

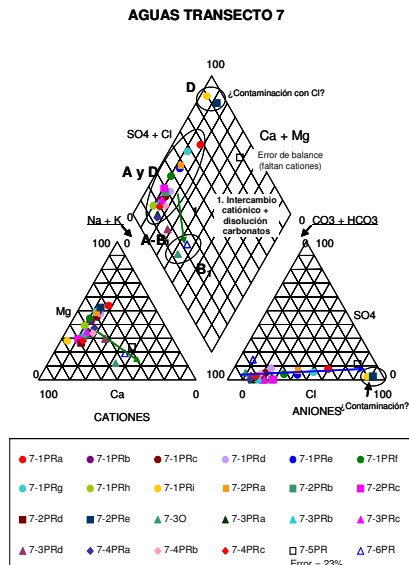


HIDROQUIMICA REGIONAL DEL SAG

ESTUDIO DEL ORIGEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ

Ref.: Licitación SBCC/01/04 – 1/1018.1

Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní



Marisol Manzano

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cartagena (España)

Martín Guimaraens

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Uruguay)

Empresas Participantes:

Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S.R.L., Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A.

hidrocontrol s.a.
CONSULTORIA Y SERVICIOS



HIDROESTRUCTURAS S.A.



TAHAL
Israel



SEINCO



ARCADIS hidro ambiente s.a.



Equipo del Proyecto

Responsables Nacionales:

Por Argentina	Fabián López
Por Brasil	Vicente Andreu Guillo
Por Paraguay	José Luis Casaccia
Por Uruguay	Carlos Colacce

Coordinadores Nacionales:

Argentina	Miguel Ángel Giraut
	María Josefa Fioritti (Co-coordinadora)
	María Santi (Co-coordinadora)
Brasil	João Bosco Senra
	Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Co-coordinadora)
Paraguay	Amado Insfrán
Uruguay	Lourdes Batista

Representante OEA:

Jorge Rucks

Representantes Banco Mundial:

Abel Mejía
Douglas Olson
Samuel Taffesse

Secretaría General:

Secretario General	Luiz Amore
Coordinador Técnico I y VI	Jorge N. Santa Cruz
Coordinador Técnico II y V	Daniel H. García Segredo
Coord. Comunicación	Roberto Montes
Asistente técnico	Alberto Manganelli
Administración	Luis Reolón
Auxiliar Administrativa	Virginia Vila
Auxiliar Administrativo	Mathías González
Informática	Diego Lupinacci
Secretaria Bilingüe	Patricia Guianze

Facilitadores Proyectos Piloto:

Concordia – Salto	Enrique Massa Segui
Rivera – Santana	Achylles Bassedas
Itapúa	Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto	Mauricio Moreira dos Santos



La ejecución del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es posible gracias al acuerdo de cooperación alcanzado entre los gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el aporte financiero del Global Environment Facility (GEF) y otros donantes, la cooperación técnica y financiera del Banco Mundial que es la agencia implementadora de los Fondos GEF y la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (SG/OEA) en su condición de agencia ejecutora regional.

El contrato “Servicios de Hidrogeología General, Termalismo y Modelo Regional del Acuífero Guaraní - Ref.: Licitación SBCC/01/04 – 1/1018.1” fue realizado en el marco del Proyecto Acuífero Guaraní dentro de la Componente 1, destinada a la expansión y consolidación de la base de conocimiento científico y técnico existente acerca del Sistema Acuífero Guaraní.

Las Empresas Participantes son:

Consorcio Guaraní: Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S.R.L.,

Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A

Dirección: Bartolomé Mitre 1480 / 602, Montevideo.

Tel-fax: (598-2) 915.33.63.

Coordinador Técnico: Dr. Gerardo Veroslavsky

Los resultados, interpretaciones, conclusiones, denominaciones y opiniones vertidas en este informe y la forma en que aparecen son responsabilidad exclusiva del autor y no implican juicio alguno sobre las condiciones jurídicas de los países, territorios, ciudades o zonas, o de actividades diversas, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites, por parte de los países beneficiarios, ni de la Secretaría General de la OEA (SG/OEA), ni de la Secretaría General del Proyecto (SG-SAG).



ÍNDICE

Resumen.....	9
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 OBJETIVOS Y CONTENIDO.....	13
3 INFORMACIÓN UTILIZADA	14
3.1 Información hidroquímica.....	14
3.2 Información geológica e hidrogeológica.....	15
4. MÉTODOS USADOS.....	17
4.1 Calidad y utilidad de los análisis químicos.....	17
4.1.1 Consideraciones previas sobre el error de balance iónico.....	17
4.1.2 Consideraciones sobre la medición de parámetros inestables en campo y en laboratorio.....	19
4.2 Diseño de los transectos y confección de perfiles hidrogeológicos.....	21
4.2.1 Descripción de la nomenclatura usada en los perfiles	22
4.3 Selección de análisis químicos representativos de los transectos.....	25
4.4 Métodos de estudio de datos usados	26
4.4.1 Estudio de facies hidroquímicas y de la relación entre ellas con diagramas de Schöeller y Piper.....	26
4.4.2 Estudio de relaciones iónicas y relaciones X vs	26
4.4.3 Realización de balances de masa y selección de reacciones a modelar.....	27
4.4.4 Estudio de estados de saturación mineral y modelación hidrogeoquímica con PHREEQC.....	27



5	ESTUDIO DEL ORIGEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA DEL SAG Y SU RELACIÓN CON LA RED DE FLUJO.....	28
5.1	Estudio de la composición química de las aguas del SAG y origen de los solutos..	28
5.2	Evolución espacial de la composición química y relación con la red de flujo.....	46
5.3	Conceptualización de la composición química del agua del SAG: clasificación en facies hidroquímicas, relación entre ellas y con la red de flujo.....	66
5.3.1	Relación de las facies químicas con la red de flujo en los transectos.....	70
5.4	Distribución espacial de algunos componentes y parámetros químicos del agua del SAG y sus causas.	96
5.5	Síntesis del modelo conceptual sobre el origen de la composición química del agua del SAG.....	106
6	VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROGEOQUÍMICO CONCEPTUAL: MODELACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS PROCESOS RESPONSABLES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA DEL SAG.....	108
6.1	Índices de saturación mineral a lo largo de los transectos y su significado.....	108
6.2	Balances de masa a lo largo de los transectos y su significado.....	118
6.3	Aportaciones conceptuales de la modelación hidrogeoquímica.....	118
6.3.1	Estudio de los cambios de composición química que pueden haber ocurrido para que las aguas representadas por muestra 1-3DH den lugar a las aguas representadas por la muestra 1-7DH.....	119
6.3.2	Estudio de los cambios de composición química que pueden haber ocurrido para que las aguas representadas por muestra 4-1DH den lugar a las aguas representadas por la muestra 4-8PR.	120
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
7.1	Origen de la composición química del agua del SAG.	127
7.2	Distribución espacial de la composición química del agua del SAG y su relación con la red de flujo y con la estructura geológica.	131
7.3	Recomendaciones.....	132



8 BIBLIOGRAFÍA.....	134
---------------------	-----

ANEXOS.....	137
--------------------	------------

Anexo 1 Tablas con datos hidroquímicos usados

Tabla A1.1. Datos químicos de Bonotto (2005).
Tabla A1.2. Datos químicos de da Rosa Filho et al. (2005)
Tabla A1.3. Datos químicos de da Silva (1983)
Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004)
Tabla A1.5. Datos químicos de Gallo et al. (1980)
Tabla A1.6. Datos químicos de Gastmans (2007)
Tabla A1.7. Datos químicos de Gastmans y Chang (2005)
Tabla A1.8. Datos químicos de Invernizzi et al. (2004)
Tabla A1.9. Datos químicos de Kimmelman et al. (1995)
Tabla A1.10. Datos químicos de Kittl (2000)
Tabla A1.11. Datos químicos de Oleaga (2003)
Tabla A1.12. Datos químicos de Pérez et al. (2000)
Tabla A1.13. Datos químicos de SEAM y BGR (2005)
Tabla A1.14. Datos químicos de Silva Busso (1999)
Tabla A1.15. Datos químicos de Tonetto y Bonotto (2005)

Anexo 2 Tablas características muestras y pozos usados para transectos

Tabla A2.1. Ejemplo del primer paso del proceso de selección de la información existente para definir la hidroquímica de los transectos propuestos. Los datos son del Transecto 1.
Tabla A2.2. Ejemplo del segundo paso de selección de los análisis químicos representativos de cada transecto. Los datos son del Transecto 1
Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos.



LISTA DE FIGURAS

Fig. 4.1. Correlación entre los valores de alcalinidad medidos en campo y en laboratorio en las muestras de agua tomadas por DH (2007).....	21
Fig. 4.2. Transectos hidrogeológicos seleccionados para el estudio del origen y la evolución de la composición química del agua del SAG.	24
Fig. 5.1. Análisis químicos de agua de lluvia completos encontrados en la bibliografía. En la columna identificativa se indica el error de balance iónico calculado según la expresión [1]. Sólo dos análisis (indicados con un asterisco) tienen un error <20%, lo cual se explica por las dificultades de cuantificación analítica en aguas tan poco mineralizadas. Esta es la causa de que en varios análisis las concentraciones de algunos componentes se indican como “cero”, aunque en realidad debería poner “inferior al límite de detección” y considerar el valor de éste. Haciendo abstracción del error, se observa que la muestra de Artigas (Uruguay) es bicarbonatada cálcica y las de Campo Grande (Matto Grosso do Sul) tienden a ser cloruradas magnésicas. Es decir, todas las muestras de lluvia parecen tener una fuerte impronta litológica, aunque se desconoce si esta impronta está incorporada a la deposición húmeda (lluvia), es efecto de la disolución de la deposición seca (polvo atmosférico) o se trata de un artefacto ocasionado por la imprecisión analítica.....	30
Fig. 5.2. a) Relación entre el exceso de Na y el Cl. b) Relación entre el Na y la temperatura. c) Relación entre el exceso de Na y la temperatura.....	38
Fig. 5.3. Posible ocurrencia de disolución de feldespato sódico y de intercambio iónico de Na con Ca y Mg. a) Correlación del exceso de Na con la sílice. b) Relación entre el exceso de Na y el déficit de Ca y Mg respecto a los carbonatos. c) Relación entre el exceso de Na y el pH..	38
Fig. 5.4. Posible ocurrencia de disolución de feldespato potásico. a) Correlación del K con la sílice. b) Correlación del K con el Na.	39
Fig. 5.5. Posible ocurrencia de intercambio iónico Na-K. a) Correlación del K con el pH. b) Correlación de la relación iónica K/Na con el pH.	39
Fig. 5.6. Posible ocurrencia de disolución de silvita. a) Correlación entre K y Cl. b) Variación del K con la temperatura.	40
Fig. 5.7. Posible origen agrícola de NO ₃ , K y SO ₄ . a) Relación del NO ₃ con el K. b) Relación del NO ₃ con el SO ₄ . c) Relación del NO ₃ con el Ca.....	40
Fig. 5.8. a) Relación del SO ₄ con el Cl. b) Relación iónica SO ₄ /Cl versus la conductividad eléctrica del agua. C) Relación del SO ₄ con la temperatura.....	41
Fig. 5.9. a) Relación del SO ₄ con el Ca. b) Relación entre el exceso de Na y el déficit de Ca respecto a la suma de carbonatos y sulfatos.	41



Fig. 5.10. a) Relación del Ca con la alcalinidad total. b) Relación del Ca con el pH. c) Relación del Ca con la sílice.	42
Fig. 5.11. a) Relación del Mg con la alcalinidad total. b) Relación del Mg con el pH. c) Relación del Mg con la sílice.	42
Fig. 5.12. Relación del Ca con Mg.	43
Fig. 5.13. a) Relación entre F y Cl. b) Relación entre F y Na.....	43
Fig. 5.14. a) Relación entre F y la relación iónica Cl/SO ₄ . b) Relación entre F y la relación iónica Na/Cl.....	44
Fig. 5.15. a) Relación entre F y Ca. b) Relación entre F y sílice.....	44
Fig. 5.16. a) Relación entre F y pH. b) Relación entre F y temperatura del agua.....	45
Fig. 5.17. Relación entre sílice y temperatura del agua.....	45
Fig. 5.18. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 1.....	46
Fig. 5.19. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 1.....	51
Fig. 5.20. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 2.....	52
Fig. 5.21. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 2.....	53
Fig. 5.22. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 3.	54
Fig. 5.23. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 3.....	55
Fig. 5.24. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 4.....	56
Fig. 5.25. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 4.....	57
Fig. 5.26. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 5.....	58
Fig. 5.27. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 5.....	59
Fig. 5.28. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 6.....	60
Fig. 5.29. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 6.....	61
Fig. 5.30. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ , F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 7.....	62
Fig. 5.31. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 7.....	63
Fig. 5.32. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO ₄ ,	



F y SiO ₂ del agua a lo largo del Transecto 8.....	64
Fig. 5.33. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 8.....	65
Fig. 5.34. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 1..	77
Fig. 5.35. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 2..	77
Fig. 5.36. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 3..	78
Fig. 5.37. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 4..	78
Fig. 5.38. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 5..	79
Fig. 5.39. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 6..	79
Fig. 5.40. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 7..	80
Fig. 5.41. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 8..	80
Fig. 5.42. Composición de 15 muestras de agua de formaciones sedimentarias del pre-SAG en el Estado de Sao Paulo (datos tomados de Meng y Maynard, 2001; elaboración propia)...	81
Fig. 5.43. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 1.....	82
Fig. 5.44. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 2.....	82
Fig. 5.45. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 3.....	83
Fig. 5.46. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 4.....	83
Fig. 5.47. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 5.....	84
Fig. 5.48. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 6.....	84
Fig. 5.49. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 7.....	85
Fig. 5.50. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 8.....	85
Fig. 5.51. Transecto hidrogeológico 1 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	86
Fig. 5.52. Transecto hidrogeológico 2 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	87
Fig. 5.53. Transecto hidrogeológico 3 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	88
Fig. 5.54. Transecto hidrogeológico 4 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	89
Fig. 5.55. Facies hidroquímicas de las aguas superficiales (ríos) y subterráneas (surgencias) muestreadas por de Souza (2004) en la cuenca del río Iguazú.....	90
Fig. 5.56. Transecto hidrogeológico 5 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	91



Fig. 5.57a. Sector N del transecto hidrogeológico 6 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	92
Fig. 5.57b. Sector S del transecto hidrogeológico 6 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	93
Fig. 5.58. Transecto hidrogeológico 7 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	94
Fig. 5.59. Transecto hidrogeológico 8 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.....	95
Fig. 5.60. Mapa de distribución regional del contenido en sólidos disueltos totales en las aguas del SAG.....	98
Fig. 5.61. Mapa de distribución regional del contenido de Na en las aguas del SAG.....	99
Fig. 5.62. Mapa de distribución regional del contenido de Cl en las aguas del SAG.....	100
Fig. 5.63. Mapa de distribución regional del contenido de SO ₄ en las aguas del SAG.....	101
Fig. 5.64. Mapa de distribución regional del valor del pH en las aguas del SAG.....	102
Fig. 5.65. Mapa de distribución regional del valor de la alcalinidad en las aguas del SAG.....	103
Fig. 5.66. Mapa de distribución regional del valor de la dureza en las aguas del SAG.....	104
Fig. 5.67. Mapa de distribución regional del contenido en F de las aguas del SAG.....	105
Fig. 5.68. Esquema ilustrativo del modelo hidrogeoquímico conceptual que se propone tras el estudio expuesto en los apartados anteriores, y que se valida mediante modelación hidrogeoquímica en el Capítulo 6.....	107
Fig. 6.1. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 1.....	110
Fig. 6.2. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 2.....	111
Fig. 6.3. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 3.....	112
Fig. 6.4. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 4.	113



Fig. 6.5. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 5.	114
Fig. 6.6. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 6.	115
Fig. 6.7. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 7.	116
Fig. 6.8. Índices de saturación logarítmicos del CO ₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 8.	117
Fig. 7.1. Comparación de los tipos químicos de aguas encontrados en el SAG (a: Transecto 2, entre Sao Pedro y Naviraí; b: Transecto 4, entre Cruz Machado y Cerro Azul) y los tipos químicos de las aguas de descarga a lo largo del río Iguazú (tomado De Souza, 2004) y los de agua de formaciones del pre-SAG en el Estado de Sao Paulo (tomado de Meng y Maynard, 2001). Se observa la similitud de facies entre todas las aguas más salinas, lo que apoya la hipótesis de que buena parte de las aguas del SAG (las de Tipo B y las de Tipo C) son resultado de mezcla en distintas proporciones con flujos ascendentes de aguas salinas más profundas.....	130
Fig. 7.2. Principales zonas de descarga regional de agua subterránea del SAG y del pre-SAG deducidas de la hidroquímica y principales rasgos estructurales regionales (arcos y fallas) que parecen jugar un papel relevante en la distribución espacial de la composición química del agua.	132



LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Resumen de análisis hidroquímicos recopilados y procesados.....	10
Tabla 4.2. Número de análisis usados para el estudio hidroquímico de los transectos.....	26
Tabla 5.1. Facies hidroquímicas identificadas en el conjunto de los transectos y relación aparente con la red de flujo.....	69
Tabla 6.1. Ejemplo de los balances de masa realizados en cada transecto entre aguas de distinta facies hidroquímica para seleccionar las muestras a usar en la modelación numérica. Los datos corresponden al Transecto 1.....	122
Tabla 6.2. Balance de masas en el Transecto 4 entre las muestras 4-1DH y 4-8PR (ver ubicación en Tabla A2.3 del Anexo 2).....	123
Tabla 6.3. Modelación inversa de las reacciones hidrogeoquímicas necesarias para transformar el agua 1-3DH _a en el agua 1-7DH (Transecto 1). Cantidades expresadas en mol/L. Cifras positivas: entrada en la fase líquida (desadsorción o disolución); cifras negativas: salida de la fase líquida (adsorción o precipitación). Ver texto para la discusión de las distintas simulaciones realizadas.	123
Tabla 6.4. Balance de masas entre la muestra 4-8PR medida y la composición teórica de esa misma muestra si ésta fuese el resultado de una mezcla entre el 4,2 % de un agua similar a la muestra 4-1DH y el 95,8 % de un agua similar a la muestra de agua del pre-SAG 2-CB-1-SPc de Meng y Maynard (2001).	123
Tabla 6.5. Ecuaciones de balance de masas para el conjunto de reacciones que podrían explicar las modificaciones ocurridas entre el agua mezcla teórica de la muestra 4-8PR (calculada como se explica en el texto) y el agua mezcla real (muestra analizada).....	124



RESUMEN

Este informe recoge un estudio hidrogeoquímico regional del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) cuyo objetivo ha sido establecer los procesos responsables del fondo químico natural (composición química natural) del agua subterránea, así como de las variaciones espaciales de la misma. Para el estudio se ha manejado algo más de un millar de análisis químicos que cubren razonablemente bien la extensión del acuífero. Estos análisis proceden tanto del Proyecto para la Protección y el Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní como de estudios y proyectos anteriores, los cuales han sido recopilados, incorporados a una base de datos y evaluados desde el punto de vista de su calidad analítica para seleccionar aquellos que cumplen los criterios descritos en esta memoria. Sólo estos (alrededor de un 57% del total) se han usado en los cálculos y modelaciones realizadas.

El estudio hidrogeoquímico regional ha confirmado el modelo conceptual ya propuesto por varios autores anteriores en cuanto a los principales procesos responsables de la composición química del agua del SAG en las zonas hasta ahora más estudiadas (sector N del acuífero y, especialmente, el estado de Sao Paulo en Brasil). Pero además, el estudio ha permitido comprobar que ese modelo es válido para casi todo el acuífero, con algunas particularidades para la zona situada al SO del Arco de Asunción-Río Grande. En esta última zona los procesos hidrogeoquímicos y los tipos de aguas son básicamente los mismos que en norte, pero su evolución espacial y su origen son algo distintos.

