,60	1,18	0,91
sum aniones	11,66	8,08	11,07	10,06	9,15	8,49	10,50	11,76	12,38	9,13	8,51

cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	9,32	6,37	8,93	7,88	8,07	6,14	9,08	9,08	8,35	7,82	8,11
Na+	9,04	6,17	8,70	7,70	7,91	5,91	8,87	8,83	8,04	7,65	7,83
K+	0,28	0,20	0,24	0,19	0,16	0,22	0,21	0,26	0,31	0,16	0,28
Ca++	1,95	0,95	1,00	0,70	0,60	1,40	1,00	1,15	1,85	0,60	0,44
Mg++	1,40	0,64	0,83	0,62	0,50	0,87	0,91	0,99	1,74	0,49	0,40
sum cationes	12,68	7,97	10,76	9,20	9,17	8,40	10,99	11,22	11,94	8,90	8,94

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	76,74	88,44	83,93	81,83	82,04	80,18	78,35	79,05	78,01	86,17	83,96
SO ₄ =	1,71	1,50	1,45	0,79	1,32	0,93	0,75	1,36	0,98	0,87	5,38
Cl-	12,56	9,06	8,65	9,52	8,00	11,29	10,46	13,42	17,75	10,49	10,26
NO ₃ -	8,99	1,00	5,97	7,86	8,64	7,60	10,44	6,17	3,26	2,47	0,40
Cl-+NO ₃ -	21,55	10,06	14,62	17,38	16,64	18,89	20,90	19,59	21,01	12,96	10,66
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

cations(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	73,54	79,98	83,02	85,66	88,05	73,01	82,63	80,92	69,96	87,78	90,65
Na+	71,32	77,51	80,83	83,63	86,29	70,37	80,68	78,64	67,39	85,95	87,50
K+	2,22	2,47	2,19	2,03	1,76	2,65	1,95	2,28	2,57	1,84	3,15
Ca++	15,38	11,93	9,30	7,61	6,54	16,66	9,10	10,25	15,50	6,74	4,92
Mg++	11,08	8,09	7,68	6,74	5,41	10,33	8,27	8,84	14,54	5,48	4,44
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas											
rNa/rK	32,15	31,35	36,96	41,22	49,11	26,57	41,29	34,51	26,21	46,75	27,82
rMg/rCa	0,72	0,68	0,83	0,89	0,83	0,62	0,91	0,86	0,94	0,81	0,90
rSO ₄ /rCl	0,14	0,16	0,17	0,08	0,16	0,08	0,07	0,10	0,05	0,08	0,52
rCl/rCO ₃ H	0,16	0,10	0,10	0,12	0,10	0,14	0,13	0,17	0,23	0,12	0,12
icb	-5,37	-7,70	-8,32	-7,23	-10,02	-5,41	-7,27	-4,76	-2,80	-7,16	-8,28
Kr	5,39	3,65	4,42	3,62	3,23	4,02	4,08	4,63	5,57	3,34	2,82

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PUELICHE – PLANICIE COSTERA

Pozo	Pu 5	Pu 11	Pu 25	Pu 28	Pu 30
Coord. x	6410700	6428350	6433300	6413150	6415800
Coord. y	6147900	6131600	6133650	6145700	6143900
CE uS/cm	26100	4910	5840	17600	23800
pH	6,6	8,5	7,3	7,3	7
TSD	23043	3479	4285	12595	19182

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	140	447	307	809	307
SO ₄ =	1344	67	528	528	720
Cl-	9758	2332	1684	5959	8636
NO ₃ -	0	0	22	1	0
sum aniones	11242	2846	2541	7297	9663
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	5150	1070	1260	3770	4100
K+	89	31	49	119	78
Ca++	945	65	123	287	1030
Mg++	845	61	124	340	626
sum cationes	7029	1227	1556	4516	5834

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	2,30	7,33	5,03	13,26	5,03
SO ₄ =	28,00	1,40	11,00	11,00	15,00
Cl-	274,87	65,69	47,44	167,86	243,27
NO ₃ -	0,00	0,00	0,35	0,02	0,00
Cl+NO ₃ -	274,87	65,69	47,79	167,88	243,27
sum aniones	305,17	74,41	63,82	192,14	263,30
cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	226,19	47,31	56,04	166,96	180,26
Na+	223,91	46,52	54,78	163,91	178,26
K+	2,28	0,79	1,25	3,04	1,99
Ca++	47,25	3,25	6,15	14,35	51,50
Mg++	69,83	5,04	10,25	28,10	51,74
sum cationes	343,27	55,61	72,43	209,41	283,49

aniones(%)	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	0,75	9,85	7,89	6,90	1,91
SO ₄ =	9,18	1,88	17,23	5,73	5,70
Cl-	90,07	88,28	74,32	87,36	92,39
NO ₃ -	0,00	0,00	0,56	0,01	0,00
Cl+NO ₃ -	90,07	88,28	74,88	87,37	92,39
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cations(%)	%	%	%	%	%
Na+ + K+	65,89	85,09	77,36	79,73	63,58
Na+	65,23	83,66	75,63	78,28	62,88
K+	0,66	1,43	1,73	1,45	0,70
Ca++	13,76	5,84	8,49	6,85	18,17
Mg++	20,34	9,07	14,15	13,42	18,25
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas					
rNa/rK	98,37	58,68	43,71	53,86	89,36
rMg/rCa	1,48	1,55	1,67	1,96	1,00
rSO ₄ /rCl	0,10	0,02	0,23	0,07	0,06
rCl/rCO ₃ H	119,77	8,96	9,43	12,66	48,34
icb	0,18	0,28	-0,18	0,01	0,26
Kr	6,29	5,59	5,38	13,62	10,93

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PUELICHE – LA PLATA

Pozo	Pu 35	Pu 38	Pu 39	Pu 45	Pu 52
Coord. x	6412200	6409600	6408300	6411500	6414950
Coord. y	6138000	6135600	6139000	6134800	6135750

CE uS/cm	2080	1117	1590	1025	1968
pH	7,8	7,8	8,3	7,9	7,7
TSD	1234	959	1142	926	1202

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	546	655	786	546	480
SO ₄ =	7,7	0	9,6	9,6	33
Cl-	319	15	69	60	285
NO ₃ -	92	79	32	91	107
sum aniones	964,7	749	896,6	706,6	905
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	363	254	385	221	226
K+	23	11,2	15	10	15
Ca++	43	33	37	43	98
Mg++	43	16	27	20	45
sum cationes	472	314,2	464	294	384

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	8,95	10,74	12,89	8,95	7,87
SO ₄ =	0,16	0,00	0,20	0,20	0,69
Cl-	8,99	0,42	1,94	1,69	8,03
NO ₃ -	1,48	1,27	0,52	1,47	1,73
Cl-+NO ₃ -	10,47	1,70	2,46	3,16	9,75
sum aniones	19,58	12,43	15,55	12,31	18,31
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	16,37	11,33	17,12	9,86	10,21
Na+	15,78	11,04	16,74	9,61	9,83
K+	0,59	0,29	0,38	0,26	0,38
Ca++	2,15	1,65	1,85	2,15	4,90
Mg++	3,55	1,32	2,23	1,65	3,72
sum cationes	22,07	14,30	21,20	13,67	18,83

aniones(%)	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	45,71	86,35	82,89	72,72	42,97
SO ₄ =	0,82	0,00	1,29	1,62	3,75
Cl-	45,89	3,40	12,50	13,73	43,85
NO ₃ -	7,58	10,25	3,32	11,92	9,43
Cl-+NO ₃ -	53,47	13,65	15,82	25,66	53,27
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cations(%)	%	%	%	%	%
Na+ + K+	74,16	79,22	80,75	72,18	54,22
Na+	71,50	77,22	78,94	70,30	52,19
K+	2,66	2,00	1,81	1,87	2,04
Ca++	9,74	11,54	8,72	15,73	26,02
Mg++	16,10	9,25	10,52	12,09	19,75
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas					
rNa/rK	26,83	38,55	43,63	37,57	25,61
rMg/rCa	1,65	0,80	1,21	0,77	0,76
rSO ₄ /rCl	0,02	0,00	0,10	0,12	0,09
rCl/rCO ₃ H	1,00	0,04	0,15	0,19	1,02
icb	-0,82	-25,81	-7,81	-4,84	-0,27
Kr	5,56	5,75	6,75	5,56	6,72

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PAMPEANO – LLANURA ALTA

Pozo	Pa 1	Pa 2	Pa 4	Pa 5	Pa 7	Pa 8	Pa 9	Pa 10
Coord. x	6392975	6400450	6394250	6401425	6411000	6409350	6403100	6408250
Coord. y	6134950	6131950	6144550	6140450	6139100	6133400	6126300	6125100

CE uS/cm	996	699	766	893	1117	1240	611	687
pH	7,6	7,4	8,3	7,8	7,2	7,8	7,6	7,9
TSD	312	487	536	392	818	1034	485	681

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	558	387	524	530	240	786	349	436
SO ₄ =	19	31	22	29	134	23	9,6	9,6
Cl-	58	15	15	43	176	37	22	31
NO ₃ -	51	33	10	37	32	59	1	40
sum aniones	686	466	571	639	582	905	381,6	516,6
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	160	62	159	161	184	254	13	96
K+	21	13,5	13	11,5	16,5	15,5	14	13
Ca++	72,5	48	14	45	28	39	47	22
Mg++	28	16	7,5	23	17	14	15	7,6
sum cationes	281,5	139,5	193,5	240,5	245,5	322,5	89	138,6

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	9,15	6,34	8,59	8,69	3,93	12,89	5,72	7,15
SO ₄ =	0,40	0,65	0,46	0,60	2,79	0,48	0,20	0,20
Cl-	1,63	0,42	0,42	1,21	4,96	1,04	0,62	0,87
NO ₃ -	0,82	0,53	0,16	0,60	0,52	0,95	0,02	0,65
Cl-+NO ₃ -	2,46	0,95	0,58	1,81	5,47	1,99	0,64	1,52
sum aniones	12,00	7,94	9,63	11,10	12,20	15,36	6,56	8,87
cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	7,49	3,04	7,25	7,29	8,42	11,44	0,92	4,51
Na+	6,96	2,70	6,91	7,00	8,00	11,04	0,57	4,17
K+	0,54	0,35	0,33	0,29	0,42	0,40	0,36	0,33
Ca++	3,63	2,40	0,70	2,25	1,40	1,95	2,35	1,10
Mg++	2,31	1,32	0,62	1,90	1,40	1,16	1,24	0,63
sum cationes	13,43	6,76	8,57	11,44	11,23	14,55	4,51	6,23

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	76,23	79,85	89,18	78,27	32,25	83,90	87,25	80,62
SO ₄ =	3,30	8,13	4,76	5,44	22,88	3,12	3,05	2,26
Cl-	13,62	5,32	4,39	10,91	40,64	6,79	9,45	9,85
NO ₃ -	6,85	6,70	1,67	5,38	4,23	6,20	0,25	7,28
Cl-+NO ₃ -	20,47	12,02	6,06	16,29	44,87	12,98	9,70	17,13
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	55,79	44,96	84,59	63,73	75,02	78,64	20,46	72,28
Na+	51,79	39,86	80,71	61,16	71,26	75,92	12,52	66,95
K+	4,00	5,11	3,88	2,57	3,76	2,73	7,93	5,33
Ca++	26,99	35,49	8,17	19,66	12,47	13,40	52,07	17,64
Mg++	17,23	19,55	7,24	16,61	12,51	7,95	27,47	10,07
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas								
rNa/rK	12,95	7,81	20,79	23,80	18,96	27,86	1,58	12,55
rMg/rCa	0,64	0,55	0,89	0,84	1,00	0,59	0,53	0,57
rSO ₄ /rCl	0,24	1,53	1,08	0,50	0,56	0,46	0,32	0,23
rCl/rCO ₃ H	0,18	0,07	0,05	0,14	1,26	0,08	0,11	0,12
icb	-3,59	-6,20	-16,15	-5,02	-0,70	-9,98	-0,49	-4,16
Kr	6,72	4,59	3,72	5,54	2,79	6,87	4,25	3,83

TABLA 4

Pozo	Pa 14	Pa 15	Pa 16	Pa 17	Pa 18	Pa 19	Pa 20	Pa 21
Coord. x	6417600	6421150	6423400	6416150	6426700	6413500	6431450	6432225
Coord. y	6131600	6126250	6123450	6115050	6115450	6117550	6117300	6125350

CE uS/cm	843	946	1153	844	874	653	792	794
pH	8	7,5	7,6	7,6	7,7	8,2	7,5	7,9
TSD	742	830	925	623	670	458	580	330

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H-	480	546	633	502	524	394	483	530
SO ₄ =	9,6	9,6	41	44	11	14	9,6	38
Cl-	20	44	62	22	44	26	44	39
NO ₃ -	41	61	67	42	54	10	62	18
sum aniones	550,6	660,6	803	610	633	444	598,6	625
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	167	172	136	57	97	114	55	203
K+	10	16	17	19	18	11	19	7,2
Ca++	15	30	81,5	101	70	21	85	20
Mg++	6,2	16	47	36	25	6,4	31	6,5
sum cationes	198,2	234	281,5	213	210	152,4	190	236,7

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	7,87	8,95	10,38	8,23	8,59	6,46	7,92	8,69
SO ₄ =	0,20	0,20	0,85	0,92	0,23	0,29	0,20	0,79
Cl-	0,56	1,24	1,75	0,62	1,24	0,73	1,24	1,10
NO ₃ -	0,66	0,98	1,08	0,68	0,87	0,16	1,00	0,29
Cl-+NO ₃ -	1,22	2,22	2,83	1,30	2,11	0,89	2,24	1,39
sum aniones	9,29	11,37	14,06	10,44	10,93	7,64	10,36	10,87
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	7,52	7,89	6,35	2,96	4,68	5,24	2,88	9,01
Na+	7,26	7,48	5,91	2,48	4,22	4,96	2,39	8,83
K+	0,26	0,41	0,43	0,49	0,46	0,28	0,49	0,18
Ca++	0,75	1,50	4,08	5,05	3,50	1,05	4,25	1,00
Mg++	0,51	1,32	3,88	2,98	2,07	0,53	2,56	0,54
sum cationes	8,78	10,71	14,31	10,99	10,24	6,82	9,69	10,55