En todo el acuífero las aguas tienen tres tipos básicos de facies químicas, las cuales tienen una clara relación con la red de flujo. Dentro de cada facies existen varias subfacies:

- **Tipo A:** bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO_3) o cálcico-magnésicas (CaMg-HCO_3), muy poco mineralizadas (CE en general $<250 \text{ } \mu\text{S/cm}$) y con pH entre 4 y 8. Su composición se debe a la disolución de CO_2 edáfico y de carbonatos sólidos del terreno en la zona de afloramiento. En muchas de las aguas de tipo A estudiadas hay contaminación por NO_3 y K, pero estos no suelen ir acompañados de SO_4 .



- **Tipo B:** bicarbonatadas sódicas (Na-HCO_3), con mineralización entre baja y media (CE entre 200 y 600 \square S/cm) y pH entre 7 y 10. Su composición se debe principalmente al intercambio iónico de Ca y Mg en solución por Na adsorbido en las superficies de intercambio de las arcillas presentes en las areniscas del SAG (y posiblemente también en las de formaciones infrayacentes). El intercambio modifica el orden de abundancia de los cationes en las aguas de la zona de recarga. Adicionalmente, el intercambio induce la disolución de minerales carbonatos al disminuir las actividades del Ca y el Mg en el agua. Esto hace que la alcalinidad del agua aumente progresivamente en toda la zona en la el proceso de intercambio iónico es dominante.

Las aguas de Tipo B se distribuyen en dos grupos, denominados aquí B_1 y B_2 . Las aguas de subtipo B_1 tienen $\text{Cl} < \text{SO}_4$ y las aguas del subtipo B_2 tienen $\text{Cl} > \text{SO}_4$. Las segundas se suelen encontrar más hacia el centro de la cuenca que las primeras, pero es frecuente encontrar alternancias a lo largo de los transectos estudiados. Puesto que en las aguas de Tipo A siempre es $\text{Cl} > \text{SO}_4$, la presencia de aguas con $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ implica una fuente de SO_4 , y dado que en las formaciones del SAG no hay evaporitas ni sulfuros, esa fuente debe estar en flujos ascendentes de aguas en contacto con yeso en las formaciones del pre-SAG. El tránsito de aguas con $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ a aguas con $\text{Cl} > \text{SO}_4$ se produce cuando las aguas se saturan en minerales sulfatados, que son menos solubles que los clorurados. La proporción de agua salina en la mezcla no tiene porqué ser relevante, basta con un 1% e incluso menos para producir los cambios observados.

La identificación de subfacies en las aguas de tipo Na-HCO_3 es una novedad respecto a estudios anteriores, y también la información que aportan acerca de la existencia de mezclas con aguas más salinas del pre-SAG.

- **Tipo C:** composición variable entre bicarbonatadas-sulfatadas-cloruradas sódicas ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$) y cloruras-sódicas o sulfatadas-sódicas. En general se encuentran en las partes más internas de la cuenca. Tienen mineralización entre media y alta (CE entre 500 y 6000 \square S/cm) y pH entre 7 y 9. Su composición se debe a la mezcla de las aguas de tipo B con otras aguas más salinas de procedencia profunda. No obstante, bastaría algo menos de un 5% de agua con una salinidad similar a la marina producir las aguas más salinas encontradas.



Las aguas de Tipo C se distribuyen en los grupos C_1 , C_2 y C_3 . Las aguas de subtipo C_1 tienen $Cl < SO_4$ aunque domina el HCO_3 , las aguas del subtipo C_2 tienen $Cl > SO_4$ aunque domina también el HCO_3 y las aguas del subtipo C_3 son de tipo Na-Cl o bien Na- SO_4 . El tránsito de las aguas de tipo C_1 a las de tipo C_2 se produce por las razones ya explicadas para las aguas de Tipo B. Las aguas de tipo C_3 son las más salinas de todas las encontradas, y aparecen hacia el centro de la cuenca en los estados de Sao Paulo, Santa Catarina o lo largo del río Paraná entre Paraguay, Argentina y Brasil. Una pequeña proporción de agua salina basta para modificar significativamente la composición del agua del SAG y también para modificar los equilibrios químicos y favorecer procesos de intercambio iónico de endureciendo (Ca y Mg adsorbidos por Na en solución) y precipitación de carbonatos en los lugares donde ocurren las mezclas.

Las aguas situadas al SO del Arco de Asunción-Río Grande son también de los tipos A, B y C. Localmente, en algunas muestras de Artigas-Quaraí aparece un tipo nuevo, el Ca-Cl o Mg-Cl. Dado su carácter restringido se atribuye a contaminación local, aunque habría que confirmarlo. La salinidad de las aguas de Tipo C en esta zona no se debe a mezcla con aguas de formaciones del pre-SAG sino a mezcla con aguas muy salinas de las formaciones adyacentes al SAG en la zona que va desde aproximadamente el río Uruguay hacia el oeste-suroeste.

Se ha propuesto un modelo hidrogeoquímico conceptual para explicar las facies químicas existentes y su distribución espacial. El modelo conceptual se ha validado termodinámicamente mediante modelación numérica. La modelación ha permitido confirmar qué procesos controlan de manera dominante la composición química del SAG y cuáles son cuantitativamente accesorios.

La distribución espacial de los solutos a escala del sistema acuífero está fuertemente condicionada por dos factores principales:

1. La existencia de flujos ascendentes de aguas salinas del pre-SAG. Destacan las zonas situadas en el límite E de Paraguay con Brasil y con Argentina, a lo largo del río Paraná, y el límite entre los estados brasileños de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, a lo largo del río Pelotas. También existen flujos ascendentes de agua salina en los estados de Paraná y



Pelotas, hacia el centro de la cuenca (la existencia de descargas a los ríos Iguazú y Pelotas ya era conocida por los trabajos de De Souza, 2004 y Machado, 2005).

La intensidad de la manifestación espacial de esos flujos (a través de las mezclas que producen) debe estar vinculada a la estructura geológica. Los mapas de distribución espacial de Cl , SO_4 , SDT y Alcalinidad muestran que las aguas salinas se ubican en las zonas antes mencionadas, que coinciden con área fuertemente fracturadas. Pero también hay manifestaciones puntuales de aguas mezcla, como es el caso de Termas de Londrina (Estado de Paraná) o los pozos Presidente Prudente, Presidente Epitácio y Tres Lagoas (Estado de Sao Paulo). Aunque en estos casos la proporción de mezcla no llega al 1%, el estudio sistemático permite confirmar que se trata de mezclas de aguas de Tipo B con aguas salinas profundas.

Puntualmente también se encuentran zonas de pequeña extensión situadas en los bordes del acuífero, cerca de la zona de afloramiento, que tienen aguas salinas. En función de la ubicación d esas aguas su presencia en esos lugares se debe a distintos motivos, aunque la causa más generalizada es la existencia de una estructura geológica compartimentada que favorece la existencia de flujos verticales (ascendentes) frente a los horizontales.

El estudio realizado indica que el flúor está asociado a las aguas más salinas, calientes y con una relación $r\text{Na}/r\text{Cl}$ ($r=\text{meq/L}$) más cercana a 1, lo que sugiere que la fuente de F (al menos la principal) está en las formaciones del pre-SAG. Por tanto, la presencia de F en concentraciones superiores a unas pocas décimas de miligramo indicaría la existencia de flujos ascendentes de agua salina.

2. La existencia del arco estructural de Asunción-Río Grande. Todos los mapas de distribución espacial de solutos indican que el arco supone un umbral entre la subcuenca N y la subcuenca S. Incluso las aguas subterráneas del entorno de Uruguaiana e Itaquí no se parecen a las de la zona inmediatamente al N. Esto sugiere que el flujo entre la subcuenca N y la S es mínimo o nulo.



No parece existir descarga significativa del SAG por su límite SO por transferencia lateral hacia otras formaciones. Buena parte de la descarga parece ocurrir a la red hídrica superficial a través de flujos ascendentes en zonas de intensa fracturación. La distribución de los gradientes de sólidos disueltos totales, Na, Cl, SO_4 , etc. muestra que al menos se produce descarga regional a los ríos Iguazú, Uruguay, Pelotas y Paraná. Esto debería ser confirmado mediante estudios adicionales centrados en las zonas de descarga propuesta por los estudios hidroquímico e isotópico.

Otros aspectos que permanecen inciertos y en los cuales se deberían centrar los posible estudios futuros son: mejorar las estimaciones de la recarga mediante métodos independientes de la hidrodinámica, tales como el balance de masa de trazadores ambientales conservativos; caracterizar las posibles distintas composiciones y edades de las aguas salinas del pre-SAG; confirmar si el origen del F es único y está en las aguas del pre-SAG o hay otras posibles fuentes; establecer los procesos de contaminación en zonas urbanizadas y agrícolas y elaborar planes de mAnexo, prevención y restauración en esas as.



1 INTRODUCCIÓN

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) es uno de los mayores acuíferos del mundo, posiblemente el segundo en volumen de terreno permeable y de agua almacenada después del Sistema Acuífero Núbio (NE de África). Debido a la ubicación del SAG, compartida entre algunos de los países más activos y con mayor potencial económico y demográfico de Latino América (Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina), y a la creciente utilización del mismo de manera intensa en ciertas localizaciones, en el año 2003 el Banco Mundial y la OEA, junto con los cuatro países mencionados, pusieron en marcha el Proyecto para la Protección Ambiental y el Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, llamado aquí Proyecto SAG (<http://www.sg-guarani.org>).

Entre los muchos trabajos realizados para mejorar el conocimiento del funcionamiento del SAG y proponer un plan de gestión conjunta del mismo que asegure la sostenibilidad de los recursos en cantidad y calidad, se encuentra el proyecto denominado Hidrogeología General, Termalismo y Modelo Regional del Acuífero Guaraní (HGTMR). El proyecto HGTMR fue desarrollado por el Consorcio de empresas constituido por TAHAL Ltd., SEINCO S.R.L, Hidroestructuras, S.A., Hidrocontrol, S.A y Arcadis Hidroambiente, S.A. A su vez, SEINCO contrató a la investigadora responsable del presente informe para realizar el estudio hidroquímico regional. El Ingeniero M. Guimaraens ha participado en la mayoría de los trabajos recogidos en este informe como parte de su aprendizaje de posgrado en hidrogeoquímica.

Esta memoria tiene una estructura ideada libremente por los investigadores responsable y contiene una síntesis extensa del estudio hidrogeoquímico realizado. Un extracto de las principales aportaciones de este estudio ha sido incorporado por el Consorcio Guaraní a la memoria del informe final del proyecto HGTMR.



2 OBJETIVOS Y CONTENIDO

El objetivo principal del estudio hidroquímico regional realizado en el SAG ha sido conocer la distribución espacial de la composición química natural del agua subterránea del SAG y el origen de la misma, en términos de los procesos que son responsables de esa composición y de esa distribución.

Para ello se han utilizado varios centenares de análisis químicos completos, generados tanto en el marco del presente proyecto como en estudios anteriores (ver Capítulo 3), los cuales representan razonablemente la extensión total del sistema acuífero. El estudio de estos datos con la metodología expuesta en el Capítulo 4 ha permitido proponer un modelo conceptual para explicar el origen de las aguas del SAG (Capítulo 5), el cual ha sido contrastado mediante modelación hidrogeoquímica (Capítulo 6). Por último se realiza una síntesis de las aportaciones del estudio aquí realizado y de su utilidad desde el punto de vista tanto del conocimiento del funcionamiento del acuífero como desde la gestión de la explotación de las aguas salinas (Capítulo 7).

Aunque hay zonas con bastante menos densidad de información que otras, el estudio sistemático realizado y la relativa uniformidad del sistema desde el punto de vista de los procesos permite extender las conclusiones obtenidas a la práctica totalidad del acuífero con buen nivel de confianza.

No era objetivo del estudio regional identificar posibles procesos de contaminación (en sentido estricto, es decir deterioro de la calidad del agua subterránea para sus distintos usos como consecuencia de la actividad antrópica). No obstante, sí se ha utilizado la presencia o no de nitratos asociados a la actividad humana para interpretar el origen de los otros componentes químicos y para explicar la evolución hidroquímica observada en relación con la red de flujo.



3 INFORMACIÓN UTILIZADA

El estudio hidroquímico regional se ha realizado usando información hidroquímica (análisis químicos de aguas subterráneas), geológica (perfiles litológicos de pozos y secciones geológicas), litológica (mineralogía de las distintas unidades hidroestratigráficas) e hidrogeológica (información relativa a niveles estáticos, dinámicos, existencia de surgencias, etc.).

3.1 Información hidroquímica

El estudio hidroquímico regional se ha realizado usando tanto la información generada en el presente proyecto como información existente de estudios y proyectos antecedentes. La confección de una base de datos hidrogeoquímica e isotópica de estudios antecedentes no estaba prevista en el presente proyecto. Dada la necesidad de disponer de esa información, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha financiado las tareas de búsqueda bibliográfica, recopilación de datos antecedentes y confección de una base de datos en soporte Excel. Para ello ha financiado dos estancias de sendos técnicos de Uruguay en la Universidad Politécnica de Cartagena (España). Dicha base de datos será entregada a la Secretaría del proyecto SAG una vez pulida y puesta en formato utilizable.

La información antecedente recopilada procede de las siguientes fuentes:

- Tesis de doctorado y maestría realizadas en el área de ocurrencia del SAG: Da Silva (1983); De Souza (2004); Gastmans (2007); Kittl (2000); Oleaga (2002) y Silva Busso (1999).
- Publicaciones en revistas y congresos: Bonotto (2006); Bonotto et al. (1995); Da Rosa Filho et al. (2005 y 2006); Gallo y Sinelli (1980); Gastmans y Chang (2005); Invernizzi et al. (2004); Kimmelmann et al. (1987, 1989 y 1995); Pasig et al. (2001); Pérez et al. (2000); Szikszay et al. (1981); Teissedre y Barner (1981); Meng y Maynard (2001); Tonetto y Bonotto (2005).



- Informes de los proyectos del Fondo de Universidades del Proyecto SAG (considerados “antecedentes” por coherencia cronológica): Proyecto 10 (UFSM y Udelar, 2005); Proyecto 12 (UNL, DINAMA, INA e IHLL, 2005); Proyecto 16 (UFP, USP y UDELAR, 2005) y Proyecto 28 (UDELAR y UBA, 2005).
- Proyecto SAG-PY: BGR (2007)

No se citan aquí otros trabajos sobre hidroquímica del SAG consultados pero que no aportan datos nuevos sino que elaboran información ya presentada en los anteriormente citados.

La base consta de unos 1000 análisis químicos distintos, la mayoría de ellos correspondientes a aguas de pozo y el resto a aguas de río, manantial y lluvia. Aunque algunos análisis son incompletos, y de los completos hay bastantes no utilizables debido al elevado error de balance iónico, todos ellos se han mantenido en la base y se muestran en las tablas A1.1 a A1.17 del Anexo 1. A esta información se ha sumado la procedente de los muestreos realizados en el presente proyecto hasta el año 2007, recopilada en los informes de PROINSA (2007) y DH (2007).

Además de los datos analíticos, en la base se ha recogido (cuando se ha encontrado) y sistematizado la siguiente información, que es determinante para evaluar la representatividad de los datos y decidir sobre su utilidad para unos u otros tipos de estudios hidroquímicos:

- lugar donde se determinó cada parámetro (campo o laboratorio),
- laboratorios utilizados,
- técnicas de análisis usadas,
- límites de detección y de cuantificación para cada técnica
- medidas de preservación de las muestras usadas.

3.2 Información geológica e hidrogeológica

La metodología elegida para el estudio hidroquímico regional (ver Capítulo 4) ha requerido confeccionar transectos hidrogeológicos. La información geológica (litología, formaciones,



espesores, etc.) e hidrogeológica (acuíferos atravesados, características de los pozos –tipo de entubación, ubicación de los tramos rasurados-, condiciones hidrodinámicas –profundidad del nivel piezométrico, surgencia o no, etc.-) usada para construir los transectos fue obtenida de las siguientes fuentes:

- Fichas de pozos de DH (2007)
- Fichas de pozos de PROINSA (2007)
- Tesis doctoral de Gastmans (2005)
- Tesis doctoral de Silva Busso (1999)
- Artículo Bonotto (2005)
- Informe SAG PY (BGR, 2007)
- Tesis doctoral de Da Silva (1983)
- Mapas elaborados para el presente proyecto por LEBAC (2008)
- Base de datos hidrogeológica del Proyecto SAG (versión de 12/06/08)

La información geológica no se describe manera homogénea en los distintos trabajos, por lo que se ha debido realizar una labor de integración e interpretación para obtener información significativa en cuanto a cotas del techo y la base del SAG, existencia o no de materiales del Pres-SAG y del Post-SAG, posición de tramos ciegos y ranurados, etc. A modo de ejemplo se mencionan las siguientes situaciones:

- Bonotto (2005) presenta la información geológica bajo formaciones o grupos, y en algunos casos presenta de forma indiferenciada las formaciones Botucatú y Piramboia;
- Gastmans (2007) no detalla unidades o formaciones, y discrimina tres sistemas acuíferos: SAB (Sistema Acuífero Baurú), SASG (Sistema Acuífero Serra Geral) y SAG (Sistema Acuífero Guaraní);
- Da Silva (1983) identifica el SAG a partir de la cota del techo y del espesor perforado del mismo en cada pozo, indicando si se trata de una penetración parcial o total en el SAG, pero por encima del SAG no discrimina las unidades perforadas;
- Silva Busso (1999) informa de las formaciones geológicas atravesadas;



- BGR (2007) presentan perfiles de pozos con información litológica simple, de tipo “areniscas” o “basaltos”;
- Las fichas de DH (2007) y PROINSA (2007) son heterogéneas en cuanto al nivel de detalle que presentan: algunas carecen totalmente de información geológica, otras presentan descripciones litológicas simples tales como “areniscas” o “basaltos” y otras asocian a estas descripciones la Formación a la cual pertenecen.

Los mapas de LEBAC (2008) se han usado para obtener información sobre la profundidad del techo y la base SAG en áreas de los distintos transectos donde no se disponía de información geológica o ésta era incompleta, y también para contrastar las cifras extraídas de los trabajos antecedentes mencionados.



4 METODOLOGÍA USADA

La metodología del estudio hidroquímico regional ha consistido en las siguientes tareas:

- 1 Recopilación a priori, integración y sistematización en bases de datos de información hidroquímica, geológica e hidrogeológica existente.
- 2 Evaluación de la calidad de la información y discriminación de datos válidos y no válidos para los distintos estudios (ver criterios más abajo).
- 3 Regionalización de la información en 8 transectos que a priori representan razonablemente líneas regionales de flujo (ver Apartado 4.2).
- 4 Selección de muestras de aguas representativas de los transectos y estudio de la evolución hidroquímica de las aguas del SAG a lo largo de los mismos. Tras caracterizar la evolución en cada transecto se han propuesto hipótesis para explicar esa evolución, las hipótesis se han validado con modelación hidrogeoquímica y finalmente se han integrado los resultados obtenidos para el conjunto de los transectos, proponiendo un modelo conceptual para explicar el origen de la composición del conjunto de las aguas del SAG.
- 5 Además del estudio hidroquímico centrado en transectos orientado a la evolución de la composición y sus causas, se han realizado los siguientes estudios
 - Se han confeccionado y explicado mapas de distribución espacial de determinados componentes de las aguas subterráneas del SAG (Na, Cl, SO₄, pH, Alcalinidad, Dureza y F).
 - Se ha estudiado el posible origen del F en las aguas del SAG.
 - Se ha estudiado la relación de la sílice (como SiO₂) con la temperatura.
- 6 Se ha integrado la información obtenida del estudio de la evolución de la composición del agua del SAG a lo largo de grandes líneas de flujo con la obtenida a partir de mapas,



relaciones iónicas, etc. para proponer un modelo conceptual del origen de la composición química de las aguas del SAG.

4.1 Calidad y utilidad de los análisis químicos

4.1.1 Consideraciones previas sobre el error de balance iónico

La evolución del fondo químico natural del agua subterránea (evolución hidroquímica debida a los procesos naturales) se produce con frecuencia de forma gradual conforme aumenta el tiempo de permanencia del agua en el terreno. En el mejor de los casos esta evolución se manifiesta como cambios de pequeña magnitud, a veces muy sutiles, que van haciendo variar la composición del agua entre dos o más tipos extremos. Estos tipos químicos extremos, por ejemplo el agua subterránea reciente en las zonas de recarga y el agua más vieja y evolucionada que se encuentra al final de líneas de flujo regionales de magnitud kilométrica, sí suelen ser claramente identificables, pero no tanto las composiciones intermedias.