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	84,67	78,69	73,81	78,80	78,59	84,49	76,45	79,94
SO ₄ =	2,15	1,76	6,08	8,78	2,10	3,82	1,93	7,28
Cl-	6,06	10,90	12,42	5,93	11,34	9,58	11,97	10,11
NO ₃ -	7,12	8,65	7,69	6,49	7,97	2,11	9,65	2,67
Cl-+NO ₃ -	13,18	19,55	20,11	12,42	19,31	11,69	21,62	12,78
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	85,62	73,65	44,37	26,97	45,66	76,84	29,70	85,43
Na+	82,71	69,83	41,33	22,55	41,17	72,71	24,68	83,68
K+	2,91	3,82	3,04	4,42	4,49	4,13	5,02	1,75
Ca++	8,54	14,01	28,48	45,95	34,17	15,40	43,86	9,48
Mg++	5,84	12,35	27,15	27,07	20,17	7,76	26,44	5,09
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas								
rNa/rK	28,39	18,28	13,60	5,10	9,16	17,62	4,92	47,93
rMg/rCa	0,68	0,88	0,95	0,59	0,59	0,50	0,60	0,54
rSO ₄ /rCl	0,36	0,16	0,49	1,48	0,18	0,40	0,16	0,72
rCl/rCO ₃ H	0,07	0,14	0,17	0,08	0,14	0,11	0,16	0,13
icb	-12,34	-5,36	-2,63	-3,78	-2,77	-6,15	-1,32	-7,20
Kr	3,59	4,93	7,60	6,99	6,37	3,53	6,43	4,23

TABLA 4

Pozo	Pa 24	Pa 25	Pa 31	Pa 32	Pa 33	Pa 34	Pa 36	Pa 37	Pa 38
Coord. x	6398750	6393050	6420000	6391850	6401650	6416600	6396600	6434900	6437300
Coord. y	6125550	6132300	6113050	6142500	6118600	6121100	6118400	6116300	6126000

CE uS/cm	788	671	1298	993	545	625	483	1353	1171
pH	8,1	7,9	7,8	7,4	9	7,8	8,3	7,7	7,4
TSD	610	326	765	606	241	459	252	1213	844

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO3H-	480	502	491	567	363	497	335	524	611
SO4=	9,6	48	70	27	29	9,6	19	96	9,6
Cl-	26	43	132	26	39	26	22	128	93
NO3-	57	26	142	51	1	23	4	202	10
sum aniones	572,6	619	835	671	432	555,6	380	950	723,6
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	163	44	220	95	112	157	121	99	90
K+	13	16	17,5	17	9,3	12	7	20	21
Ca++	16	73,5	33,5	83	12	16	7	122	122
Mg++	6	26	16	31	13	7,3	3,9	51	27
sum cationes	198	159,5	287	226	146,3	192,3	138,9	292	260

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO3H-	7,87	8,23	8,05	9,30	5,95	8,15	5,49	8,59	10,02
SO4=	0,20	1,00	1,46	0,56	0,60	0,20	0,40	2,00	0,20
Cl-	0,73	1,21	3,72	0,73	1,10	0,73	0,62	3,61	2,62
NO3-	0,92	0,42	2,29	0,82	0,02	0,37	0,06	3,26	0,16
Cl-+NO3-	1,65	1,63	6,01	1,55	1,11	1,10	0,68	6,86	2,78
sum aniones	9,72	10,86	15,52	11,41	7,67	9,45	6,57	17,45	13,00
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	7,42	2,32	10,01	4,57	5,11	7,13	5,44	4,82	4,45
Na+	7,09	1,91	9,57	4,13	4,87	6,83	5,26	4,30	3,91
K+	0,33	0,41	0,45	0,43	0,24	0,31	0,18	0,51	0,54
Ca++	0,80	3,68	1,68	4,15	0,60	0,80	0,35	6,10	6,10
Mg++	0,50	2,15	1,32	2,56	1,07	0,60	0,32	4,21	2,23
sum cationes	8,72	8,15	13,01	11,28	6,78	8,54	6,11	15,13	12,78

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CO3H-	80,95	75,78	51,88	81,45	77,59	86,21	83,57	49,22	77,06
SO4=	2,06	9,21	9,40	4,93	7,88	2,12	6,02	11,46	1,54
Cl-	7,53	11,15	23,96	6,42	14,32	7,75	9,43	20,66	20,16
NO3-	9,46	3,86	14,76	7,21	0,21	3,93	0,98	18,67	1,24
Cl-+NO3-	16,99	15,01	38,73	13,63	14,53	11,67	10,41	39,32	21,40
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cations(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	85,13	28,51	76,96	40,48	75,31	83,56	89,00	31,83	34,82
Na+	81,32	23,48	73,52	36,63	71,80	79,97	86,07	28,45	30,61
K+	3,81	5,02	3,44	3,86	3,51	3,60	2,93	3,38	4,20
Ca++	9,18	45,11	12,87	36,80	8,85	9,37	5,73	40,32	47,73
Mg++	5,69	26,38	10,16	22,72	15,84	7,07	5,27	27,86	17,46
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas									
rNa/rK	21,32	4,68	21,37	9,50	20,47	22,24	29,39	8,42	7,29
rMg/rCa	0,62	0,58	0,79	0,62	1,79	0,75	0,92	0,69	0,37
rSO4/rCl	0,27	0,83	0,39	0,77	0,55	0,27	0,64	0,55	0,08
rCl/rCO3H	0,09	0,15	0,46	0,08	0,18	0,09	0,11	0,42	0,26
icb	-9,13	-0,92	-1,69	-5,23	-3,65	-8,74	-7,78	-0,34	-0,70
Kr	3,67	6,29	4,77	7,10	2,77	3,76	2,19	7,66	8,49

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS ACUÍFERO PAMPEANO – PLANICIE COSTERA

Pozo	Pa 6	Pa 11	Pa 12	Pa 22	Pa 28	Pa 29	Pa 30
Coord. x	6401725	6423950	6424950	6406650	6427100	6431300	6433600
Coord. y	6144550	6139650	6131750	6142900	6137900	6134900	6129300

CE uS/cm	1162	1837	1417	1206	2370	3730	1601
pH	8	7,3	8,8	8,5	7,5	7,8	8
TSD	961	1562	1165	966	1540	2678	807

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO3H-	542	567	873	720	571	499	430
SO4=	65	185	21	17	172	346	77
Cl-	70	282	48	69	514	852	229
NO3-	144	30	5	42	5	18	1
sum aniones	821	1064	947	848	1262	1715	737
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	208	219	338	341	304	543	275
K+	27	30,5	20	10	22	23	16,5
Ca++	23	164	2,8	3,1	166	180	20
Mg++	24	48	2,7	2,3	60	79	12,5
sum cationes	282	461,5	363,5	356,4	552	825	324

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO3H-	8,89	9,30	14,31	11,80	9,36	8,18	7,05
SO4=	1,35	3,85	0,44	0,35	3,58	7,21	1,60
Cl-	1,97	7,94	1,35	1,94	14,48	24,00	6,45
NO3-	2,32	0,48	0,08	0,68	0,08	0,29	0,02
Cl-+NO3-	4,29	8,43	1,43	2,62	14,56	24,29	6,47
sum aniones	14,53	21,58	16,18	14,78	27,50	39,68	15,12
cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	9,73	10,30	15,21	15,08	13,78	24,20	12,38
Na+	9,04	9,52	14,70	14,83	13,22	23,61	11,96
K+	0,69	0,78	0,51	0,26	0,56	0,59	0,42
Ca++	1,15	8,20	0,14	0,16	8,30	9,00	1,00
Mg++	1,98	3,97	0,22	0,19	4,96	6,53	1,03
sum cationes	12,87	22,47	15,57	15,43	27,04	39,73	14,41

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%
CO3H-	61,13	43,08	88,44	79,87	34,03	20,62	46,62
SO4=	9,32	17,86	2,70	2,40	13,03	18,17	10,61
Cl-	13,57	36,82	8,36	13,15	52,64	60,49	42,66
NO3-	15,98	2,24	0,50	4,58	0,29	0,73	0,11
Cl-+NO3-	29,55	39,06	8,85	17,74	52,94	61,22	42,77
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	75,65	45,85	97,67	97,76	50,96	60,91	85,89
Na+	70,28	42,38	94,38	96,11	48,88	59,43	82,96
K+	5,37	3,47	3,29	1,66	2,08	1,48	2,93
Ca++	8,94	36,50	0,90	1,00	30,70	22,66	6,94
Mg++	15,41	17,66	1,43	1,23	18,34	16,43	7,17
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas							
rNa/rK	13,10	12,21	28,73	57,97	23,49	40,13	28,33
rMg/rCa	1,72	0,48	1,59	1,23	0,60	0,73	1,03
rSO4/rCl	0,69	0,49	0,32	0,18	0,25	0,30	0,25
rCl/rCO3H	0,22	0,85	0,09	0,16	1,55	2,93	0,92
icb	-3,94	-0,30	-10,25	-6,76	0,05	-0,01	-0,92
Kr	4,49	8,91	3,06	2,78	8,99	8,44	3,68

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICOS Y RELACIONES IÓNICAS

ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELCHÉ

Pozo	PaPu1	PaPu 2	PaPu 3	PaPu 4	PaPu 5	PaPu 6	PaPu 7	PaPu 8	PaPu 9	PaPu 10	PaPu 11	PaPu 12
Coord. X	6395425	6393150	6400100	6394450	6415900	6408050	6401300	6409100	6403300	6403300	6394550	6404200
Coord. Y	6136000	6140600	6144700	6137150	6128250	6126000	6125550	6128600	6129650	6143750	6138300	6123350

C.E.	674	840	786	749	739	891	811	745	824	804	1066	725
pH	7,7	7,9	8,8	7,6	7,7	7,6	8,1	7,6	8,3	8	7,8	8,1
SDT	454	241	609	513	504	526	527	404	355	414	756	340

aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CO ₃ H	436	307	335	496	429	461	391	449	480	480	530	458
SO ₄	31	19	48	9,6	9,6	41	67	41	9,6	9,6	48	22
Cl	18	35	37	26	26	26	43	27	44	52	47	18
NO ₃	32	56	159	21	70	151	100	36	49	1	161	13
sum aniones	517	417	579	552,6	534,6	679	601	553	582,6	542,6	786	511

cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na	48	64	123	137	105	67	169	87	155	13	11	13
K	17	7,7	11	13	18	18	9,1	13	15	13	11	13
Ca	81	40	20	27	35	90	33	92	28	9,3	44	13
Mg	25	21	28	10	15	29	11	20	11	6,2	16	8,2
sum cationes	171	132,7	182	187	173	204	222,1	212	209	41,5	82	47,2

aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CO ₃ H-	7,15	5,03	5,49	8,13	7,03	7,56	6,41	7,36	7,87	7,87	8,69	7,51
SO ₄ =	0,65	0,40	1,00	0,20	0,20	0,85	1,40	0,85	0,20	0,20	1,00	0,46
Cl-	0,51	0,99	1,04	0,73	0,73	0,73	1,21	0,76	1,24	1,46	1,32	0,51
NO ₃ -	0,52	0,90	2,56	0,34	1,13	2,44	1,61	0,58	0,79	0,02	2,60	0,21
Cl-+NO ₃ -	1,02	1,89	3,61	1,07	1,86	3,17	2,82	1,34	2,03	1,48	3,92	0,72
sum aniones	8,82	7,32	10,10	9,40	9,09	11,58	10,63	9,56	10,10	9,55	13,61	8,68

cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	4,16	3,81	5,86	6,65	5,46	5,21	8,19	6,14	7,46	0,80	1,60	0,90
Na+	2,09	2,78	5,35	5,96	4,57	2,91	7,35	3,78	6,74	0,57	0,48	0,57
K+	2,07	1,02	0,51	0,69	0,90	2,30	0,84	2,35	0,72	0,24	1,13	0,33
Ca++	1,25	1,05	1,40	0,50	0,75	1,45	0,55	1,00	0,55	0,31	0,80	0,41
Mg++	1,40	0,64	0,91	1,07	1,49	1,49	0,75	1,07	1,24	1,07	0,91	1,07
sum cationes	6,81	5,49	8,17	8,22	7,70	8,15	9,49	8,21	9,24	2,19	3,31	2,38

aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CO ₃ H-	81,07	68,77	54,38	86,48	77,33	65,27	60,30	77,03	77,92	82,40	63,84	86,47
SO ₄ =	7,33	5,41	9,90	2,13	2,20	7,38	13,13	8,94	1,98	2,09	7,35	5,28
Cl-	5,75	13,47	10,32	7,79	8,05	6,32	11,39	7,96	12,27	15,34	9,73	5,84
NO ₃ -	5,85	12,34	25,39	3,60	12,41	21,03	15,17	6,08	7,83	0,17	19,08	2,41
Cl-+NO ₃ -	11,61	25,82	35,72	11,39	20,47	27,36	26,57	14,04	20,10	15,51	28,81	8,25
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

cations(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	61,03	69,29	71,73	80,85	70,93	63,97	86,29	74,73	80,64	36,71	48,41	37,69
Na+	30,63	50,67	65,47	72,45	59,30	35,73	77,40	46,07	72,90	25,84	14,44	23,73
K+	30,40	18,63	6,26	8,40	11,63	28,23	8,89	28,66	7,75	10,87	33,97	13,96
Ca++	18,35	19,12	17,14	6,08	9,74	17,79	5,79	12,18	5,95	14,17	24,15	17,21
Mg++	20,62	11,59	11,13	13,07	19,32	18,25	7,92	13,09	13,41	49,12	27,44	45,10
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Relaciones iónicas												
rNa/rK	1,01	2,72	10,46	8,63	5,10	1,27	8,71	1,61	9,41	2,38	0,43	1,70
rMg/rCa	1,12	0,61	0,65	2,15	1,98	1,03	1,37	1,07	2,25	3,47	1,14	2,62
rSO ₄ /rCl	1,27	0,40	0,96	0,27	0,27	1,17	1,15	1,12	0,16	0,14	0,76	0,90
rCl/rCO ₃ H	0,07	0,20	0,19	0,09	0,10	0,10	0,19	0,10	0,16	0,19	0,15	0,07
icb	-7,20	-2,86	-4,62	-8,08	-6,46	-6,12	-5,76	-7,07	-5,02	0,45	-0,21	-0,77
Kr	4,00	2,98	3,48	3,21	3,34	4,36	2,83	3,78	3,24	2,68	3,92	2,85

**LEY 11.820
NORMA DE POTABILIDAD
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**LIMITES TOLERABLES PARA LOS COMPONENTES
MICROBIOLOGICOS BASICOS**

A. AGUA QUE ENTRA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

LIMITE TOLERABLE (según método de análisis)

Tubos múltiples Membrana filtrante Prescencia-Ausencia

Coliformes totales <2,2 NMP/100ml (1) Ausencia en 100ml Ausencia en 100 ml(3)

E coli o Coliformes <2,2 NMP/100ml (1) Ausencia en 100ml Ausencia en 100 ml

B AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCION

LIMITE TOLERABLE (según método de análisis)

Tubos Múltiples Membrana Filtrante Prescencia-Ausencia

(2)

Coliformes Totales 2,2 NMP/100ml(1) Ausencia en 100 ml Ausencia en 100ml

E Coli o Coliformes 2,2 NMP/100ml(1) Ausencia en 100 ml Ausencia en 100ml

(1) Límite provisorio, condicionado a la modificación del Método de Tubos Múltiples para aumentar su sensibilidad (10 Tubos).