En muchos casos la evolución se manifiesta de forma tan sutil que sólo es posible observar diferencias significativas de composición entre distintas aguas mediante análisis estadístico u otras herramientas. Esta es la razón principal por la cual para estudiar el origen de la composición de las aguas subterráneas y las causas de su evolución, y también para poder deducir de ellas conocimientos fiables acerca de la recarga, la descarga, los tiempos de permanencia, etc., es imprescindible manejar análisis cuya incertidumbre analítica sea inferior a esas diferencias naturales de composición.

En las últimas tres décadas el descenso de los límites de detección de las técnicas analíticas (ICP, absorción atómica, cromatografía iónica, etc.), la mejora de los procesos de calibración y la consiguiente mejora de la precisión analítica han permitido un notable avance en el uso de la hidrogeoquímica como herramienta para conocer más sobre el funcionamiento de los acuíferos. Para aguas normalmente mineralizadas las técnicas analíticas al uso permiten realizar análisis de componentes mayoritarios con errores de balance iónico inferiores al 5%, aunque en general se aceptan errores de hasta el 10% cuando se trata de aguas muy poco mineralizadas. Este error de



balance iónico se debe interpretar así: partiendo de la base de que todas las especies químicas disueltas y en forma iónica en un agua proceden de la disociación o asociación de otras especies químicas (iónicas o no), y de que todas las reacciones químicas ocurren con la intervención de igual cantidad de equivalentes de cargas positivas y negativas, el total de especies químicas disueltas y en forma iónica que tienen carga positiva debe ser igual al total de especies químicas con carga negativa. Ese “total” se mide en términos de equivalentes químicos.

El concepto de “error de balance” es pues sólo un modo de comprobar que en el proceso analítico se ha cuantificado razonablemente la mayor parte de los solutos totales disueltos (que están en forma iónica en más de un 97%). Para cuantificar este error se compara la diferencia entre el total de cargas positivas y negativas analizadas en un agua respecto a la semisuma de ambas: ya que en teoría debe haber igual número de cargas positivas que negativas, la diferencia entre cationes y aniones medidos y la cantidad total de cargas positivas (o negativas) debe tender a cero, es decir:

$$e = \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\frac{\sum cationes + \sum aniones}{2}} \times 100 \quad [1]$$

Es importante señalar que los laboratorios químicos que no realizan análisis destinados a estudios hidrogeológicos no tienen porqué cumplir este requisito del balance, ya que para muchos otros estudios puede ser aceptable manejar concentraciones con una mayor incertidumbre. Por tanto, es práctica común que los hidrogeólogos que trabajan con hidroquímica informen a los laboratorios analíticos sobre sus necesidades de precisión. De este modo el mismo laboratorio realiza la comprobación del error de balance y puede repetir las determinaciones necesarias sobre la marcha. Por otro lado, en la actualidad los laboratorios acreditados para trabajar con aguas subterráneas tanto para la investigación como para la administración hídrica deben demostrar que son capaces de realizar análisis con errores inferiores al 20% (calculado con la expresión [1]).

Por todo lo expuesto, no es sensato utilizar análisis químicos con errores mayores al 10% en un estudio hidroquímico cuyo objetivo es deducir el funcionamiento del acuífero en base a pequeñas diferencias de composición de origen natural las cuales pueden ser del mismo orden de magnitud, o incluso inferior, al error analítico. En la Tabla 4.1 se recogen las cifras significativas en cuanto a análisis recopilados y finalmente utilizados.



Tabla 4.1. Resumen de análisis hidroquímicos recopilados y procesados

	Estudios antecedentes	DH (2007)	PROINSA (2007)	Total
Total de análisis recopilados	747	115	220	1082
Análisis incompletos o con error > 20 % (según la expresión [1])	332 (44,4%)	34 (29,6%)	101 (46%)	615 (56,8%)
Análisis hidroquímicos utilizables	415 (55,5%)	81 (70,4%)	119 (54%)	467 (43,2%)

4.1.2 Consideraciones sobre la medición de parámetros inestables en campo y en laboratorio

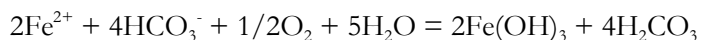
Las hipótesis de trabajo respecto al origen de la composición química del agua subterránea, las causas de las variaciones espaciales que se observan, el tiempo de permanencia del agua en el acuífero, las reacciones que han podido modificar los contenidos de los isótopos que se utilizan para deducir edades, lugares de recarga, condiciones ambientales en el momento de la recarga, etc., se refieren a las condiciones que el agua tiene en el acuífero.

Los cálculos hidrogeoquímicos que se hacen para contrastar esas hipótesis suponen también que los datos no sólo de alcalinidad, sino también de pH, temperatura y conductividad eléctrica que se usan representan razonablemente las condiciones que el agua tiene en el acuífero. Pero algunos de estos parámetros son inestables y cambian fácil al extraer el agua y exponerla a condiciones de temperatura, presión, concentración ambiental de CO₂, etc. distintas.

Por ejemplo, como el agua subterránea suele tener concentraciones de CO₂ mayores que la atmósfera al extraer una muestra de agua es frecuente que ocurra degasificación, lo cual induce una subida del pH. Si los valores de pH, temperatura o concentración de CO₂ de la muestra de agua cambian, la distribución de algunos componentes químicos (muy útiles para conocer el funcionamiento de los acuíferos) entre sus distintas especies químicas puede cambiar también, induciendo estados de saturación mineral en el seno de la muestra que no existen en el acuífero e incluso llegando a producir reacciones de precipitación en la botella cuyo resultado es una



disminución de las concentraciones, disminución de la conductividad eléctrica, disminución de la alcalinidad, etc. Por ejemplo, en acuíferos con aguas anóxicas suele ocurrir oxidación del Fe y Mn disueltos y precipitación de hidróxidos de estos metales en la botella según reacciones como la siguiente, donde además de disminuir la concentración de Fe, Mn etc. en el agua, disminuye la alcalinidad:



En aguas carbonatadas la pérdida de CO_2 provoca la subida del pH y, eventualmente, la saturación del agua en calcita, la cual puede llegar a precipitar en la botella. Las cantidades pueden ser mínimas y no detectables a simple vista, pero suficientes como para modificar las concentraciones de los solutos en el agua.

Por tanto, cuando se realizan estudios hidroquímicos cuyo objetivo es conocer el funcionamiento del acuífero, es necesario medir siempre en campo y en laboratorio los parámetros físico-químicos inestables por dos razones importantes:

1. Conocer si desde el momento del muestreo hasta el del análisis han ocurrido cambios significativos en las concentraciones de los componentes a estudiar (de las cuales se van a extraer conclusiones relevantes sobre el funcionamiento del sistema). Para ello basta comparar las conductividades eléctricas y las alcalinidades medidas en campo y en laboratorio.
2. Conocer cómo se distribuyen los componentes químicos que se van a estudiar entre sus distintas especies químicas a las condiciones del acuífero, no del laboratorio. Esto es relevante cuando se van a realizar cálculos de índices de saturación y se van a extraer conclusiones respecto a reacciones químicas que pueden tener lugar entre el agua y el medio físico. Puesto que los laboratorios analizan la concentración total de cada elemento químico disuelto, conociendo el pH, la temperatura y la alcalinidad del agua en el acuífero es posible calcular la distribución de cada elemento entre sus distintas especies químicas.



Esto último afecta especialmente a los elementos involucrados en la formación de minerales carbonatados. Por tanto, medir la alcalinidad y el pH en campo y en laboratorio ayuda a interpretar qué procesos hidrogeoquímicos pueden estar ocurriendo en el medio real y cuáles pueden ser sólo aparentes. Una buena correlación entre las alcalinidades medidas en campo y en laboratorio no sólo informa de la inexistencia de cambios significativos en la especiación química del agua, sino que proporciona confianza respecto al uso de valores medidos en laboratorio cuando no existen los de campo.

En muy pocos de los trabajos de hidroquímica realizados en el SAG se ha medido la alcalinidad en campo y en laboratorio. La Fig. 4.1 muestra la correlación entre ambas mediciones en las muestras tomadas en la zona Norte para el presente proyecto (lamentablemente en las muestras de la zona Sur sólo se midió alcalinidad en campo, a pesar de que los protocolos elaborados indicaban que se midiera en ambos lugares). Se observa una buena correlación en general pero con cierta tendencia a que las alcalinidades de laboratorio sean menores que las de campo. Esto significa que en algunas muestras puede haber ocurrido precipitación de CaCO_3 en la botella, lo cual es especialmente relevante en el caso de las aguas menos mineralizadas (alcalinidades menores a 100-150 mg/L de CaCO_3) ya que pequeñas disminuciones de los contenidos en solutos disueltos suponen errores de interpretación mayores.

Estos cambios pueden tener lugar en muestreos de agua de cualquier tipo de acuífero, por ello hay que procurar medir esos parámetros en campo de la manera más cuidadosa posible y también conservar las muestras de agua (hasta su análisis en el laboratorio) de la manera más adecuada y siguiendo, siempre que sea posible, un protocolo establecido para ello.

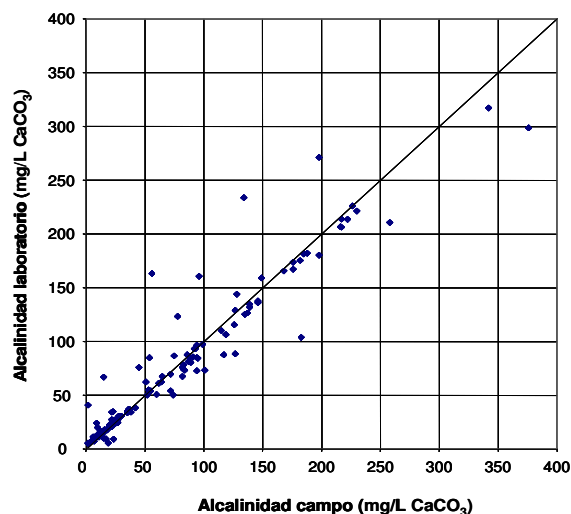


Fig. 4.1. Correlación entre los valores de alcalinidad medidos en campo y en laboratorio en las muestras de agua tomadas por DH (2007).

4.2 Diseño de los transectos y confección de perfiles hidrogeológicos

Debido a la gran cantidad de información recopilada y a su heterogénea distribución espacial, se decidió iniciar el estudio seleccionando un conjunto de análisis representativos de toda la variabilidad encontrada en el acuífero. La selección de este conjunto de datos y su ubicación espacial se hizo con un enfoque hidrogeológico: estudiar la evolución de las aguas del SAG a lo largo de grandes líneas de flujo regionales que representen razonablemente todo el acuífero.

En la reunión realizada en Montevideo en abril de 2008 por los miembros del Consorcio Guaraní se realizó una primera selección de líneas de flujo regionales con base en el mapa potenciométrico del SAG realizado por LEBAC (2008). Posteriormente, durante el proceso de búsqueda de información geológica confiable que fuera acompañada de información química también confiable, la propuesta inicial se modificó ligeramente debido a factores tales como la no existencia de análisis químicos confiables en determinados pozos, o la comprobación de que algunos de los análisis disponibles procedían de pozos que aportan agua de acuíferos distintos al SAG. Los transectos finalmente seleccionados se muestran en la Fig. 4.1. Como se verá más adelante (capítulos 5 y 6), tras el estudio hidroquímico se comprobó que no todos los pozos y análisis



químicos disponibles sobre esos transectos informan de la evolución química del agua debido al flujo lateral en el SAG.

El estudio de la evolución química del agua del SAG en cada transecto se ha apoyado con un perfil hidrogeológico. La construcción de los perfiles hidrogeológicos de los transectos ha seguido el siguiente proceso:

1. Búsqueda de análisis químicos válidos (desde el punto de vista del error de balance) en la base de datos hidroquímicos confeccionada, acompañados de perfiles litológicos del pozo correspondiente.
2. Con la información geológica obtenida se han confeccionado los perfiles hidrogeológicos que se muestran en el Capítulo 5. En el caso de no disponer de datos geológicos correspondientes a un lugar de donde sí se dispone de análisis químico útil, se ha recurrido a interpolar las cotas de base y techo SAG a partir de los mapas de LEBAC (2008). Estos se han usado también para validar la información de cotas y espesores de las columnas litológicas recopiladas de otras fuentes.
3. En caso de disponer de varios análisis químicos de un mismo lugar y no tener información sobre si pertenecen o no al mismo pozo, para no perder información se siguió el siguiente procedimiento: 1) uniformización de coordenadas y comparación de coordenadas y profundidad de todos ellos. En la mayoría de los casos se ha podido establecer si las muestras pertenecían o no al mismo pozo. 2) En caso positivo, los análisis se han usado para comprobar si ha habido cambios temporales de composición química en el pozo. 3) En caso negativo, todos ellos se han usado para identificar la facies hidroquímica del SAG en ese lugar concreto (Apartado 5.1).

4.2.1 Descripción de la nomenclatura usada en los perfiles

Los transectos se han numerado arbitrariamente del 1 al 8. Cada transecto está formado por un número de emplazamientos que se han llamado aquí *puntos*. Los *puntos* no representan pozos



individuales, sino agrupaciones de pozos que se encuentran en un entorno más o menos cercano (en términos relativos). El motivo de haber elegido varios pozos para cada emplazamiento (siempre que ha sido posible) ha sido caracterizar lo mejor posible la composición química del agua del SAG en cada emplazamiento, asegurando al máximo que cada análisis individual utilizado después para realizar cálculos de balance de masas y simulación hidroquímica a lo largo de los transectos es representativo del agua del SAG.

Dentro de cada transecto, cada *punto* o emplazamiento se ha numerado con el dígito del transecto correspondiente seguido del número de ubicación del *punto* dentro del transecto, empezando a numerar siempre desde aguas arriba hacia aguas abajo (Ej.: los puntos 1-1, 1-2, 1-3, son los puntos 1º, 2º y 3º, en el sentido del flujo, del Transecto 1).

Cada punto está representado por un número distinto de pozos y de análisis hidroquímicos, en función de la información útil disponible. Las iniciales utilizadas en los códigos corresponden a los autores de las tesis, publicaciones y proyectos de donde se extrajo la información hidroquímica. Para facilitar la representación de los análisis químicos al realizar el análisis multivariado se definió el siguiente identificador con el fin de reunir en éste información relevante para su identificación en cuanto a su ubicación y procedencia:

Transecto-Punto-Fuente de información-Letra

Transecto: es un número entre 1 y 8 correspondiente a cada transecto analizado.

Punto: refiere a cada emplazamiento contenido en cada transecto. Los *Puntos* suelen corresponder a agrupaciones de pozos, aunque algunos puntos consisten en un solo pozo.

Fuente de información: corresponde a las fuentes bibliográficas (los distintos estudios antecedentes y las campañas de DH, 2007; y PROINSA, 2007) de las cuales se ha extraído la información hidroquímica usada para caracterizar un determinado *Punto* en un determinado *Transecto*. Las fuentes usadas se han codificado de la siguiente forma:

B- Bonotto (2006)

DH – DH

G – Gastmans (2007)



K – Kittl (2000)
O – Oleaga (2002)
PR – PROINSA (2007)
PY- proyecto SAG-PY (BGR, 2007)
R – Da Rosa Filho et al. (2005)
S – Da Silva (1983)
SB – Silva Busso (1999)

Cuando existía más de un análisis químico válido de un mismo estudio antecedente asociado a un *Punto*, cada análisis se ha identificado con una letra minúscula (en orden alfabético) detrás de la mayúscula que identifica al estudio. A modo de ejemplo, en la Fig. 4.2 y en la Tabla A2.3 del Anexo 2 se puede encontrar, para un mismo punto, los siguientes análisis: 1-1S, 1-1DHa y 1-1DHb. Esto indica que existen 3 análisis químicos válidos asociados al Punto 1 del Transecto 1: el primero procede de Da Silva (1983) y los otros dos proceden de DH (2007).

A continuación se resume el trazado, número de puntos o emplazamientos y número de análisis manejado para cada transecto. Una descripción más detallada se puede ver en el Anexo 2:

- T1. El Transecto 1 transcurre de E a O. Comienza en Sta. Rosa de Viterbo (estado de São Paulo, Brasil) y termina en Naviraí (estado de Mato Grosso do Sul, Brasil). Consta de 12 puntos o emplazamientos y se han manejado 22 análisis en total.
- T2. El Transecto 2 transcurre de E a O. Comienza en São Pedro (estado de São Paulo, Brasil) termina también en Naviraí, en el mismo punto que el Transecto 1. Consta de 10 puntos, para los cuales se ha manejado un total de 15 análisis.
- T3. El Transecto 3 transcurre de E a O. Comienza en Sto. Antonio da Platina (estado de Paraná) y termina en el mismo punto que los transectos 1 y 2 (Naviraí, Mato Grosso do Sul). Consta de 5 puntos, para los cuales se ha seleccionado y manejado 8 análisis.
- T4. El Transecto 4 transcurre de E a O. Comienza en Cruz Machado (estado de Paraná, Brasil) y termina en Cerro Azul (provincia de Misiones, Argentina). Consta de 10 puntos y se ha utilizado un análisis por cada punto, es decir un total de 10.



- T5. El Transecto 5 transcurre de O a E. Comienza en Nioaque (estado de Mato Grosso do Sul, Brasil) y termina en Naviraí (Mato Grosso do Sul, Brasil), en el mismo punto que los transectos 1, 2 y 3. Está formado por 4 puntos y se ha manejado un total de 8 análisis de agua.
- T6. El Transecto 6 transcurre de N a S. Comienza en Jataí (estado de Goiás, Brasil) y termina en el mismo punto que el Transecto 4, Cerro Azul (provincia de Misiones, Argentina). Es el transecto más largo y transcurre por los estados brasileños de Goiás y Mato Grosso do Sul, el departamento de Alto Paraná en Paraguay y la provincia de Misiones en Argentina. Consta de 12 puntos, para los cuales se ha manejado un total de 17 análisis.
- T7. El Transecto 7 transcurre de E a O. Comienza en la ciudad de Rivera (Uruguay) y termina en la central térmica de Uruguaiana (estado de Río Grande do Sul, Brasil). Consta de 6 puntos, para los cuales se ha manejado un total de 24 análisis. La abundancia de datos químicos manejados se justifica por la mayor existencia de información en la zona y por la intención de observar posibles procesos de incorporación de solutos de origen antrópico, además de los procesos naturales, ya que los cuatro primeros puntos del transectos están en las grandes conurbaciones Rivera (punto 7-1)-Sant'ana do Livramento (punto 7-2) y Artigas (punto 7-3)-Quaraí (punto 7-4).