(2) en aquellos servicios en que la calidad de muestras sea suficiente, no deben estar presentes en 100 ml de agua en el 95% de las muestras extraídas durante cualquier período del 12 meses.

Siempre que las muestras no contengan mas de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.

(3) En aquellos servicios en que la calidad de muestras sea suficiente, no deben estar presente, en 100 ml de agua en el 95% de las muestras extraídas durante cualquier período de 12 meses. Siempre que las muestras no contengan mas de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.

**TODAS LAS AGUAS DESTINADAS A CONSUMO HUMANO SE DEBEN
DESINFECTAR**

**COMPONENTES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE A LA SALUD
LIMITE TOLERABLES**

COMPONENTES	UNIDAD	LIMITE TOLERABLE	REF.
Arsénico	mg/l	0,05	(P) (1)
Cadmio	mg/l	0,003	
Cianuro	mg/l	0,07	
Cobre	mg/l	2,00	(P)
Cromo Total	mg/l	0,05	(P) (2)
Fluor	mg/l	1,50	
Manganeso	mg/l	0,50	(P)
Mercurio (total)	mg/l	0,001	
Nitrato (como NO ₃ -)	mg/l	50,00	
Nitrito (como NO ₂ -)	mg/l	3,00	(P)
Plomo	mg/l	0,01	
Selenio	mg/l	0,01	
Plata	mg/l	0,05	
Componentes Orgánicos			
Alcanos Clorados			
-1,2 Dicloroclorano	ug/l	30,00	(P)
-Tetracloruro de carbono	ug/l	2,00	
Etenos Clorados			
-1.1 Dicloroocteno	ug/l	30,00	
-Tricloroocteno	ug/l	70,00	(P)
-Tetracloroocteno	ug/l	40,00	
Hidrocarburos Aromáticos			
-Benceno	ug/1	10,00	
-Benzo (a) pireno	ug/1	0,7	

Pesticidas			
-Aldrin/Dieldrin	ug/l	0,03	
-Clordano (total isómero)	ug/l	0,20	
-2,4 (ácido diclorofenoxiacético)	ug/l	30,00	
-DDT (total isómeros)	ug/l	2,00	
-Heptacloro y Heptacloroepóxido	ug/l	0,03	
Hexaclorobenceno	ug/l	1,00	
Lindano	ug/l	2,00	
Metoxicloro	ug/l	20,00	
Pentaclorofenol	ug/l	9,0	
Desinfectantes			
-Cloro (libre residual)	mg/l	5,0	
Monocloramina	mg/l	6,0	
Productos de la Desinfección			
Clorfenoles			
-2,4,6 Triclorofenol	ug/l	200	
Trihalometanos	ug/l		
Bromoformo	ug/l	100	
Dibromoclorometano	ug/l	100	
Bromodiclorometano	ug/l	60	
Cloroformo	ug/l	200	

(1) (P) Límite Provisorio. Este término se utiliza para aquellos componentes para los cuales existe alguna evidencia de un peligro potencial, pero la información disponible sobre los efectos hacia la salud es limitada o cuando el factor de incertidumbre utilizado al establecer la ingesta Diaria Tolerable (IDT) es superior a 1.000.

(1) El límite tolerable calculado para un componente inferior al límite de detección práctico a la concentración que se puede alcanzar con métodos de tratamiento disponibles, o cuando el límite recomendado puede ser superado como resultado a la desinfección.

(2) En el caso de aguas no cloradas, deberá diferenciarse Cromo tri y hexavalente.

COMPONENTES O CARACTERISTICAS QUE AFECTAN A LA ACEPTABILIDAD DEL AGUA POR PARTE DEL CONSUMIDOR-LIMITES TOLERABLES

PARAMETROS UNIDAD LIMITE TOLERABLE
CARACTERISTICAS FISICAS
Color Uc 15
Sabor y olor no ofensivo para la mayoría de los usuarios
Turbiedad UNT 2

COMPONENTES FISICO QUIMICOS

Aluminio mg/l 0,2
Cinc mg/l 3,0
Cloruro mg/l 250
Hierro mg/l 0,3
PH 6,5-8,5
Sodio mg/l 200
Sulfato mg/l 250
Sólidos disueltos totales mg/l 1500
Componentes Orgánicos
Detergentes Sintéticos mg/l 0.2

PARAMETROS BIOLOGICOS COMPLEMENTARIOS

(Parámetros cuya determinación queda supeditada a circunstancias o necesidades puntuales)

PARAMETROS VALOR GUIA

Bacterias Aerobias Heterotrofas <100 UFO en 1 ml

Pseudomona Aeruginosa Ausencia en 100 ml

Giardia Lamblia Ausencia

Fitoplancton y Zooplancton Ausencia

FRECUENCIA DE EXTRACCION

El Concesionario deberá realizar los monitoreos y análisis con la periodicidad que se detalle para los siguientes parámetros:

1. Agua cruda de toma superficial.

- Componentes microbióticos-Tabla 1 (Diariamente)
- Datos básicos, pH, turbiedad, alcalinidad (cada 6 horas)
- Componentes que afectan directamente a la salud-tabla II (cada tres meses)
- Componentes que afectan la aceptabilidad del agua-(tabla III), Metales pesados, DNO, DOO, Fenoles, Hidrocarburos, detergentes (mensualmente)
- Parámetros biológicos complementarios-Tabla IV. Su determinación es supeditada a circunstancias o necesidades puntuales.

2. Agua cruda de toma subterránea

- Análisis químico (semestral)
- Análisis microbacteriológico-Tabla I (trimestral)

3. Agua potabilizada en la salida del establecimiento potabilizador

- Componentes microbiológicos-Tabla I (cada 6 horas)
- Datos básicos, pH, turbiedad, alcalinidad (cada 6 horas)
- Componentes que afectan directamente a la salud-Tabla II (cada tres meses)
- Componentes que afectan la aceptabilidad del agua-(Tabla III), Metales pesados, DDO, DOO, Fenoles, Hidrocarburos, detergentes (mensualmente)

-Parámetros biológicos complementarios-Tabla IV. Su determinación es supeditada a circunstancias o necesidades puntuales.

4. Agua potabilizada en el sistema de distribución

-Análisis bacteriológicos: muestra mensual cada 10.000 habitantes en el radio de agua y cloacas.

Los puntos de muestreo en red se dividirán en fijos (escuelas, hospitales, oficinas públicas) y variables que cubran proporcionalmente el área servida.

-Análisis químicos: En todas las oportunidades que se efectúen análisis bacteriológicos se medirá el Cloro Residual.

En un 20% de las muestras se medirán además todos los componentes de la Tabla III.

El Concesionario deberá elevar al ORBAS con la periodicidad fijada los resultados de los análisis especificados.

Asimismo, el ORBAS inspeccionará, tomará muestras y analizará periódicamente, a fin de controlar el cumplimiento de los parámetros admisibles, notificando al operador para que en dicha oportunidad éste pueda sacar muestras paralelas para cotejar si así lo desea los resultados obtenidos.

Si los parámetros admisibles se vieran superados por el ORBAS sancionará al Concesionario aplicando las multas que oportunamente se fijen.

Toda vez que la autoridad de aplicación verifique la comisión de infracciones, redactará un acta de infracción la que servirá de acusación, prueba de cargo y hará fe mientras no se pruebe lo contrario.

La falta de presentación en términos de los resultados periódicos será pasible de sanciones las que se notificarán oportunamente.

TECNICAS ANALITICAS.

Las que fija el ORBAS para cada parámetro y que se encuentran normalizadas en:

-SM: Manual de Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales, Edición 17, APHAWWA-WPCF, 1989 o sus actualizaciones.

-EPA:Método de Análisis para Agua Potable, Agencia Protección Ambiental de los Estados unidos de Norteamérica.

TABLA 6

**SUPERFICIES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS
(km²)**

Cuenca	Superficie (km ²)
A° El Pescado	356
A° Garibaldi	24
A° Maldonado	54
A° Pérez	59
A° del Gato	45
A° Rodríguez	50
A° Martín	27
A° Carnaval	61
A° Pereyra	56

TABLA 7

**PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
Período 1909 – 2001**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1909	125	69	120	49	2	39	83	75	100	45	73	55	835
1910	237	66	51	18	33	15	80	50	46	67	24	27	714
1911	64	154	10	311	132	40	92	57	25	162	146	311	1504
1912	82	14	190	183	126	92	72	128	45	114	218	34	1298
1913	16	88	162	94	189	39	62	52	119	166	188	46	1221
1914	161	60	141	307	187	106	209	192	165	147	173	76	1924
1915	46	152	14	100	36	18	44	28	48	40	156	61	743
1916	61	44	41	48	25	7	0	3	46	0	71	69	415
1917	159	98	35	168	4	127	52	42	19	29	9	40	782
1918	109	113	10	49	85	26	12	25	131	27	101	120	808
1919	73	82	226	223	105	79	61	13	101	20	121	134	1238
1920	70	50	95	111	81	8	38	24	16	118	189	90	890
1921	89	121	116	121	78	58	25	27	51	103	54	116	959
1922	69	85	57	100	97	139	103	292	39	58	61	152	1252
1923	24	94	129	114	6	63	80	136	53	58	92	130	979
1924	47	85	87	5	64	26	6	48	94	57	45	26	590
1925	63	95	183	84	136	17	38	18	146	70	90	92	1032
1926	21	35	167	69	124	28	6	142	22	46	112	38	810
1927	70	127	35	81	65	45	63	27	88	61	119	135	916
1928	106	61	18	188	126	6	46	22	98	40	87	47	845
1929	23	82	22	48	34	49	59	18	86	140	31	34	626
1930	84	90	282	97	122	110	28	59	36	39	106	187	1240
1931	217	111	31	103	20	29	31	138	23	51	140	118	1012
1932	104	32	97	49	21	120	180	83	20	87	68	105	966
1933	48	120	143	82	198	0	25	3	119	123	41	89	991
1934	46	44	236	16	81	147	73	51	127	72	75	78	1046
1935	62	14	119	69	80	65	35	29	37	79	113	135	837
1936	124	39	280	84	89	109	67	76	28	72	65	169	1202
1937	11	84	194	20	45	84	20	27	232	49	46	103	915
1938	37	52	150	181	61	51	87	3	117	50	82	17	888
1939	139	77	77	16	64	95	94	72	101	255	41	68	364
1940	85	37	87	182	164	99	146	25	162	35	65	212	1299

TABLA 7

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1941	82	148	29	149	65	40	44	176	5	67	60	55	920
1942	68	74	142	45	21	18	28	152	72	72	65	27	784
1943	37	5	108	36	149	124	62	14	59	77	53	64	788
1944	116	58	132	93	128	21	44	44	61	111	43	38	889
1945	31	69	134	63	6	22	80	107	196	77	47	30	862
1946	99	90	90	165	41	132	15	36	157	56	156	155	1192
1947	18	74	76	98	49	63	15	2	6	53	81	67	602
1948	177	139	87	142	61	36	22	10	164	42	69	52	1001
1949	21	45	121	29	63	67	28	50	72	52	102	83	733
1950	15	56	83	157	106	30	101	13	106	104	110	162	1043
1951	109	232	23	59	271	48	3	150	29	32	228	19	1203
1952	22	15	148	17	103	114	62	73	52	159	55	49	869
1953	339	56	157	74	74	112	45	20	60	91	123	17	1168
1954	132	120	67	57	43	186	13	89	65	102	55	70	999
1955	97	178	48	47	11	57	57	39	207	52	25	40	858
1956	222	76	60	52	25	56	59	110	78	44	27	17	826
1957	59	91	36	104	219	43	62	21	13	52	37	143	880
1958	228	238	61	28	63	66	104	128	98	6	178	110	1308
1959	196	55	108	356	149	87	203	115	17	211	168	22	1687
1960	87	26	136	77	3	41	165	60	47	131	34	138	945
1961	148	23	46	110	107	18	63	28	27	105	93	95	863
1962	63	35	29	219	20	3	93	77	121	16	62	55	793
1963	179	110	246	12	48	148	76	226	186	101	158	280	1770
1964	11	209	155	100	87	53	33	60	71	119	74	38	1010
1965	60	80	22	113	13	32	57	57	73	34	91	76	708
1966	100	95	242	164	39	79	57	14	28	76	79	120	1093
1967	80	40	116	113	77	117	94	115	107	331	202	14	1406
1968	45	89	65	6	19	52	65	87	8	109	154	178	877
1969	24	107	105	84	193	55	84	0	40	47	45	30	814
1970	90	48	95	159	62	28	78	87	49	147	17	38	898

TABLA 7

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1971	178	132	103	26	62	53	76	42	161	61	20	70	984
1972	64	71	132	20	39	156	61	97	101	95	98	129	1063
1973	200	119	137	133	18	104	96	8	4	132	35	69	1055
1974	172	52	122	137	35	34	96	82	49	40	28	49	896
1975	77	143	64	9	143	38	102	154	56	14	21	54	875
1976	107	150	81	41	146	73	58	73	110	245	89	187	1360
1977	89	366	87	87	139	39	80	50	122	155	103	82	1399
1978	157	159	229	14	24	146	34	33	109	140	173	39	1257
1979	6	31	69	34	23	7	208	107	29	60	77	95	746
1980	38	61	155	35	192	129	28	75	39	95	162	42	1051
1981	184	96	130	34	244	30	55	75	101	40	101	102	1192
1982	35	215	89	33	63	101	94	16	229	86	46	41	1048
1983	59	35	51	66	55	32	14	76	86	103	67	73	717
1984	177	177	152	55	88	55	45	21	41	239	50	78	1178
1985	18	58	66	87	200	47	66	20	89	201	244	33	1129
1986	163	38	61	170	85	62	37	129	75	129	192	78	1219
1987	84	108	180	60	19	0	82	55	40	132	110	104	974
1988	138	32	363	31	3	4	25	26	37	128	72	121	980
1989	48	51	150	112	1	37	69	180	21	40	60	183	952
1990	258	267	110	141	71	4	24	44	66	103	333	147	1568
1991	153	15	19	79	86	132	110	55	95	151	72	129	1096
1992	219	29	103	115	133	100	46	83	61	48	92	43	1072
1993	81	257	48	159	107	125	29	32	55	257	278	179	1607
1994	65	26	224	127	163	43	109	18	36	111	36	126	1084
1995	55	169	111	182	6	37	26	11	35	76	91	27	826
1996	63	162	52	88	28	10	39	46	115	77	87	89	856
1997	92	94	73	59	65	88	69	107	24	91	132	230	1124
1998	185	60	114	123	88	20	86	9	61	66	63	165	1040
1999	176	156	127	54	38	20	99	91	87	18	68	63	997
2000	60	106	34	133	329	116	68	84	89	158	84	120	1381
2001	157	96	279	30	62	91	60	196	31	207	130	115	1454
Promedio	99	93	111	94	83	62	65	67	76	93	96	91	1030