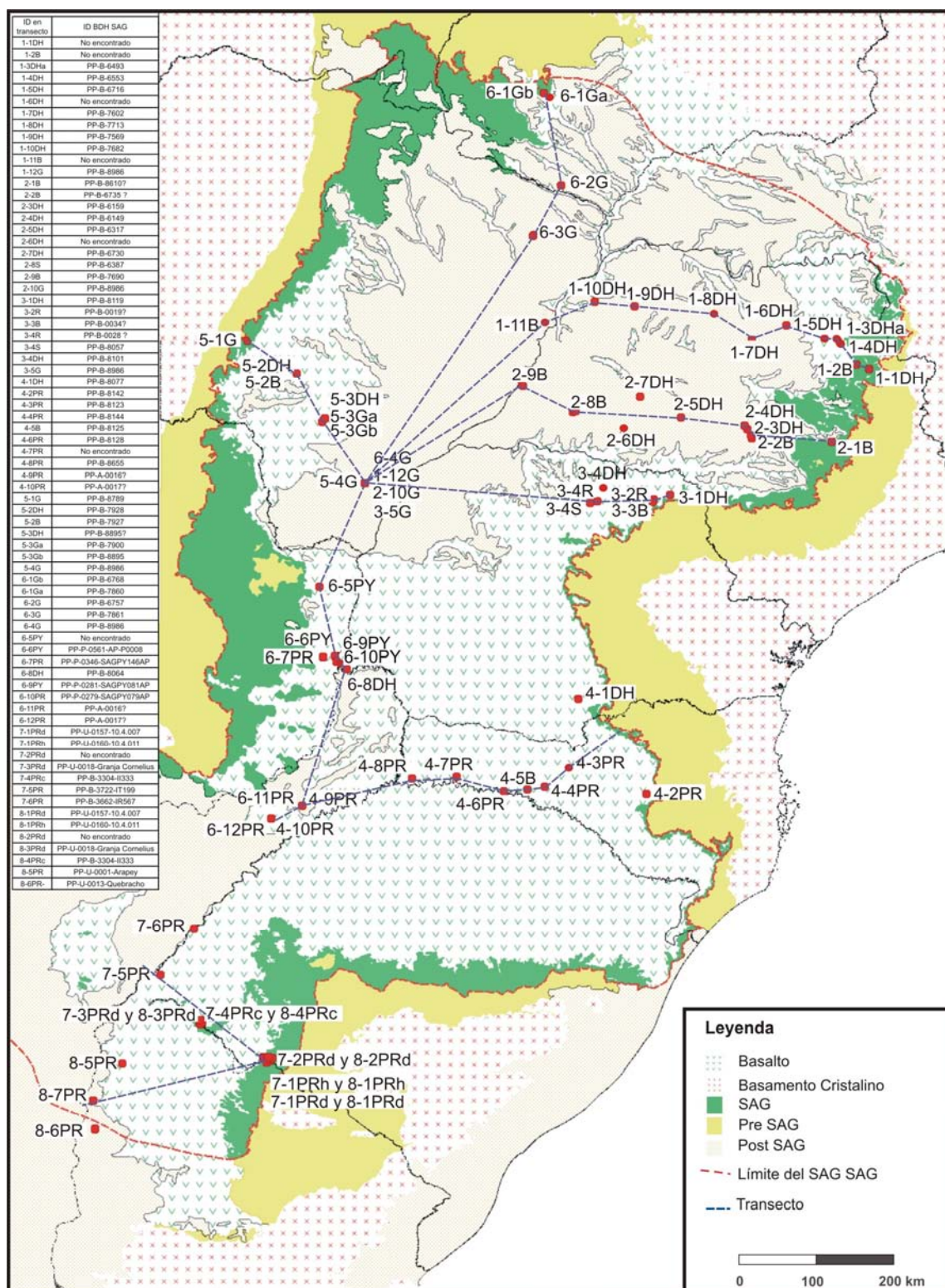


Fig. 4.2. Transectos hidrogeológicos seleccionados para el estudio del origen y la evolución de la composición química del agua del SAG.



T8. El Transecto 8 transcurre de E a O. Comienza en la ciudad de Rivera (departamento de Rivera, Uruguay) y termina en Termas de Daymán (departamento de Paysandú, Uruguay). Transcurre por los departamentos uruguayos de Rivera, Artigas, Salto y Paysandú y consta de 7 puntos, para los cuales se ha manejado un total de 35 análisis (por los mismos motivos que en el Transecto 7). Los puntos (y los análisis manejados en cada punto) 8-1 a 8-4 coinciden con los puntos y análisis 7-1 a 7-4 del Transecto 7.

4.3 Selección de análisis químicos representativos de los transectos

La selección se ha realizado a partir de los análisis químicos generados en el presente proyecto (sólo los generados durante el año 2007) más los análisis químicos compilados de estudios anteriores. El objetivo ha sido doble: 1) obtener la mayor cantidad de información hidroquímica a lo largo de los transectos para definir estos lo mejor posible; 2) comprobar si se habían producido cambios en la composición química del agua en puntos muestreados en este proyecto y que ya contaban con información química histórica. Para realizar esto último hubo que comprobar, primero, si esos análisis históricos procedían del mismo pozo muestreado ahora por DH o PROINSA. Brevemente, el proceso ha consistido en comparar la siguiente información, cuando se disponía de ella:

- Nombre del pozo
- Coordenadas
- Profundidad de la perforación
- Indicaciones específicas respecto al pozo muestreado recogidas por los autores

El proceso de selección de análisis para los transectos se ha basado en los siguientes criterios (una descripción más detallada del proceso de selección realizado se puede ver en el Anexo 2 aplicado a los pozos y análisis químicos del Transecto 1 a modo de ejemplo):

1. Indicación del acuífero de procedencia de la muestra (sólo DH (2007), PROINSA (2007), Gastmans (2007), Bonotto (2006), Silva Busso (1999), Da Silva (1983) y Oleaga (2002) lo hacen).



2. Error de balance aceptable ($e \leq 20\%$, según la expresión $e=200*(\square \text{ Cationes} - \square \text{ Aniones})/(\square \square \text{ Cationes} + \square \text{ Aniones})$). Esto es imprescindible ya que los análisis se han usado posteriormente para la modelación hidrogeoquímica.
3. Análisis completos (todos debían tener mediciones de alcalinidad, temperatura, conductividad eléctrica y pH, ya fuese en campo o en laboratorio)

La selección final proporcionó 133 análisis químicos distribuidos en los 8 transectos, de los cuales 25 análisis son utilizados en dos o más transectos (Tabla 4.2). Los datos químicos completos de esos análisis se recogen en la Tabla A2.4 del Anexo 2. Dado que algunos emplazamientos forman parte de más de un transecto, algunos análisis (25 en total) son compartidos por dos o más transectos.



Tabla 4.2. Número de análisis usados para el estudio hidroquímico de los transectos.

Transecto	Nº total de análisis usados	Análisis compartidos con otros transectos
1	22	1 (con transectos 2, 3, 5, 6)
2	15	1 (con transectos 1, 3, 5, 6)
3	8	1 (con transectos 1, 2, 5, 6)
4	10	2 (con Transecto 6)
5	8	1 (con transectos 1, 2, 3, 6)
6	17	3 (1 con transectos 1, 2, 3, 5; 2 con Transecto 4)
7	24	22 (con Transecto 8)
8	29	22 (con Transecto 7)

4.4 Métodos de estudio de datos usados

La metodología usada para el estudio de los datos hidroquímicos ha consistido en las siguientes actividades, por orden cronológico.

4.4.1 Estudio de facies hidroquímicas y de la relación entre ellas con diagramas de Schöeller y Piper

Mediante los diagramas de Schöeller-Berkaloff se han identificado las distintas facies o grupos hidroquímicos que aparecen a lo largo de cada transecto, y mediante los diagramas de Piper se ha establecido la relación espacial entre las distintas facies y de éstas con la red de flujo (Apartado 5.2). Para los gráficos se ha usado el código EASYQUIM (Vázquez-Suñé, 1999).

También se han usado diagramas de Shöeller-Berkaloff para mostrar la composición química de otras aguas recopiladas, tales como las aguas de lluvia (Apartado 5.1), aguas de manantiales y ríos (Apartado 5.3) o aguas salinas de formaciones del pre-SAG (Apartado 5.3).



4.4.2 Estudio de relaciones iónicas y relaciones X vs Y

Para el estudio del origen de la composición química de las aguas del SAG se han usado diagramas clásicos tipo X vs. Y. Seleccionando los componentes químicos (y también las relaciones iónicas) cuyo origen o evolución se debe a causas comunes, estos diagramas han permitido deducir los procesos hidrogeoquímicos más probables que tienen lugar en el sistema acuífero.

En el Apartado 5.1 se muestra el proceso de deducción de procesos hidrogeoquímicos para todo el acuífero, sin atender a la ubicación espacial de los mismos. Esto se ha realizado usando un conjunto de análisis químicos seleccionados como válidos de entre los obtenidos en el presente proyecto y de entre los recopilados de trabajos anteriores.

En el Apartado 5.2 se muestra la validación de los procesos hidrogeoquímicos antes deducidos estudiando ahora la distribución espacial de concentraciones y de relaciones iónicas a lo largo de los 8 transectos definidos en el Apartado 4.2.

4.4.3 Realización de balances de masa y selección de reacciones a modelar

En el Apartado 6.2 se realizan balances de masa de los componentes mayoritarios a lo largo de los transectos, utilizando para ello análisis representativos de las distintas facies químicas establecidas.

Relacionado los balances de masa con la mineralogía del sistema acuífero y con los procesos hidrogeoquímicos deducidos en los apartados 5.1 y 5.2 se ha establecido un modelo hidroquímico conceptual para explicar las modificaciones de la composición química. Este modelo consiste en un conjunto de reacciones hidrogeoquímicas cuya posible ocurrencia se ha validado posteriormente mediante modelación.



4.4.4 Estudio de estados de saturación mineral y modelación hidrogeoquímica con PHREEQC

El código PHREEQC (Parkhurst y Appelo, 1999) se ha usado para calcular los estados de saturación mineral de las aguas seleccionadas como representativas de las distintas facies químicas encontradas a lo largo de cada transecto, y también para validar (contrastar la factibilidad) de las reacciones químicas del modelo hidroquímico conceptual propuesto (apartados 6.2 y 6.3).



5 ESTUDIO DEL ORIGEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA DEL SAG Y DE SU RELACIÓN CON LA RED DE FLUJO

Como ya se ha dicho, para el estudio hidroquímico del SAG a lo largo de transectos considerados a priori razonablemente representativos de grandes líneas de flujo regional, se ha manejado alrededor de 130 análisis de aguas subterráneas procedentes de distintas fuentes bibliográficas (Apartado 4.1 y Tabla A2.3 en Anexo 2). Estos análisis han sido validados tanto desde el punto de vista analítico (tienen un error de balance aceptable, excepto en el caso de cuatro análisis con error entre 20 y 21% -según la expresión [1]- pero que son los únicos disponibles en otros tanto puntos o emplazamientos) como hidrogeológico (procedencia razonable del SAG). En ese apartado se ha descrito también el método usado para identificar en este trabajo cada análisis particular en cada transecto, por lo que no se describe aquí de nuevo.

A continuación se describe el estudio hidroquímico del conjunto de las muestras de todos los transectos, sin atender a su distribución espacial, y se plantean hipótesis para explicar la composición observada (Apartado 5.1). Después se describe la evolución espacial de la composición química del agua a lo largo de los transectos (Apartado 5.2) y a continuación se sintetiza la información obtenida clasificando las aguas en cuatro facies hidroquímicas, el significado conceptual de las mismas y las relaciones hidrodinámicas que existen entre ellas y la red de flujo (Apartado 5.3). Después se describe la distribución espacial de algunas variables hidroquímicas significativas a escala de todo el acuífero (Apartado 5.4) y por último se resume el modelo conceptual que se propone para explicar el origen de la composición química del agua del SAG.

5.1 Estudio de la composición química de las aguas del SAG y origen de los solutos

Para entender las relaciones entre distintos componentes químicos y proponer hipótesis sobre su origen y evolución en las aguas subterráneas se ha realizado un estudio de gráficos de relación iónica. Dado que el conjunto de muestras seleccionadas a lo largo de los transectos descritos es representativo del resto de aguas del SAG disponibles, el estudio se ha centrado en las muestras que conforman los transectos (Anexo 2, Tabla 2.4). Además, a efectos de realizar gráficas



maneables y fácilmente visibles, se ha optado por seleccionar un conjunto de muestras representativas de las distintas facies químicas identificadas. El estudio se centra en los siguientes componentes: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , NO_3 , SiO_2 , F y alcalinidad total y en los parámetros físico-químicos pH, temperatura (T) y conductividad eléctrica (CE).

Las tendencias de evolución que se mencionan, y que se marcan en algunos gráficos en forma de flechas, se refieren a evoluciones generales en el acuífero, a veces coincidentes con evolución a lo largo del flujo y otras con el aumento del tiempo de permanencia en general. Una información muy relevante de este estudio, y que queda mucho más patente en el análisis de la evolución hidroquímica espacial a lo largo de transectos del Apartado 5.2, es la heterogeneidad de procesos evolutivos que aparecen a lo largo de un mismo transecto. Esto sugiere que ninguno de los transectos corresponde a una única línea de flujo regional, y que las mezclas verticales con aguas de formaciones infrayacentes están presentes casi de forma generalizada en el SAG confinado.

- **Origen del Na y del Cl**

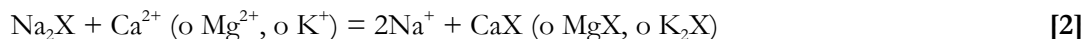
El principal origen del Na y el Cl en aguas subterráneas es común y consiste la infiltración del agua de lluvia. En ausencia de contaminación industrial el principal origen del Na y el Cl en la lluvia es el aerosol marino, seguido del polvo litológico. En ambos casos los contenidos de Na y Cl en el agua deben ser prácticamente iguales. Por ello, en cualquier agua superficial o subterránea no modificada por reacciones con el terreno debe cumplirse que $\text{Na} \approx \text{Cl}$ (en meq/L).

Para conocer cuáles son los procesos relevantes que incorporan solutos en la zona de recarga de un acuífero y en qué magnitud ocurre cada uno es necesario conocer la composición típica de la lluvia en esa zona y comparar ésta con el agua subterránea menos evolucionada. No obstante, los pocos análisis de agua de lluvia encontrados en la literatura no permiten conocer el tipo químico de la misma. Los análisis que están completos y son válidos desde el punto de vista analítico parecen tener una fuerte marca litológica, pero con la poca información existente no es posible deducir si esta impronta litológica está incorporada a la lluvia (deposición húmeda) o bien ésta disuelve la deposición seca al caer en el recipiente muestreador (Fig. 5.1). Aunque en ambos casos esa composición se podría considerar representativa del aporte de solutos al acuífero por el agua



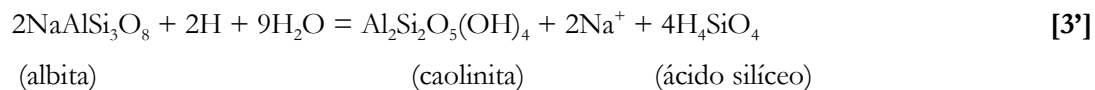
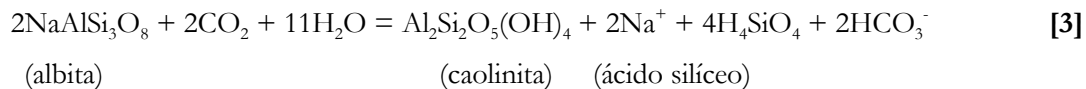
de lluvia, lo cierto es que la marca litológica también podría ser un efecto aparente, derivado de las dificultades analíticas con aguas tan poco mineralizadas.

Una vez dissociadas las moléculas de NaCl, el Cl no suele modificarse ya que interviene en muy pocas reacciones químicas entre el agua y el terreno y en casi todas lo hace acompañado de Na, excepto en determinados ambientes en los cuales hay minerales que contienen Cl pero no Na, tales como la silvita (KCl), la cloromagnesita (MgCl₂) o algunas rocas volcánicas. El Na, en cambio, sí suele cambiar con frecuencia sin un cambio paralelo del Cl, debido a que interviene en algunas reacciones muy comunes entre el agua y el terreno tales como la adsorción/desorción y el intercambio iónico. El Na se intercambia prácticamente con todos los otros cationes, pero tiene mayor afinidad (selectividad) con Ca y Mg (reacción [2]) Dado que los tres constituyen los cationes mayoritarios en cualquier cuerpo de agua de origen natural, basta estudiar los cambios relativos entre ellos para conocer la existencia de intercambio y el sentido del mismo.



Donde NaX, CaX, MgX, KX indican el componente inicialmente adsorbido.

En litologías silicatadas el Na también puede proceder de la disolución (incongruente) de feldespatos sódicos (albita, NaAlSi₃O₈) según las reacciones [3] (en presencia de CO₂, situación habitual en zona de recarga) y [3'] (en ausencia de CO₂, situación habitual en zona confinada). Esta reacción origina como residuo caolinita y generando en el agua, además, bicarbonato y sílice. No obstante, esta reacción es más lenta que el intercambio iónico y, en caso de existir algo de arcillas, en general es el intercambio el que contribuye significativamente a los cambios que se observan en la relación rNa/rCl.



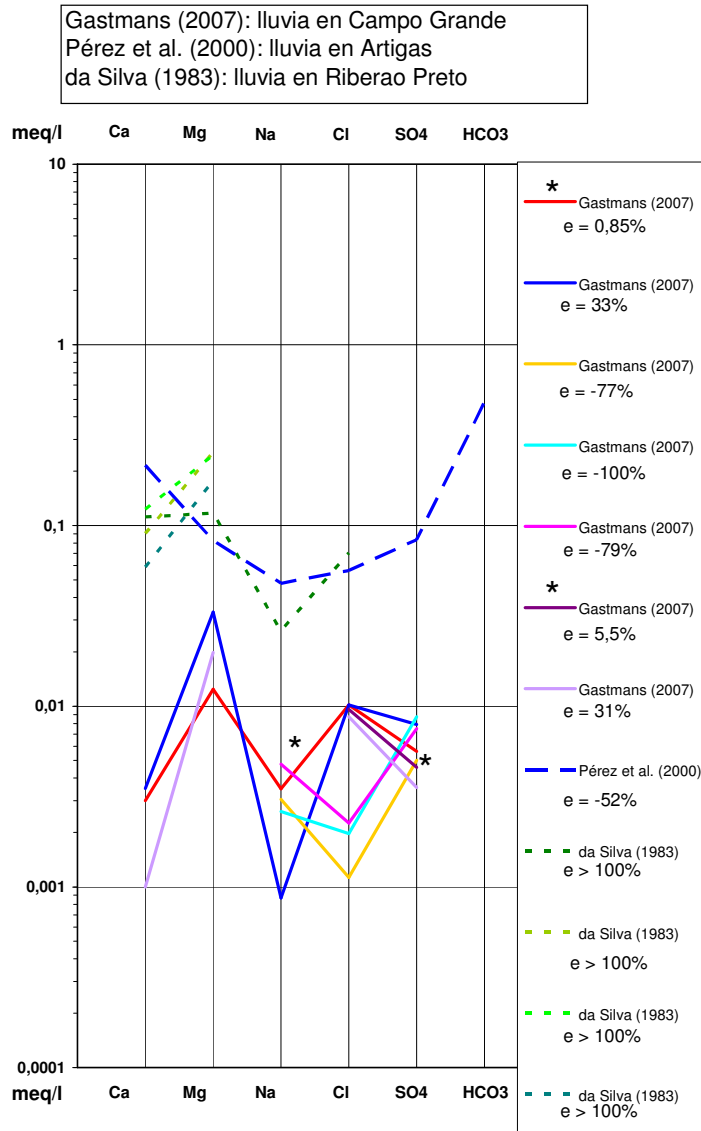


Fig. 5.1. Análisis químicos de agua de lluvia completos encontrados en la bibliografía. En la columna identificativa se indica el error de balance iónico calculado según la expresión [1]. Sólo dos análisis (indicados con un asterisco) tienen un error $< 20\%$, lo cual se explica por las dificultades de cuantificación analítica en aguas tan poco mineralizadas. Esta es la causa de que en varios análisis las concentraciones de algunos componentes se indican como “cero”, aunque en realidad debería poner “inferior al límite de detección” y considerar el valor de éste. Haciendo abstracción del error, se observa que la muestra de Artigas (Uruguay) es bicarbonatada cálcica y las de Campo Grande (Matto Grosso do Sul) tienden a ser cloruradas magnésicas. Es decir, todas las muestras de lluvia parecen tener una fuerte impronta litológica, aunque se desconoce si esta impronta está incorporada a la deposición húmeda (lluvia), es efecto de la disolución de la deposición seca (polvo atmosférico) o se trata de un artefacto ocasionado por la imprecisión analítica.