TABLA 8

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)
Período 1909 – 2001

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1909	21,8	20,4	18,4	16,9	11,3	8,3	9,6	12,3	13,5	14,3	16,4	19,6
1910	21,8	20,3	17,9	15,7	12	10,5	8,5	10,6	12	14,3	18,4	21,5
1911	22,1	20,6	18,2	15,6	12,6	8,2	9,5	9,4	9,9	13,8	18,4	20,5
1912	23,4	22,6	20,9	15,9	12,6	10,3	8,6	9,5	12,1	15,9	17	22,3
1913	22,7	24,2	19,2	17,9	14,9	9,8	12,3	11,5	13	15,1	18,8	20,3
1914	23,8	21,2	19,2	17,2	14,5	13	12,2	11,6	12,7	15,4	17,6	19,8
1915	22,5	22,6	18,4	17,5	13,5	7,1	9,3	11,4	11,6	14,9	18,9	20,9
1916	22,5	21,8	18,1	17,7	13,8	5,9	7	10,2	13,2	16	18	20,9
1917	23	22,1	19	16,4	10,9	10,3	8,5	8,8	12,6	14,1	17,7	22,5
1918	23,5	21,8	20,3	17,2	11,8	9,5	8,9	9,9	11,5	14,8	18,5	21,2
1919	23,6	21,6	20,3	17,4	15,9	10,4	10,7	9,6	11,7	14,5	17,6	21,3
1920	23,1	21,1	21,2	17,9	14,1	8,9	7,7	10,2	13,3	14,5	18,2	21,6
1921	21,2	21,8	19	16,1	14,2	7,2	7,8	9,8	12,7	15,1	16,4	22,3
1922	21,9	20,3	19,8	15,2	13,2	9,1	13	11,1	13,3	13,7	19,1	20,5
1923	22,6	22,6	21,6	16,6	11,2	11	7,8	10,4	13	12,9	17,8	18,9
1924	21,1	20,7	20	14,6	11,1	9,6	8,8	8,7	11,6	13,3	15,9	22,1
1925	23,1	24,8	21,9	16,1	11,2	8	7,5	10,9	12,5	14,5	18,7	21,6
1926	24,7	24,3	21,3	15,9	11,5	10,2	8,6	11,9	12,7	14,8	19	21,9
1927	23,4	24,2	21,8	16,5	12,7	9,4	10,2	11,5	11,6	13,9	17,9	20,1
1928	21,1	19	19,3	17,2	13	8,7	10,3	10,2	12,3	15,8	19,7	21,4
1929	23,3	21,9	19,5	18,2	12,3	9,3	10,2	10,6	12,9	14,6	18,4	22,1
1930	23	22,3	19,9	17,6	14,3	12,8	8,1	8,6	12,4	13,9	17,9	21
1931	22,7	23	20,8	15,9	10	8,2	8,6	10,6	11	16,4	16,8	19,9
1932	22,8	21,8	20,5	17,5	11,5	10,1	13,2	10,2	13,4	16,6	20,5	20,9
1933	22	21,2	19,3	17	15,3	10	7,6	11,8	12,7	15,7	17,9	20,5
1934	23,4	20,7	20	13,8	12,4	11	9,8	10,7	11,8	14,8	17,5	20,1
1935	20,9	21,7	20,8	14,4	15,4	10,8	9,5	10,8	11,4	12,8	18,4	20,5
1936	22,2	20,8	20,2	16,9	13,7	11,6	11,6	10,1	12	15,5	17,4	20,8
1937	21,4	23,3	19,9	16,3	12,5	12,2	8,7	10,2	12,1	13,5	17,6	20
1938	21,5	22	20	15,7	14,5	11,3	9,7	10	13,5	15,8	17,4	21,8
1939	23,6	21,3	19,8	15	14	12,3	11,7	12,3	12,5	17	17	18,7
1940	23,7	21,9	19,6	16,3	14,6	12,9	12,2	9,7	12,9	13,8	18,2	21,7
1941	21,5	20,5	17,8	16,5	12,7	11,3	11,2	12,7	10,9	15,6	18,3	20,7
1942	24,7	23,3	19,6	16,3	11,7	8,8	7,7	12,1	13,1	15,4	19,6	22,5
1943	23,1	24,7	21	16,4	14,6	11,8	12,3	8,9	13,5	17,2	18,1	21,5
1944	21,8	22,7	19,6	15,8	13,4	11	10,6	12,5	14,6	16,4	18,2	21,7
1945	23,4	21,7	20,4	18,9	13,1	9,2	8,7	12,2	13,6	16,5	18,6	21,1
1946	21,8	22,7	19,2	16,8	13,6	9,6	9,1	11,1	13,6	15,8	19,6	20,1
1947	22	23,4	19,3	15,9	12,8	12,2	9,3	9,6	12,4	16,4	19,3	20,2
1948	22	21,1	18,5	16,4	13	12,2	9,8	8,5	13,7	14,9	17,8	23,3
1949	23	22,2	19,8	17,2	13,1	10,8	9,9	10,2	12,5	14	19,1	21,2
1950	21,7	22,4	20,4	17,1	14,9	11,3	9,4	11	11,6	14,4	17,4	20,1
1951	22,5	19,9	17,9	14,8	14,7	12,4	11,8	12	12,2	15	18,8	21
1952	23,6	23,7	21,9	15,6	14,3	8,5	10,4	10,7	12,3	13,6	18	20
1953	22,2	23	20,4	16	13,6	10,8	7,4	12,8	13,7	14,3	18	21
1954	22,5	22,6	21,3	16,4	11,9	10,5	8,8	11,8	12	15,2	17,9	21
1955	23,5	21,2	18,7	15,8	11,9	9,3	7,3	10,4	11,9	13,3	20,7	21,8
1956	20,6	20,6	20,5	14,3	9,2	10,6	9,6	10,5	12,1	16	19,1	20,6