Así, un agua con rNa/rCl ($r = meq/L$) > 1 generalmente indica que han tenido lugar reacciones que han incorporado Na al agua pero no Cl, y si la relación es <1 indica que han ocurrido reacciones que extraen Na del agua pero no Cl. En la mayoría de las aguas del SAG la relación rNa/rCl es mayor que 1, con valores incluso del orden de 10^2 (Fig. 5.2a). La mayoría de las muestras representativas de las aguas de todos los transectos muestran dos tendencias distintas: una de aumento de exceso de Na sobre Cl al aumentar la salinidad y otra de disminución del exceso al aumentar la salinidad. La primera corresponde a las aguas de tipo $Na-HCO_3$, que se encuentran en situación de confinamiento intermedio; la segunda corresponde a las aguas más salinas, las de tipo $Na-HCO_3/Cl/SO_4$, en las cuales la relación rNa/rCl se va acercando a 1 al aumentar la salinidad. Esto último indica que el aumento de salinidad se debe fundamentalmente a la presencia de aguas que están o han estado en contacto con halita ($NaCl$) (que aporta igual cantidad de Na que de Cl, ver reacción [4]), es decir que se trata de mezclas entre aguas de tipo $Na-HCO_3$ y aguas de tipo $Na-Cl$. No se puede descartar que estas aguas salinas también hayan disuelto otras sales evaporíticas de sodio, aunque el valor de la relación Na/Cl sugiere que la disolución de halita es dominante.



También las aguas menos salinas de la gráfica tienen rNa/rCl en torno a 1. Son las aguas con $Cl < 0,1 meq/L$ (menos de $3,5 mg/L$) y corresponden a muestras de las zonas de afloramiento del SAG, donde el Na y el Cl tienen un origen común en la lluvia.

En la Fig. 5.2b se ve que las aguas con mayores contenidos de Na de las estudiadas en los transectos no son las más calientes, sino las que tienen temperaturas entre 20 y 50 °C. En la Fig. 5.2c se ve que esas aguas son las que tienen mayor exceso de Na sobre Cl, por tanto el origen del Na en ellas procede de intercambio iónico con otros cationes. Las muestras identificadas con el nombre del pozo están entre las aguas más salinas (salinidad total y Cl) y calientes de las manejadas en todos los transectos. El exceso de Na en estas aguas es menor, lo que indicaría que el intercambio iónico tiene lugar en zonas someras y de profundidades medias, mientras que a mayores profundidades (aguas más calientes) esos procesos no ocurren. De hecho, en el Apartado 5.7 se muestra que en estas aguas mezcla pueden existir condiciones para que ocurran procesos que disminuyen el Na disuelto.



La Fig. 5.3a permite conocer si la disolución de feldespato sódico (albita) es también una fuente relevante de Na. La disolución incongruente de albita genera un mol de Na por cada dos de sílice, lo que es igual a un aumento de 1 meq/L de Na respecto a Cl por cada 60 mg de SiO_2 . Si esta reacción contribuye de forma relevante al exceso de Na, la relación entre Na y SiO_2 debería seguir la línea discontinua. En la figura se observa que hay unas sólo pocas muestras dispuestas a lo largo de esta línea. En realidad el proceso podría estar ocurriendo, aunque aportando al agua menos Na que el intercambio iónico: es el caso de las muestras de los transectos 1, 2, 4 y 6 que tienen un exceso de Na independiente de la sílice. También se ve que hay bastantes muestras que tienen menos Na del que aportaría la disolución de albita. Algunas de estas tienen un valor de $\text{Na/Cl} > 1$, luego en ellas el Na procede de intercambio iónico. Otras (especialmente las del Transecto 7, entre Rivera-Santana, Artigas-Quaraí y Uruguaiana) tienen significativamente menos Na que Cl, lo cual podría explicarse por un intercambio iónico de Ca y/o Mg adsorbidos por Na. Este proceso se suele producir donde hay aguas subterráneas algo salinas desplazándose hacia zonas ocupadas por otras aguas más dulces (es el mismo proceso que tiene lugar en acuíferos costeros cuando la cuña salina penetra hacia el continente a causa de la explotación).

La Fig. 5.3b permite conocer si el intercambio iónico de Na con Ca y Mg es una fuente relevante de Na. El eje X muestra el exceso del Na (eje X, valores positivos) encontrado en las aguas del SAG y eje Y muestra el defecto de Ca + Mg respecto a los carbonatos (alcalinidad carbonatada total), aceptando que la disolución de calcita y dolomita es la fuente primaria mayoritaria de estos dos cationes en las aguas del SAG. La figura apoya la hipótesis de que buena parte del exceso de Na procede del intercambio iónico con Ca y M. No obstante, casi todos los transectos tienen varias muestras que no responden a este patrón, especialmente el Transecto 7. En resumen, parece que tanto la disolución de albita como el intercambio contribuyen al exceso de Na. Un análisis cuantitativo de la contribución de ambos procesos mediante modelación numérica se expone en el Apartado 6.3.

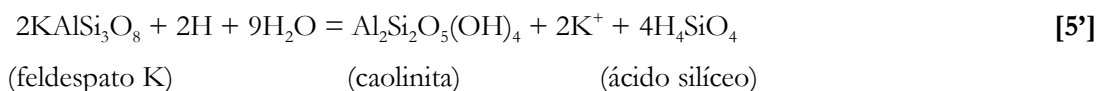
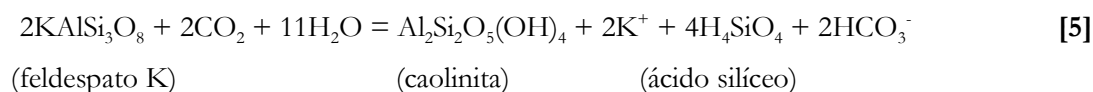
La Fig. 5.3c confirma que la principal fuente de Na en el acuífero es el intercambio iónico. En prácticamente todas las aguas, incluso en aquellas con $\text{Na/Cl} < 1$, el aumento de Na no acompañado de Cl va acompañada de un aumento de pH. Este aumento de pH lo produce la



disolución de carbonatos en el agua como consecuencia de la disminución del estado de saturación mineral de estos al disminuir el Ca y el Mg por intercambio.

- **Origen del K**

La disolución de feldespato sódico suele ir acompañada de disolución de feldespato potásico (KAlSi_3O_8), en un proceso también incongruente que incorpora al agua un mol de K (39,1 mg) por cada dos de Si (60 mg de SiO_2) (reacción [5] para la disolución en presencia de CO_2 - zona de recarga-, reacción [5'] para la disolución en ausencia de CO_2).



En la Fig. 5.4a se ve que la inmensa mayoría de las muestras tiene menos K del que debería haber en caso de estar ocurriendo disolución de feldespatos potásicos y, además, en ellas el K varía independientemente de la sílice. Por otro lado, si ambos feldespatos se disuelven debería existir una relación positiva entre K y Na, pero en la Fig. 5.4b se observan pocas correlaciones positivas entre ambos. Aunque la dispersión es grande, se han dibujado algunas rectas de regresión razonablemente confiables. Se observa, de nuevo, que las muestras de la mayoría de los transectos siguen dos tendencias opuestas: en algunas aguas los contenidos de K y de Na aumentan correlativamente, lo que podría deberse a la disolución de feldespatos potásicos y sódicos pero también a la mezcla progresiva con aguas que están en contacto con evaporitas. En otras aguas al aumentar el Na disminuye el K, lo que podría deberse a que en esas aguas el comportamiento del K está controlado principalmente por el intercambio iónico (con Na) y no por la disolución de albita. De hecho, el K disminuye claramente al aumentar el pH a partir de valores en torno a $\text{pH} = 8$ (Fig. 5.5a) y también lo hace la relación K/Na. Por tanto, el intercambio iónico de K adsorbido con Na en solución parece ser el principal control del contenido de K en las aguas, al menos en la zona de confinamiento.



Eventualmente podría existir una segunda fuente de K, la disolución de silvita (KCl), que es una roca habitual en las secuencias sedimentarias evaporíticas (reacción [6]). En la Fig. 5.6a se ve que algunas de las muestras caen sobre o muy cerca de la línea de disolución. Sin embargo esas aguas deberían ser al menos algo salinas, pero se trata de aguas con contenidos muy pequeños de Cl y K ($<0,1$ meq/L). En realidad es más probable que se trate de aguas de zona de recarga algo concentradas por evapotranspiración. En la mayoría de las aguas del Transecto 7 el K independiente del Cl. En las aguas del Transecto 8 el K disminuye al aumentar el Cl, lo que significa que el aumento de Cl implica alejamiento de la zona de recarga (ya que K y NO_3 sí aumentan paralelamente), bien en sentido horizontal o en sentido vertical. Para el resto de las muestras y transectos la correlación entre K y Cl no es clara, aunque existen algunas correlaciones positivas débiles para grupos de aguas (no todas) de los transectos 3, 4 y 6. No obstante, si existiera disolución de silvita la concentración de K debería aumentar en las aguas más profundas y calientes, cosa que no ocurre según la Fig. 5.6b.



Por ultimo, una fuente habitual de K en las zonas de afloramiento es la actividad humana, tanto la rural (agricultura, ganadería) como la urbana (efluentes de aguas servidas). En la Fig. 5.7a se ve claramente que en casi todas las muestras de los transectos 7 y 8 hay un aumento paralelo de K y de NO_3 . Esas muestras corresponden a aguas de tipo Ca-HCO_3 (Apartado 5.3), es decir situadas en o cerca de las zonas de recarga, y reflejan el impacto de la actividad agrícola. Aunque en esta figura no es posible ver la correlación positiva entre ambos componentes en aguas de los otros transectos, dicha correlación existe también en ellos (ver Apartado 5.2), pero aquí no se ve porque ésta se reduce a las muestras de la zona de afloramiento, que son pocas.

Por tanto el estudio apoya la existencia de dos posibles fuentes principales de K al agua del SAG, los fertilizantes (en zonas de afloramiento) y la disolución de feldespatos potásicos.



- **Origen del NO₃**

El NO₃ está vinculado a la actividad humana a través del uso de agroquímicos o de las pérdidas de las redes de evacuación de aguas servidas. Es frecuente encontrarlo en las aguas subterráneas de las zonas de recarga de acuíferos donde se realiza una u otra de estas actividades.

En la Fig. 5.7a se ha visto que para algunos grupos de aguas de algunos transectos existe una razonable correlación entre NO₃ y K. En la Fig. 5.7b se ve que algunas muestras, especialmente las de los transectos 7 y 8 (que transcurren a lo largo de la frontera entre Uruguay y Brasil y entre Uruguay y Argentina) tienen una correlación positiva entre NO₃ y Ca. Estas pocas muestras son todas de tipo Ca-HCO₃ y, como se ha dicho para el K, pertenecen a las áreas de afloramiento. El nitrato desaparece rápidamente en la zona confinada, por eso la mayoría de las aguas no muestran ninguna correlación. En la Fig. 5.7c se ve la ausencia de correlación existente entre NO₃ y SO₄, lo que indica que la o las fuentes relevantes de SO₄ son otras.

- **Origen del SO₄**

Como se acaba de ver, no parece que la agricultura sea una fuente significativa de SO₄, aunque localmente (en zonas de afloramiento con actividad agrícola) sí debe existir aporte de SO₄ agrícola al agua. En las zonas de recarga aparte de la agricultura la principal fuente de sulfato al agua subterránea es el agua meteórica. No obstante, los análisis químicos de lluvia disponibles que en esta zona el aporte atmosférico de SO₄ es mínimo (ver Fig. 5.1), por tanto en este acuífero las fuentes principales deben ser litológicas.

Algunos autores mencionan el aporte de sales evaporíticas dentro del mismo SAG, desde la Formación Piramboia (infrayacente) a la Formación Botucatú (suprayacente). Pero las evaporitas están presentes también en formaciones sedimentarias del pre-SAG, por lo que hay dos posibles fuentes. La sal evaporítica sulfatada más común es el yeso, cuya disolución incorpora al agua un mol (dos equivalentes) de Ca y otro (dos equivalentes) de SO₄ (reacción [7]).





En la Fig. 5.8a se ve que las aguas más salinas de todas las manejadas tiene una relación SO_4/Cl en torno a 1. Esto significa que en esas aguas ambos componentes proceden de la disolución de rocas evaporíticas cloruradas y sulfatadas. Para las aguas menos salinas hay dos tipos de comportamiento: las de los transectos 1, 2 y 6, cuyo recorrido es mayor, se ajustan razonablemente a la recta de $\text{Cl}=\text{SO}_4$, lo que indicaría que se trata de aguas que han estado en contacto con evaporitas cloruradas y sulfatadas. La causa podría ser la mezcla de las aguas que circulan por la formación Botucatu, procedentes de la zona de recarga, con las aguas circulantes por la formación Piramboia, también procedentes de la zona de afloramiento de ésta.

Las aguas de los transectos 3, 5 y 7 tiene una relación Cl/SO_4 bastante mayor de 1, lo que indica un dominio del Cl en las fuentes de solutos de esas aguas. En las aguas de zona de recarga este Cl puede ser de origen atmosférico (a pesar de la escasez de datos, parece ser el anión dominante en el agua de lluvia, según la Fig. 5.1). En aguas de zona confinada el dominio del Cl sobre el SO_4 puede indicar que esas aguas están en equilibrio (saturación) con las evaporitas sulfatadas, las cuales son menos solubles que los haluros (evaporitas cloruradas). Tras alcanzar la saturación en sulfatos los cloruros pueden seguir aumentando, convirtiéndose las aguas en cloruradas (sódicas).

La Fig. 5.8b muestra que al aumentar la salinidad todas las aguas tienden hacia un valor de la relación $\text{SO}_4/\text{Cl} = 1$. Esto apoya la hipótesis de que el origen del SO_4 es la disolución de rocas evaporíticas. En la Fig. 5.7c se ve que en las aguas menos calientes ($<30^\circ\text{C}$) el SO_4 tiende a aumentar con independencia de la temperatura. Entre los 30 y los 50°C los contenidos de SO_4 aumentan con la temperatura, pero las aguas más calientes de todas las manejadas aquí no tienen los mayores contenidos de sulfato. Posiblemente se trata de una limitación geoquímica: las aguas más calientes son las de mayor salinidad (en términos de contenido total de sales y de contenido de Cl) pero en ellas el equilibrio termodinámico con las sales sulfatadas se alcanza para concentraciones de SO_4 menores, ya que no existe salida de Ca de la fase líquida por intercambio con Na.

La Fig. 5.9a muestra la relación entre SO_4 y Ca. Aunque la correlación positiva entre SO_4 y Ca no es evidente e incluso hay grupos de aguas con correlación negativa, es importante recordar que el contenido de Ca está modificado (disminuido) por el intercambio con Na y por eso no es fácil ver

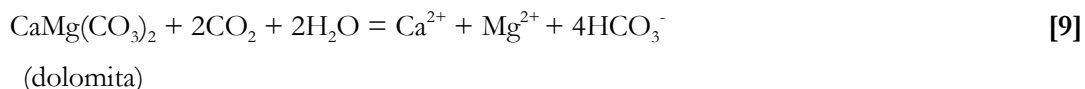


en este gráfico un origen común para ambos. Sin embargo, la Fig. 5.9b sí indica que hay una fuente común para el SO_4 y el Ca: el eje Y muestra el déficit de Ca no vinculado ni a carbonatos ni a sulfatos, y se observa que este déficit es bastante más cercano al exceso de Na (las muestras tienen menos dispersión respecto a la línea) que el observado en la Fig. 5.3b, en la cual sólo se consideró como fuente del Ca los carbonatos y no los sulfatos.

Todo lo dicho no descarta que esas aguas salinas también hayan disuelto sulfatos de sodio (mirabilita, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, tenardita, Na_2SO_4), pero la mayor solubilidad del yeso hace pensar en este mineral como la principal fuente de SO_4 .

- **Origen del Ca y del Mg**

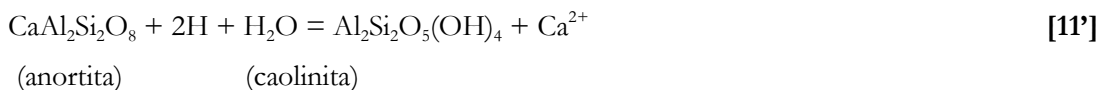
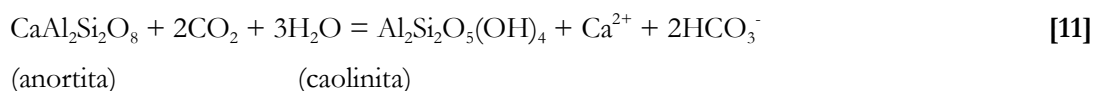
Las fuentes y con frecuencia las variaciones de estos dos componentes suelen ser comunes. En zona de recarga el principal origen del Ca y el Mg es la disolución de rocas carbonatadas, mientras que en zona confinada el intercambio iónico de Ca y Mg con Na (reacción [2]) juega un papel tanto o más relevante que la interacción con los minerales carbonatados. La existencia de cemento calcítico en las areniscas del SAG e incluso en los basaltos y en los diques intrusivos está ampliamente documentada en la literatura revisada. La disolución de calcita incorpora al agua Ca y alcalinidad (reacción [8], escrita para un sistema abierto al CO_2), y produce un aumento del pH. La disolución de dolomita puede ocurrir de forma congruente (reacción [9], escrita también para un sistema abierto al CO_2) o, más comúnmente, de forma incongruente, incorporando al agua Mg y generando calcita como residuo sólido (reacción [10], escrita en forma sintética).





En la Fig. 5.10a se ve que en buena parte de las aguas la concentración de Ca está controlada fundamentalmente por la disolución de carbonatos (grupo 1, evolución paralela de los contenidos de Ca y alcalinidad). Sin embargo en otro conjunto de aguas (grupo 2) la evolución del Ca es poco o nada dependiente de la alcalinidad: se trata de las aguas cuyo Ca depende principalmente del intercambio con Na. La Fig. 5.10b muestra la coherencia entre los dos procesos mencionados y la correlación del Ca con el pH: en zona de recarga la disolución de carbonatos hace que aumenten paralelamente el Ca y el pH, pero en zona confinada el aumento de pH (señal de que sigue existiendo disolución de carbonatos) va acompañado de una disminución del Ca por intercambio con Na.

La Fig. 5.10c pretende observar la posible existencia de aportes de Ca al agua por disolución de feldespatos cálcicos (anortita, reacción [11] para sistema abierto al CO_2 y [11'] para sistema cerrado). La figura no muestra ninguna correlación consistente entre Ca y SiO_2 , y más bien indica que las variaciones de Ca y SiO_2 son independientes entre sí. No obstante esto, la disolución de anortita no puede ser descartada ya que suele tener lugar de forma incongruente aportando Ca al agua y generando caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) como residuo sólido. Lo importante, sin embargo, es que las otras figuras apoyan la hipótesis de que la disolución de carbonatos y el intercambio iónico con Na son los dos controles principales del Ca en el agua.



Aunque es difícil observar un comportamiento tan claro para el Mg (Fig. 5.11a) seguramente se debe a que la dolomita se disuelve de forma incongruente, incorporando al agua solamente Mg y no Ca. En la Fig. 5.10b se observa la misma correlación entre las variaciones de Mg y las de pH que entre las de Ca y pH, aunque en el caso del Mg hay una mayor dispersión.



La Fig. 5.11c sugiere, en una primera aproximación, que no hay aportes de Mg al agua desde minerales silicatados (crisotilo, sepiolita, kerolita). No obstante, de nuevo este proceso puede tener lugar y estar enmascarado por el efecto del intercambio iónico y la disolución/precipitación de carbonatos, que contribuyen cuantitativamente más a la entrada y salida de cationes del agua subterránea.

La Fig. 5.12 apoya el origen común para Ca y Mg y una evolución paralela debida a los mismos procesos. Dos cosas merecen ser destacadas en esta figura: 1) hay dos grupos de aguas con distinta relación entre las evoluciones de los contenidos de Mg y de Ca; 2) en los dos grupos la variación del Mg es siempre mayor que la del Ca. Aunque no se ha profundizado más en este tema, una posible explicación estaría en el orden de selectividad de los procesos de intercambio iónico con Na e incluso a la posible existencia de intercambio Ca/Mg simultáneamente al intercambio Na/Ca y Na/Mg. La teoría de la cromatografía iónica (Appelo et al., 1990; Manzano y Custodio, 1998), desarrollada para explicar los intercambios sucesivos y ordenados que tienen lugar en la zona de mezcla agua dulce-agua salada en acuíferos costeros podría ser aplicada aquí también, pero no es el objetivo de este estudio.