TABLA 8

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1957	25	19,5	21,6	15,7	16,9	9,6	8,6	10,1	12,3	16,3	18	21,9
1958	22,7	20,5	19,6	16,7	13,3	11,6	14,8	9,6	14,3	17,5	18	20,2
1959	22	22,6	19,8	15	11,7	10,1	11,5	10,3	13	15,9	18,4	21
1960	23,4	24,4	20,6	16,5	12,6	10,1	9,8	11,5	12,9	16,5	18,8	20,1
1961	22,1	22,1	20,7	15,2	14,8	10	9,4	12,6	12,2	16,8	19,7	20,7
1962	21,3	21	22,2	15,2	11,8	10,1	7,6	10,8	12,4	14,9	19,7	21,2
1963	22,2	23	19,7	18,3	13,3	11,4	11,7	10,5	12,6	14,8	17	20,7
1964	22,9	21,6	19	16,6	14,6	9	9,4	10,8	12,8	14,2	17	21
1965	24	23,3	17,9	16,2	12,1	13,9	9,8	11,8	12,6	16,8	19,2	20,1
1966	22,8	20,4	19,7	17,1	14,4	12	11,1	9,9	11,3	14,5	18,4	20,6
1967	22,7	22	18,8	16,6	16,4	7,1	9,4	10,6	13,5	16,6	19,9	22,9
1968	22,7	22,1	20,1	14,6	12,3	10,5	12,2	12,7	13,3	16,2	20,7	21,1
1969	22,7	22,4	20,7	17,4	14,2	11,6	11,6	10,1	13,7	14,8	19,2	23,4
1970	23	24,1	21	19	13,3	10,2	10,2	11,3	14,7	15	17,1	21
1971	22,2	20,2	19,9	15	11,8	8,2	11,2	12,5	14,8	16	20,5	23
1972	23,9	22,2	19,5	17,1	15,3	12,1	9,8	10,7	14,2	14,8	17,9	21,4
1973	22,3	22	21,3	16,5	12,8	11,8	9,6	10,6	12,9	16	17,2	21,1
1974	23	21	20,8	17,4	15	9,8	11,9	10,2	11,5	15,6	18,4	20,5
1975	22,6	22,4	20,1	17,2	14,7	12,2	8,7	10,4	13,9	16	18,9	22,9
1976	22,7	22,7	17,9	16	13,9	9,4	9,9	10,9	12,8	15,5	18,2	20,7
1977	24,1	21,7	20,1	17,2	12	11,4	10,5	10,9	14,1	17,6	19,1	21,8
1978	22	21,2	20,8	16,1	13,2	9,7	11,9	10,8	14,1	16,8	18,8	21,9
1979	23,6	23,6	20	16,7	13	10,3	11,9	12,5	12,5	16,3	18	20,9
1980	23,7	22,7	23,6	19,1	15,2	10,5	9,4	11,2	13,2	15,7	18,1	22,6
1981	22,3	22,6	19,3	17,2	16,7	9,5	10,1	12,6	12,4	15,7	18,6	21,8
1982	22,7	21,1	21,3	18,3	15	10,6	10,2	11,8	14,3	16,1	17,6	23,2
1983	25	22,3	20,6	17,1	13,7	8,9	8,5	10,8	12,5	17	19,2	22,1
1984	23,9	23,3	20,6	16,2	12,7	8,8	8,8	9,8	13,2	17,7	18,6	18,6
1985	23	23,2	20,9	16,3	14,1	11,8	11,1	11,4	13,6	16	19,4	21,2
1986	23,3	22,6	18,8	17,6	13	12,2	10,8	11	13,9	16	18,7	21,2
1987	23,3	23,3	20,9	17,2	11,1	10,7	11,7	10,6	11,9	15,6	19,2	20,6
1988	22,9	21,2	21,6	15	10,9	9,3	8,7	11,3	12,4	14,8	19,4	22,2
1989	24,8	23,6	20,3	17,4	13,8	11,3	9,6	13	12,5	15,4	19	23,2
1990	23,9	22	19,3	16,2	12,8	9,8	9,5	13,1	12,4	17,7	20	20,2
1991	22,2	21,2	21,5	16,9	15,3	10	9,3	12,1	14,7	15,1	18	21,5
1992	22,4	22,8	21,8	16,2	13,1	12,3	7,8	11,3	13,2	16,3	16,9	21,6
1993	24	22	22	18	13	11	9	11	12	16	18	21
1994	21,4	22	20,5	16,2	14,5	11,7	9,9	11,2	14,1	15,7	19,8	23,2
1995	22,4	21,3	20,4	16,7	13,5	9,8	9,4	10,2	13,6	15,6	19,8	22,4
1996	22,9	22	21,6	17,3	13,8	9	8,5	13,5	12,7	17	19,9	22,6
1997	24,7	21,6	20,5	18,3	15,2	11,1	11,7	12,8	12,8	16,2	18,6	19,9
1998	21,3	20,5	19,6	17,4	14,3	11,1	12,1	11,5	12,9	17	18,8	21,2
1999	21	21,7	21,5	15,3	13,1	10,2	9,7	12,1	14	16,3	18,7	22,2
2000	24,1	23	20,3	17,4	13,1	11,9	8,2	10,8	12,8	16,8	17,8	21,1
2001	23,9	24	21,7	16,9	13,2	11,8	10,1	14	13,5	16,8	18,7	21,2
Promedio	22,7	22	20,1	16,5	13,3	10,3	9,8	10,9	12,8	15,4	18,4	21,2

TABLA 9

BALANCE HÍDRICO EDÁFICO
Valores medios 1909/01 c.c. 200 mm

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tº	22,7	22	20,4	16,7	13,5	10,5	9,8	11,3	13,8	15,5	18,6	21,5	16,1
I	9,9	9,4	8,4	6,2	4,5	3,1	2,3	3,4	4,6	5,5	7,3	9,1	73,7
Etp s/a	3,5	3,3	3	2,1	1,5	1	0,8	1,1	1,6	1,9	2,5	3,2	
Fc	36,9	31,2	31,8	28,2	26,7	24,6	26,1	28,2	30	33,9	35,1	37,5	
Etp	129	103	95	59	40	25	21	31	48	63	88	120	822
P	99	93	111	94	83	62	65	67	76	93	96	91	1030
P - Etp	-30	-10	16	35	43	37	44	36	28	30	8	-29	208
Ppaa	59	69										29	
A	148	141	157	192	200	200	200	200	200	200	200	173	
Va	-25	-7	16	35	8							-27	
Etr	124	100	95	59	40	25	21	31	48	63	88	118	812
E					35	37	44	36	28	30	8		218
D	5	3										2	10

c.c.: capacidad de campo

P: precipitación

Tº : temperatura

Ppaa: pérdida potencial de agua
acumulada

I : índice calórico

A : agua almacenada

Etp s/a : evapotranspiración pot. sin
ajustar

Va : variación de agua almacenada

Fc : factor de corrección

Etr : Evapotranspiración real

Etp : evapotranspiración potencial

D: déficit

E: exceso

TABLA 10

ENSAYOS DE BOMBEO

POZO	UBICACIÓN	DURACIÓN (min)	CAUDAL Q (m3/día)	N. Estático (m)	N. Dinámico (m)	TRANSMISIVIDAD T (m2/día)	PERMEABILIDAD K (m/día)	ESPESOR e (m)
Pu 36 (S 54)	72 y 27	30	960	24,28	35,83	225	8	30
Pu 37 (S 10)	66 y 31	30	1920	22,87	39	332	11	30
Pu 38 (M 31)	35 y 31	30	575	14,31	17,4	390	13	30
Pu 43 (A 7)	610 y 16	30	1920	16,11	28,6	586	29	20
Pu 42 (A 13)	604 e/ 3 y 4	30	1870	12,01	22,75	634	32	20
Pu 41 (A 11)	7 y 90	30	1920	13,6	25,16	817	33	25
Pu 40 (M 80)	155 y 45	30	1920	18,6	27,1	558	22	25
Pu 44 (H 16)	173 y 76	30	1920	17,43	23,77	639	21	30
Pu 45 (M 1)	25 y 50	30	1920	16,37	27,1	362	12	30
Pu 52 (S 30)	66 y 4	30	2040	19,34	33,3	732	24	30
Pu 46 (VE 7)	17 e/ 49 y 50	30	1080	14,83	26,34	275	14	20
Pu 47 (CB 13)	460 y 24	30	1585	6,71	16,2	264	13	20
Pu 48 (CB 3)	guemes e/ 16 y 17	30	1920	17,7	27,6	325	16	20
Pu 49 (G 1)	501 y 15	30	2160	10,53	19,5	391	16	25
Pu 39 (M 33)	514 y Con. Belgrano	30	2160	9,65	26,13	470	16	30
Pu 50 (M 66)	526 y 8	30	2255	1,05	13,3	558	19	30
Pu 51 (M 79)	528 y 146	30	1920	10,06	12,91	1034	41	25
PROMEDIO						505	20	26

TABLA 11

RESERVAS ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELICHE

	superficie km2	por. efect. %	reserva hm3
Pampeano	600	8	1.200
Puelche	700	20	2.830