- **Origen del F**

Como han publicado todos los autores que han trabajado antes sobre la presencia de flúor en las aguas del SAG, los contenidos de este componente aumentan paralelamente al Cl, al Na y al SO_4 . Para apoyar esta evidencia en la Fig. 5.13 se han identificado algunas muestras que corresponden a los pozos con las aguas más salinas de las conocidas en el SAG.

Al dibujar los contenidos de F versus la relación Cl/SO_4 (Fig. 5.14a) se ve que los mayores contenidos de F están en las muestras con la relación Cl/SO_4 en torno a 1. Esto indicaría que la fuente de F está en las aguas en contacto con las rocas evaporíticas infrayacentes al SAG. Lo mismo indicaría el hecho de que los mayores contenidos de F están en las aguas con excesos de Na moderados (entre 2 y 13) y no en las aguas con mayores excesos (mayor efecto del intercambio iónico Na/Ca,Mg,K) (Fig. 5.14b). Por tanto en principio el F estaría vinculado a las aguas salinas del pre-SAG.



Respecto al origen litológico del F, en la Fig. 5.15a se ha dibujado la línea de equilibrio con fluorita (CaF_2). La disolución de fluorita incorpora al agua un mol (dos equivalentes) de Ca y dos moles (dos equivalentes) de F (reacción [12]. Algunas aguas parecen ajustarse razonablemente a esta línea (muestras de los transectos T1, T2, T3, T6). En otras aguas (muestras del Transecto 7) el F es completamente independiente del Ca, aunque no de la sílice (Fig. 5.15b). En el Apartado 6.1 se verá que algunas de las aguas con mayores contenidos de F están equilibrio con fluorita.



En la Fig. 5.16a se ve que en varios grupos de muestras existe una correlación negativa entre F y pH, mientras que en las aguas con los contenidos más pequeños de F no existe relación entre ambos. El significado de esta gráfica se entiende volviendo a mirar la Fig. 5.13b: los contenidos mayores de F están en las aguas más salinas, con intercambios iónicos moderados ($\text{Na}/\text{Cl} < 10$) y valores de pH entre 8 y 9. Se trata de las aguas del SAG con mayor impronta (mezcla) de las aguas salinas del pre-SAG. La Fig. 5.16b confirma lo dicho anteriormente: los mayores contenidos de F están en las aguas más calientes y profundas.

Lo cierto es que las fuentes litológicas de F en este sistema acuífero pueden ser varias, incluyendo los materiales infrayacentes al propio acuífero como se acaba de ver. El F puede haberse removilizado desde su yacimiento original (posiblemente las evaporitas marinas de las formaciones del pre-SAG) y encontrarse tanto en carbonatos secundarios de las areniscas del SAG y de los basaltos como en minerales de las múltiples mineralizaciones hidrotermales que atraviesan todo tipo de formaciones. Un estudio litológico es necesario para identificar las distintas fuentes y evaluar su importancia desde el punto de vista de las contribuciones relativas de F al agua. No obstante, con independencia de que pueda existir más de una fuente sí parece claro que la principal está en las aguas salinas del pre-SAG.



- **Origen de la sílice y relación con la temperatura**

Respecto al origen de la sílice, la Fig. 5.17 muestra una relación débil con la temperatura en general, aunque hay comportamientos muy diferentes en zonas distintas del acuífero.

Los mayores contenidos de sílice (expresado como SiO_2) manejados corresponden tanto a aguas frías y poco mineralizadas de las zonas de recarga (transectos 7, 3 y 5) como a aguas de temperatura y salinidad elevada (40-50 °C) del área SO del acuífero, entre Uruguay y Argentina (Transecto 8). Las aguas más calientes manejadas del resto del acuífero (aguas de Presidente Prudente y Presidente Epitácio, termas de Londrina, termas de Chapecó, Sao Joao d'Oeste, etc.) no muestran una correlación relevante entre temperatura y sílice.

La interpretación más sencilla sería que la fuente de sílice es distinta en el centro-norte y respecto al sur. Sin embargo, hasta donde se sabe la fuente principal de sílice en ambas zonas debe ser la misma, los silicatos asociados a las formaciones basálticas. Posiblemente la diferencia esté entonces en el sistema de flujo de ambas zonas. Aunque no se ha profundizado demasiado en este tema, el hecho de que los contenidos de sílice sean similares en las aguas de los transectos 7 y 8, ambos en el sur pero con temperaturas muy distintas, sugiere que la sílice de las aguas más calientes del Transecto 8 tiene su origen en la capas más someras del acuífero, en el mismo lugar que las aguas más frías y someras del Transecto 7. La hipótesis es apoyada por el hecho de que en el Transecto 8 el contenido de sílice para aumentos muy pequeños de temperatura. En otras palabras, en este transecto la sílice la aportarían las aguas procedentes de las capas más someras del terreno acuífero mientras que la temperatura la aportarían las aguas procedentes de las capas más profundas. Se trataría de una evidencia más de que la composición química del agua del SAG procede fundamentalmente de mezclas verticales entre líneas de flujo de distinta procedencia. No obstante, se requiere un estudio más detallado para contrastar esta hipótesis.

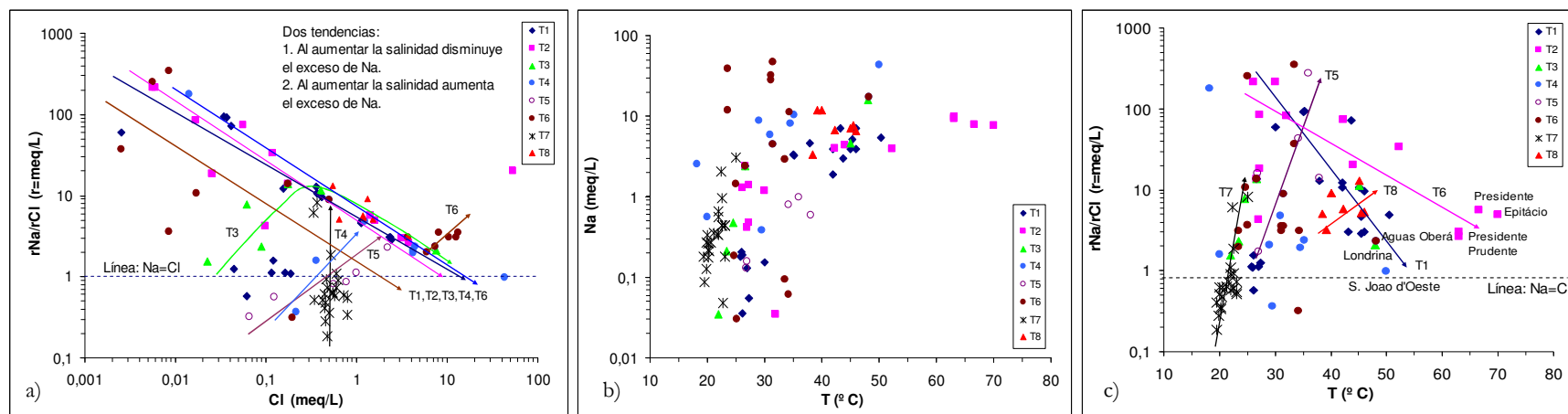


Fig. 5.2. a) Relación entre el exceso de Na y el Cl. b) Relación entre el Na y la temperatura. c) Relación entre el exceso de Na y la temperatura.

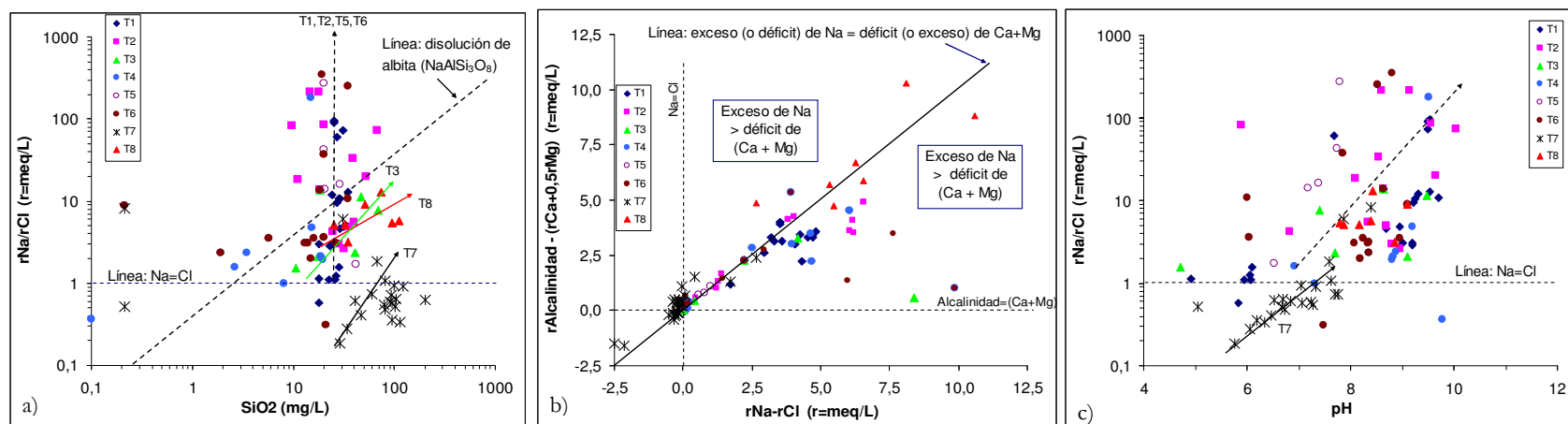


Fig. 5.3. Posible ocurrencia de disolución de feldespato sódico y de intercambio iónico de Na con Ca y Mg. a) Correlación del exceso de Na con la sílice. b) Relación entre el exceso de Na y el déficit de Ca y Mg respecto a los carbonatos. c) Relación entre el exceso de Na y el pH.

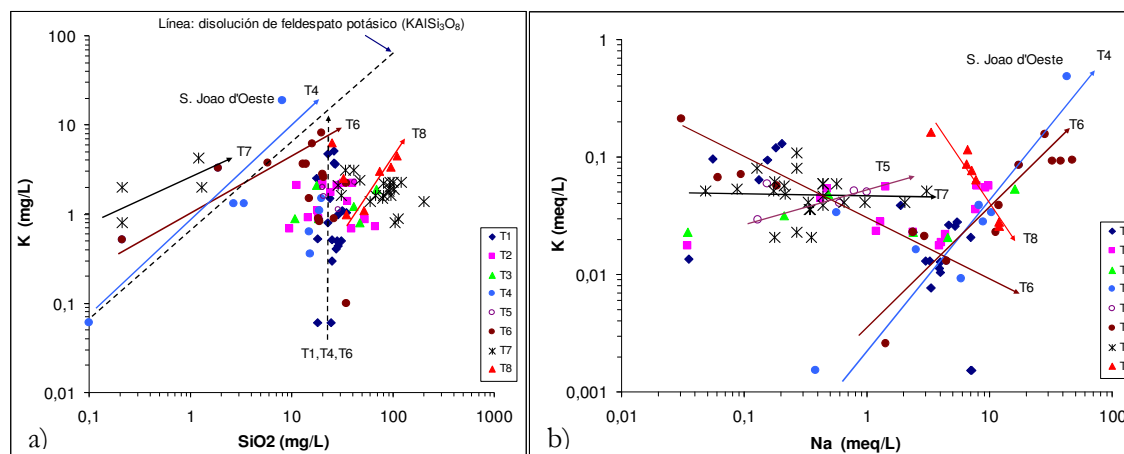


Fig. 5.4. Posible ocurrencia de disolución de feldespato potásico. a) Correlación del K con la sílice. b) Correlación del K con el Na.

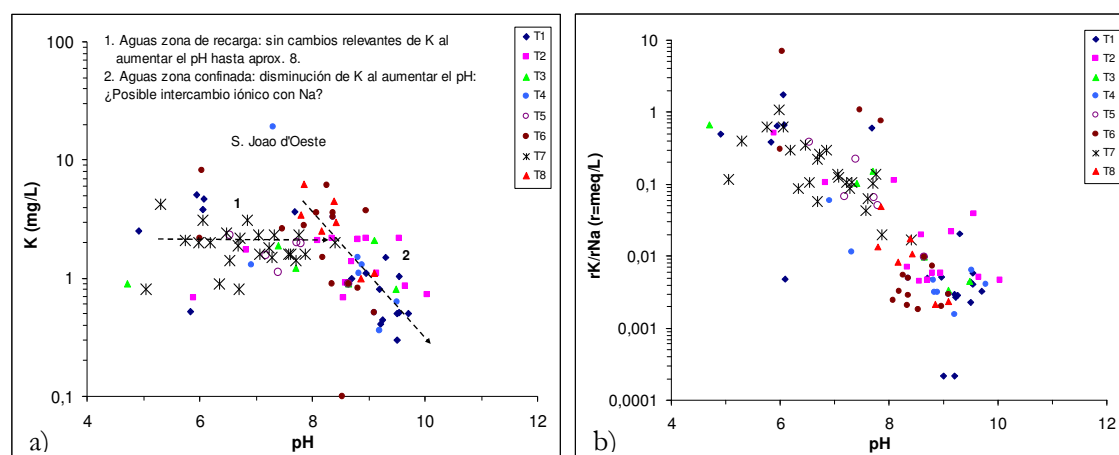


Fig. 5.5. Posible ocurrencia de intercambio iónico Na-K. a) Correlación del K con el pH. b) Correlación de la relación iónica K/Na con el pH.

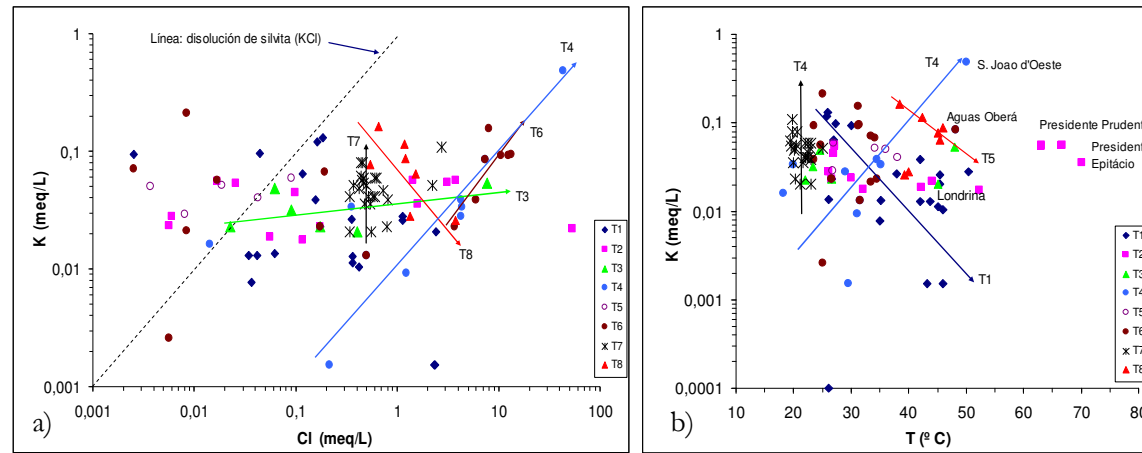


Fig. 5.6. Posible ocurrencia de disolución de silvita. a) Correlación entre K y Cl. b) Variación del K con la temperatura.

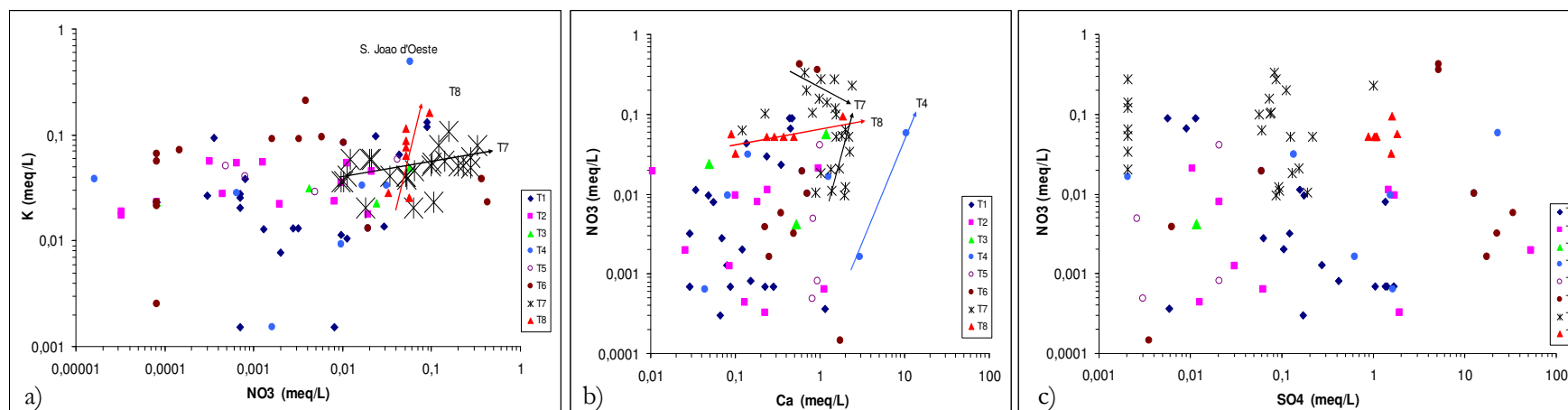


Fig. 5.7. Posible origen agrícola de NO_3 , K y SO_4 . a) Relación del NO_3 con el K. b) Relación del NO_3 con el SO_4 . c) Relación del NO_3 con el Ca.

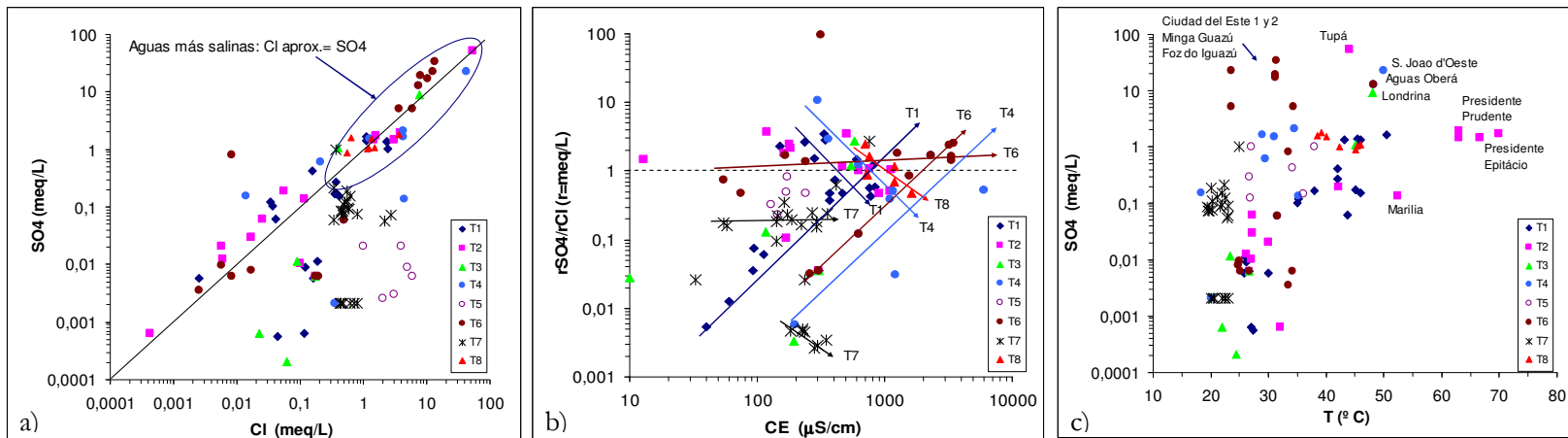


Fig. 5.8. a) Relación del SO_4 con el Cl . b) Relación iónica SO_4/Cl versus la conductividad eléctrica del agua. c) Relación del SO_4 con la temperatura.

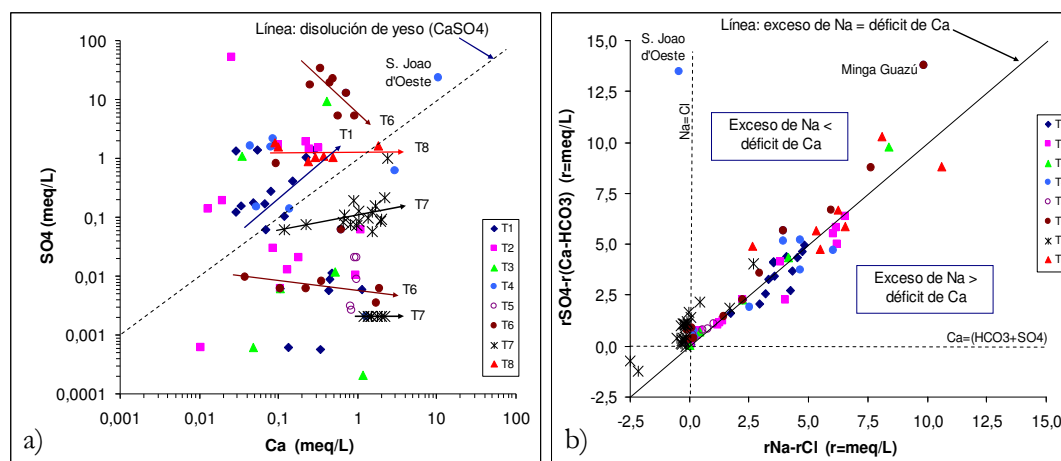


Fig. 5.9. a) Relación del SO₄ con el Ca. b) Relación entre el exceso de Na y el déficit de Ca respecto a la suma de carbonatos y sulfatos.

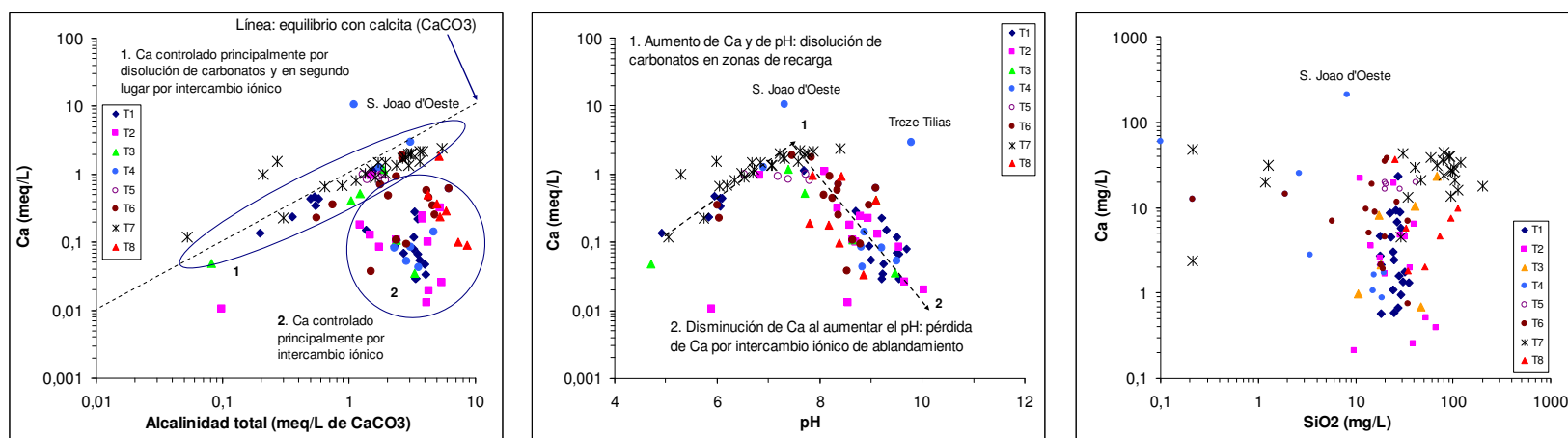


Fig. 5.10. a) Relación del Ca con la alcalinidad total. b) Relación del Ca con el pH. c) Relación del Ca con la sílice.

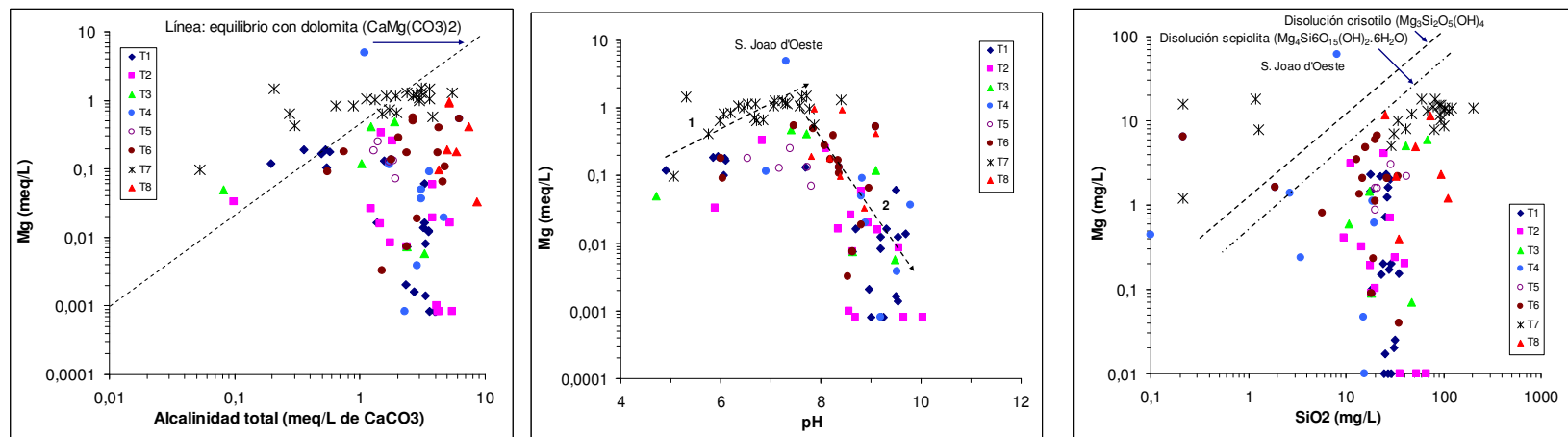


Fig. 5.11. a) Relación del Mg con la alcalinidad total. b) Relación del Mg con el pH. c) Relación del Mg con la sílice.

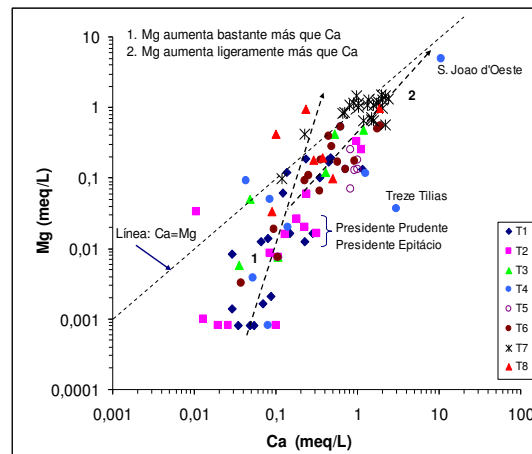


Fig. 5.12. Relación del Ca con Mg.

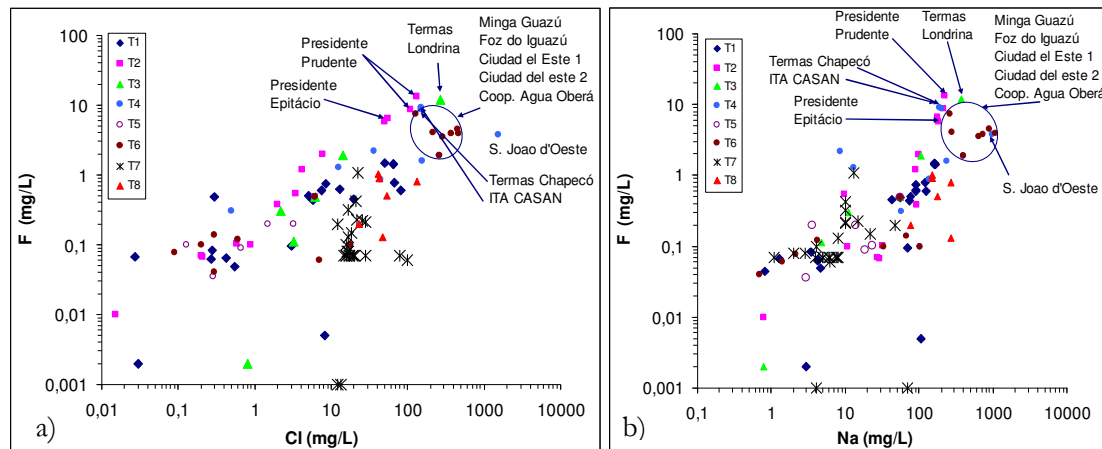


Fig. 5.13. a) Relación entre F y Cl. b) Relación entre F y Na.

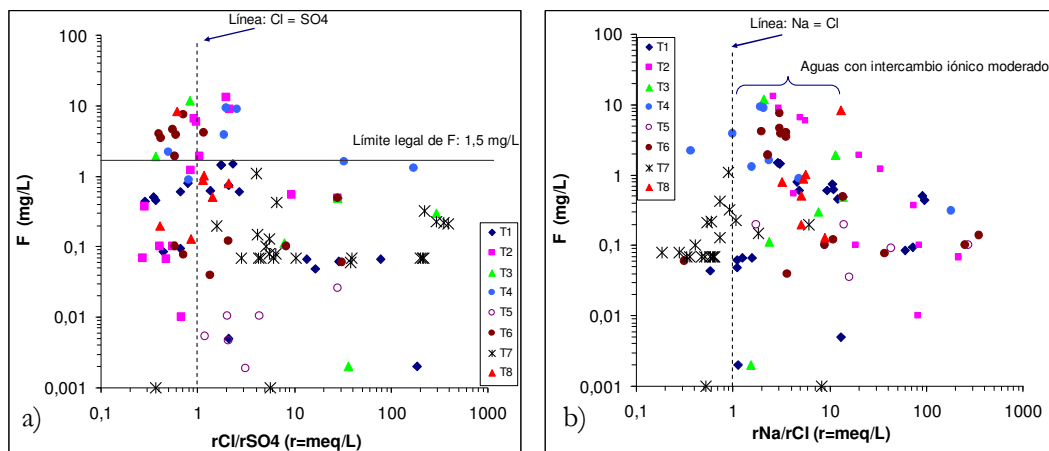


Fig. 5.14. a) Relación entre F y la relación iónica Cl/SO₄. b) Relación entre F y la relación iónica Na/Cl.

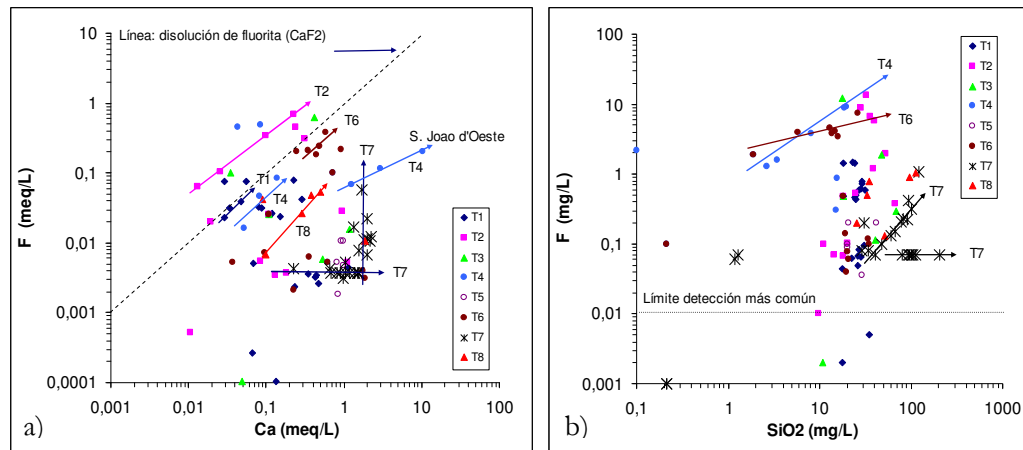


Fig. 5.15. a) Relación entre F y Ca. b) Relación entre F y sílice.

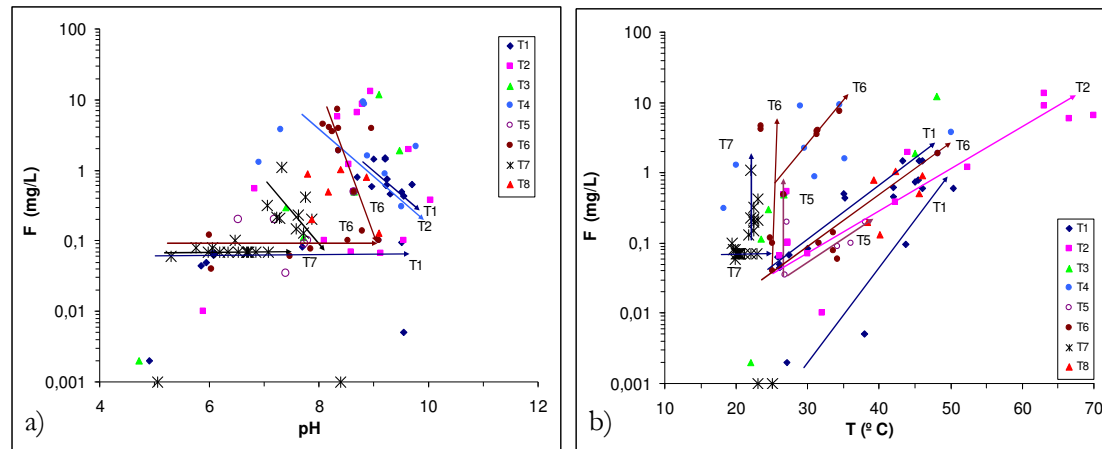


Fig. 5.16. a) Relación entre F y pH. b) Relación entre F y temperatura del agua.

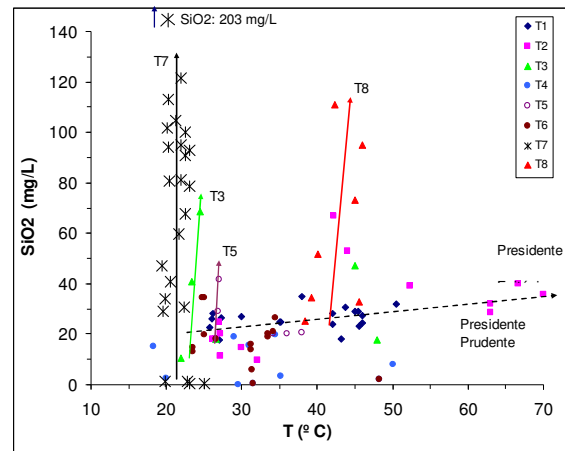


Fig. 5.17. Relación entre sílice y temperatura del agua.



5.2 Evolución espacial de la composición química y relación con la red de flujo

Una vez estudiado el posible origen de los solutos mayoritarios y de algunos minoritarios y trazas en el conjunto de los análisis disponibles de los transectos, se realiza una breve descripción de la evolución espacial de la composición química del agua de los transectos, relacionándola con los procesos hidrogeoquímicos antes estudiados e identificados como más probables y con la red de flujo..

Una observación común a todos los transectos es la práctica ausencia de tendencias evolutivas sostenidas a lo largo de lo que a priori se había seleccionado como grandes líneas de flujo regional. Este planteamiento inicial supondría que el agua se mueve en el SAG de forma aproximadamente horizontal, y que los cambios hidroquímicos espaciales observados con la distancia a la zona de recarga son consecuencia del aumento del tiempo de contacto del agua con los minerales de las areniscas acuífero.

Sin embargo, la forma extremadamente dentada de casi todas las gráficas de las figuras 5.18 a 5.33 sugiere como principal causa de las variaciones espaciales de composición que se observan la existencia de procesos que ocurren más o menos localmente y cuyo efecto se superpone a la componente horizontal del flujo. Esta hipótesis queda apoyada por la evidencia de que en los emplazamientos formados por varios pozos, las muestras de esos pozos (siempre cercanos entre sí) suelen tener composiciones químicas diferentes, aún siendo del mismo tipo químico básico, y a veces tan diferentes que incluso pertenecen a distinta facies química. Dado que con excepción de un par de casos, todos los pozos captan en teoría agua del SAG, lo anterior significa que los distintos pozos están captando aguas que son mezcla de líneas de flujo distintas. Como se ha visto en el apartado anterior estos procesos son mezclas verticales con aguas de distinta composición a la procedente de las zonas de recarga del SAG.

Evolución espacial de la composición química del agua de los transectos y relación con la red de flujo:



- **Zona N, transectos 1 a 6** (figuras 5.18 a 5.33):
 - En la cabecera de estos transectos las aguas tienen una relación r_{Na}/r_{Cl} ($r = \text{meq/L}$) en torno a 1 (figuras 5.18a, 5.20a, 5.22a, 5.24a, 5.26a y 5.28a), la relación r_{Cl}/r_{SO_4} es mucho mayor de 10 (figuras 5.18b, 5.20b, 5.22b, 5.24b, 5.26b y 5.28b) y la relación $r_{(Ca+Mg)}/r_{\text{Alcalinidad}}$ es ligeramente mayor de 1 (figuras 5.18c, 5.20c, 5.22c, 5.24c, 5.26c y 5.28c). Todo ello indica que esas muestras dominan los procesos de disolución de minerales carbonatados por parte del agua de recarga, es decir que esas muestras pertenecen a la zona de recarga del acuífero, incluso aunque alguna de ellas proceda de pozos con más de 100 m de basalto recubriendo las areniscas del SAG.
 - A unos 50-60 km del inicio de los transectos las aguas muestran un extraordinario aumento de Na respecto a Cl al tiempo que la suma de Ca+Mg disminuye respecto a la alcalinidad hasta valores muy por debajo de 1. Esto indica el dominio en esa zona del proceso de intercambio iónico de Na adsorbido por Ca y Mg en el agua. El incremento continuo de la alcalinidad (figuras 5.18d, 5.20d, 5.22d, 5.24d, 5.26d y 5.28d) indica que el intercambio va acompañado de disolución de carbonatos.
 - Muchas de las aguas con fuerte exceso de Na respecto a Cl y fuerte déficit de Ca y Mg respecto a la alcalinidad tienen una relación r_{Cl}/r_{SO_4} cercana e incluso menor a 1 (Fig. 5.18e, muestras 5, 6, 7 y 8; Fig. 5.20e, muestras 3, 4, 5, 6 y 7; Fig. 5.22e, muestra 4; Fig. 5.24e, muestras 3, 5, 6 y 7; Fig. 5.26e, muestras 2 y 3, Fig. 5.28e, muestras 5, 6, 7, 8, 9 y 10). Además, la concentración de sulfato va aumentando de forma sostenida. Todo ello indica que esas aguas tienen ya algo de mezcla con aguas que han estado en contacto con evaporitas, es decir que tienen algo de mezcla con las aguas salinas del pre-SAG.
 - Más adelante, hacia el centro de la cuenca, el exceso de Na respecto a Cl disminuye (generalmente de forma brusca, lo que indica que la causa que lo provoca actúa localmente) hasta acercarse a 1, aunque el déficit de Ca y Mg respecto a la alcalinidad se mantiene. Esto hace que siga existiendo un fuerte exceso de Na respecto a Ca+Mg (y respecto a K, como se vio en el Apartado 5.1), lo que indica que existe una fuente de Na distinta al intercambio. Paralelamente, estas aguas tienen los mayores contenidos en SO_4



medidos en cada transecto y, además, la relación r_{Cl}/r_{SO_4} se mantiene cerca de 1. Todo ello apunta a que la fuente de Na está en las aguas salinas de procedencia profunda, que han disuelto evaporitas y deben estar cerca del equilibrio con halita, yeso y probablemente otras sales evaporíticas cloruradas y sulfatadas.

- Una característica tanto de las aguas cuya composición está dominada por el intercambio iónico como de las aguas cuya composición está dominada por la mezcla con aguas salinas más profundas es que a veces la relación r_{Cl}/r_{SO_4} es >1 y otras veces es $r_{Cl}/r_{SO_4} < 1$. Dejando a un lado la incertidumbre analítica (en general se trata de aguas con concentraciones de Cl y de SO_4 superiores a algunos mg/L), la causa de esta alternancia, que se describe con detalle en el Apartado 5.3, debe ser termodinámica y vinculada a las distintas solubilidades de sulfatos y haluros.
- Los mayores contenidos de flúor medidos en los transectos se encuentran siempre en las aguas más salinas, las que tienen relaciones r_{Cl}/r_{SO_4} y r_{Na}/r_{Cl} cercanas a 1 (figuras 5.18h, 5.20h, 5.22h, 5.24h, 5.26h y 5.28h). En esas mismas figuras es fácilmente visible que las aguas cuya composición está dominada por el intercambio iónico también tienen F, aunque en general menos de 1,5 mg/L. Con independencia de que pueda existir más de una posible fuente de F, como se ha discutido en el Apartado 5.1, la hipótesis más sencilla es que el F ese aportado por las aguas salinas infrayacentes al SAG y su presencia en las aguas de tipo Na- HCO_3 indica que estas tienen algo de mezcla con esas aguas salinas más profundas.
- En general las aguas más salinas de cada transecto no tienen los mayores contenidos de sílice medidos en ese transecto, con alguna excepción. Como se ha visto en el Apartado 5.1, tampoco está vinculada a las aguas de temperatura más elevada. La sílice parece proceder principalmente de las zonas donde el intercambio iónico es el principal factor de control de la composición química del agua. Esto significa que además de las reacciones de intercambio y la de disolución de carbonatos, en esas zonas están teniendo lugar reacciones de disolución de silicatos, ya sea las mencionadas en el Apartado 5.1 u otras. Sin embargo, aparte de controlar la concentración de sílice disuelta no parece que esas reacciones estén controlando las concentraciones de los componentes mayoritarios.



- El NO_3 aparece vinculado siempre a las zonas de recarga. En las figuras 5.19, 5.21, 5.23, 5.25, 5.27 y 5.29 se ve que en los transectos 1 a 6 hay una correlación positiva entre NO_3 y K en las zonas más proximales de los transectos, y también entre estos dos iones y el Ca. Esto indica que ambos están en concentraciones algo significativas en las zonas de recarga, donde las aguas son de tipo Ca-HCO_3 , y confirma que la fuente de ambos en esas zonas es la contaminación. Posiblemente la fuente principal es agrícola, aunque no se descarta que en zonas pobladas la infiltración de aguas residuales también contribuya.
- En unos pocos transectos se han encontrado algunas muestras con concentraciones significativas (entre unos pocos mg/L y hasta 25 mg/L) de NO_3 fuera de las áreas de recarga. Es el caso de las muestras 4-8 (pozo de la Prefectura Municipal de Sao Joao d'Oeste, con 1372 m de profundidad reportados; Transecto 4), y 6-10 (pozo Ciudad el Este 2, con 230 m de profundidad reportados; Transecto 6). En ambos casos, especialmente en el primero, la profundidad de los pozos hace pensar en procesos de contaminación local de la muestra, bien dentro del propio pozo (por filtraciones desde pozo negros) o bien en el exterior, una vez extraída.
- También se observa (figuras mencionadas) que no hay correlación positiva entre NO_3 y SO_4 en las zonas de recarga, es decir que la agricultura no parece ser una fuente significativa de SO_4 al agua.
- **Zona S, transectos 7 y 8** (figuras 5.30 a 5.33):

Ambos transectos comienzan en el mismo lugar y comparten los cuatro primeros emplazamientos y las 22 muestras estudiadas en ellos, entre Rivera-Sant'ana y Artigas-Quaraí.

- En la zona de Rivera-Sant'ana las aguas tienen un déficit de Na respecto a Cl entre ligero ($r\text{Na}/r\text{Cl} = 0,7$) y muy acusado ($r\text{Na}/r\text{Cl} = 0,2$ a $0,5$) y un significativo exceso de $\text{Ca}+\text{Mg}$ respecto a la alcalinidad (figuras 5.30a y 5.32a). Aunque cabría pensar en posibles procesos de intercambio iónico de endurecimiento, la pequeña magnitud de las concentraciones de



- Na (< 10 mg/L) y Cl (entre unos pocos mg/L y 20 mg/L) hace pensar en un posible efecto aparente ocasionado por la incertidumbre analítica. Por esta razón no se va a profundizar aquí en este tema, aunque se recomienda un estudio más detallado.
- Simultáneamente existe un fuerte exceso de Cl respecto a SO_4 , lo que unido a la presencia de algunas muestras de tipo Ca-Cl y Mg-Cl (en vez de Ca o Mg $-\text{HCO}_3$) hace pensar en la posibilidad de una contaminación local con alguna fuente de Cl que no va acompañado de Na.
 - Las muestras de Artigas-Quaraí parecen más acordes a las de zonas de recarga, con valores de las relaciones $r\text{Na}/r\text{Cl}$ y $r(\text{Ca}+\text{Mg})/r\text{Alcalinidad}$ alrededor de 1. Las concentraciones de SO_4 son muy pequeñas en todos los casos (en general < 5 mg/L) y la relación $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ sigue siendo muy grande, mayor de lo habitual para aguas de recarga meteórica.
 - Las aguas de la parte más occidental de ambos transectos son características de las zonas donde domina el intercambio iónico de ablandamiento (desadsorción de Na), la disolución de carbonatos y una ligera mezcla con aguas salinas.
 - En casi todas las muestras estudiadas el F está en concentraciones menores a 0,5 mg/L, aunque un par de ellas tienen alrededor de 1 mg/L.
 - En cuanto a la contaminación agrícola (figuras 5.31 y 5.33), estos transectos el NO_3 aparece en casi todas las muestras, aunque las concentraciones mayores están en Rivera-Sant'ana. La muestra 7-6 (Central Térmica de Uruguaiana, pozo con 252 m de profundidad) tiene 14 mg/L de NO_3 , lo que apunta de nuevo a una contaminación local.
 - Existe también buena correlación entre NO_3 y K, y también una pequeña correlación entre NO_3 y SO_4 . Las figuras 5.31 y 5.33 d, e y f apuntan hacia dos fuentes distintas de contaminación, una que aporta principalmente nitrato y poco K y sulfato y otra que aporta principalmente sulfato y K, y poco nitrato. Es posible que en la primera el nitrato proceda de contaminación por aguas negras y no de la agricultura, pero también podría deberse al uso mayoritario de distintos tipos de fertilizantes en distintas zonas.

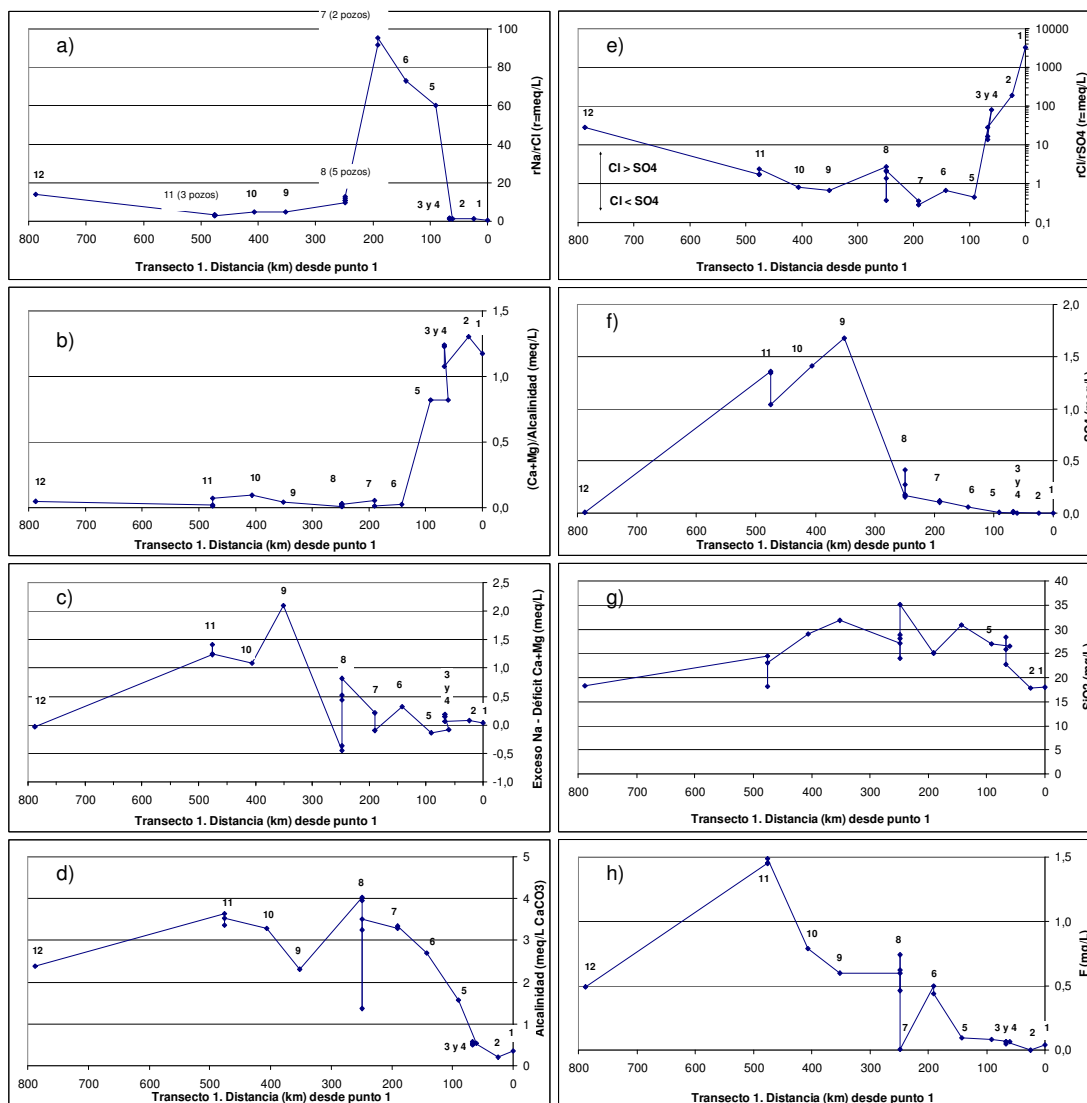


Fig. 5.18. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 1.

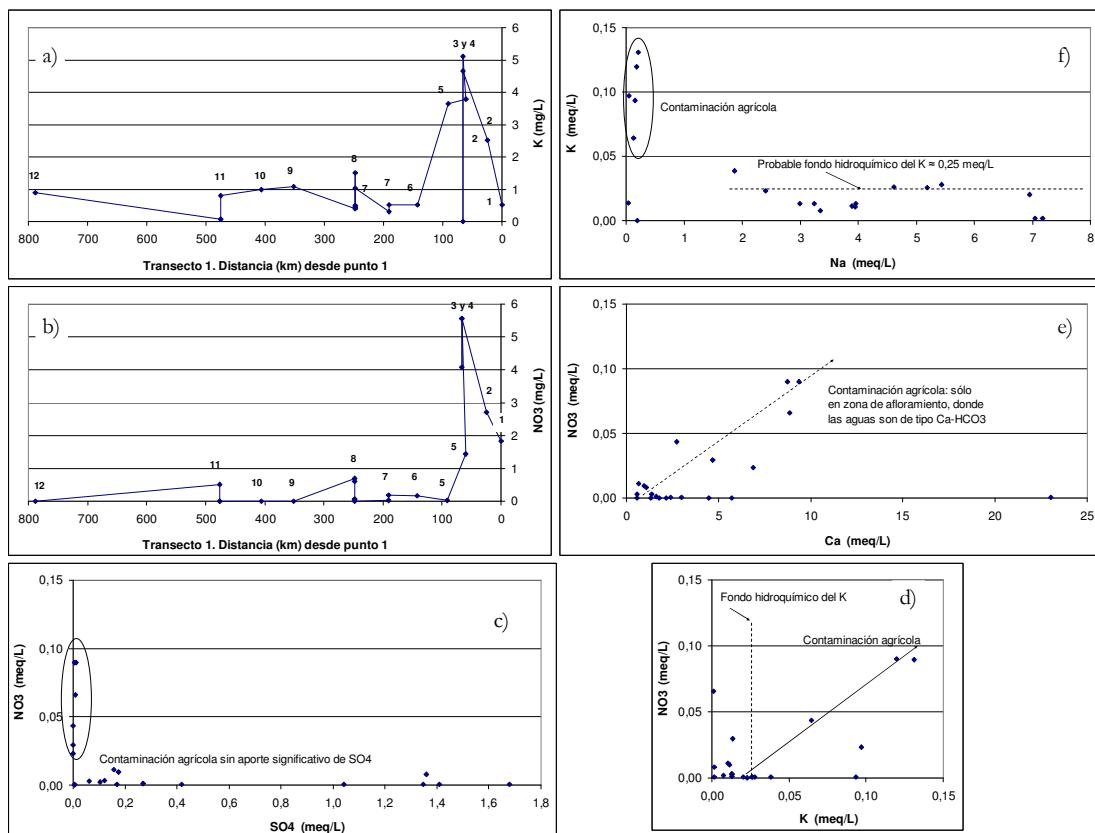
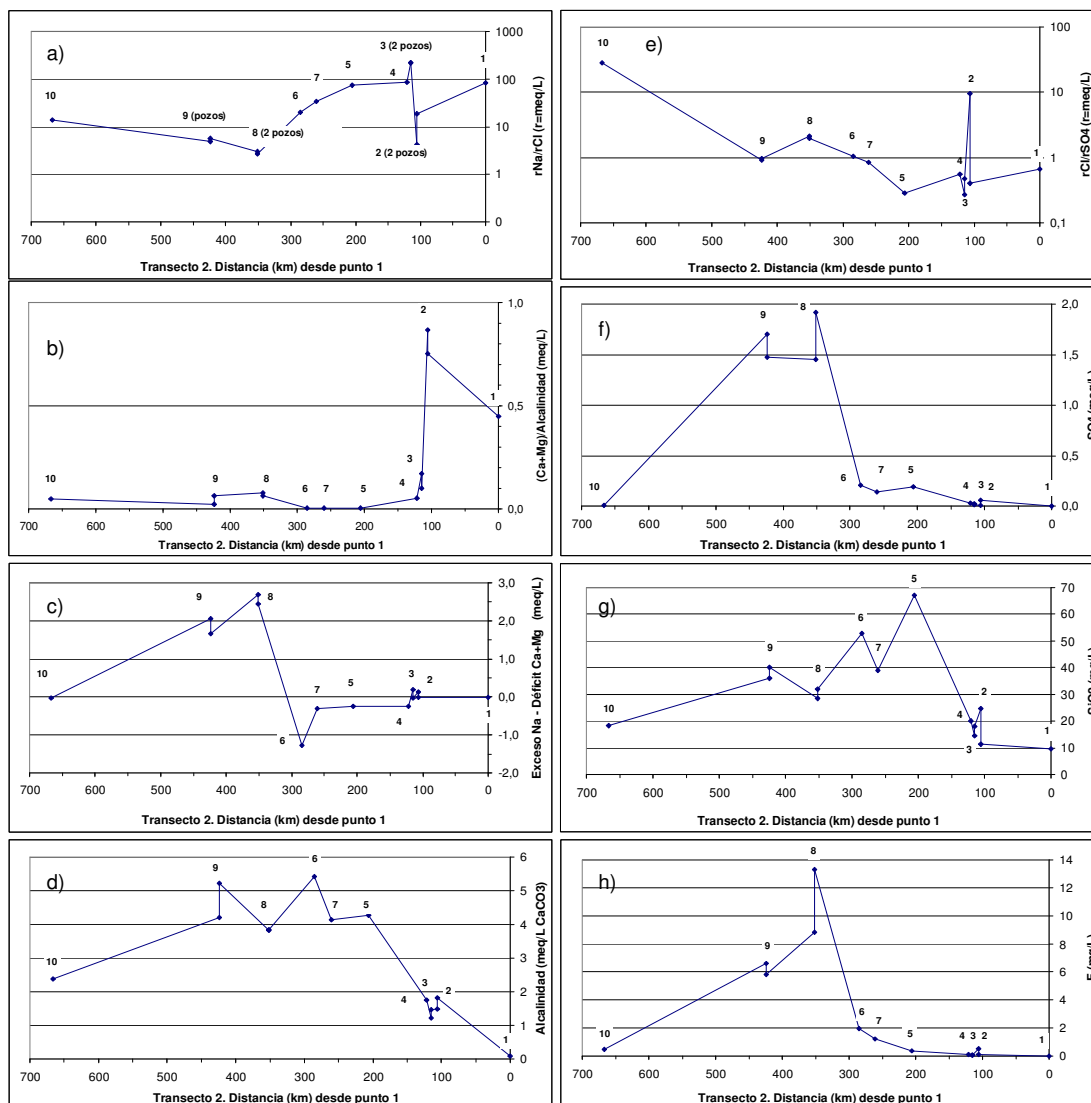


Fig. 5.19. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 1.



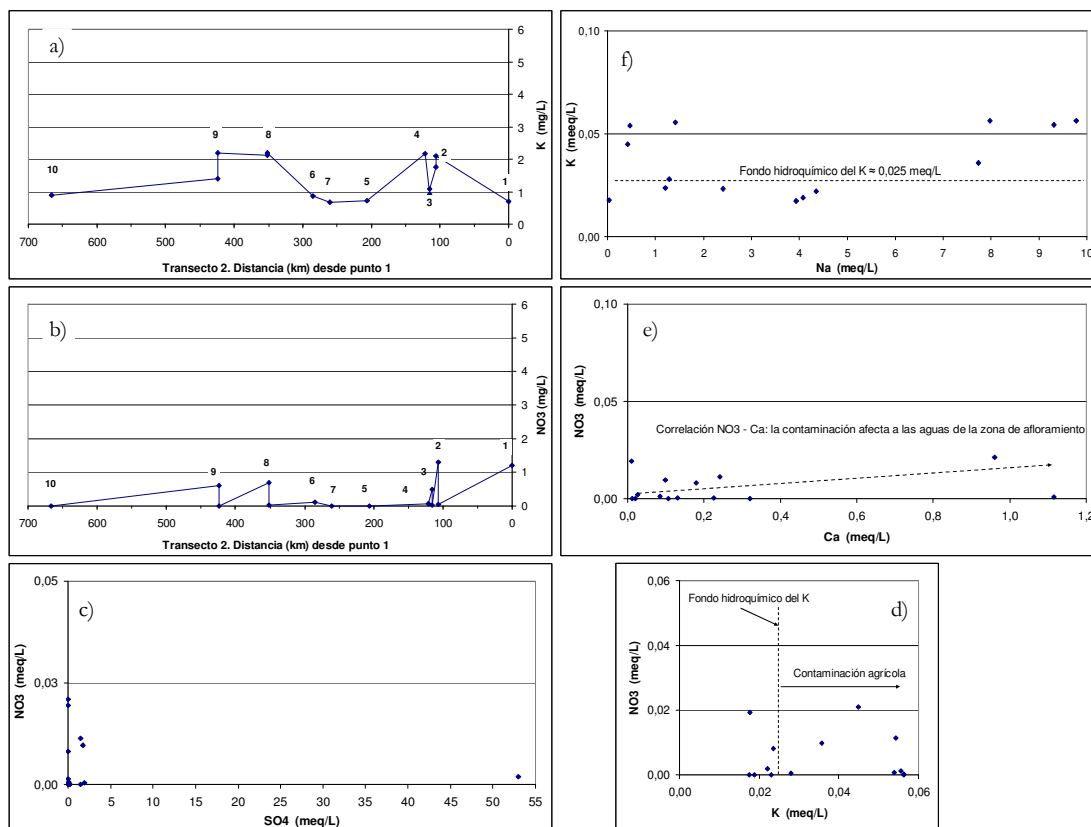


Fig. 5.21. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 2.

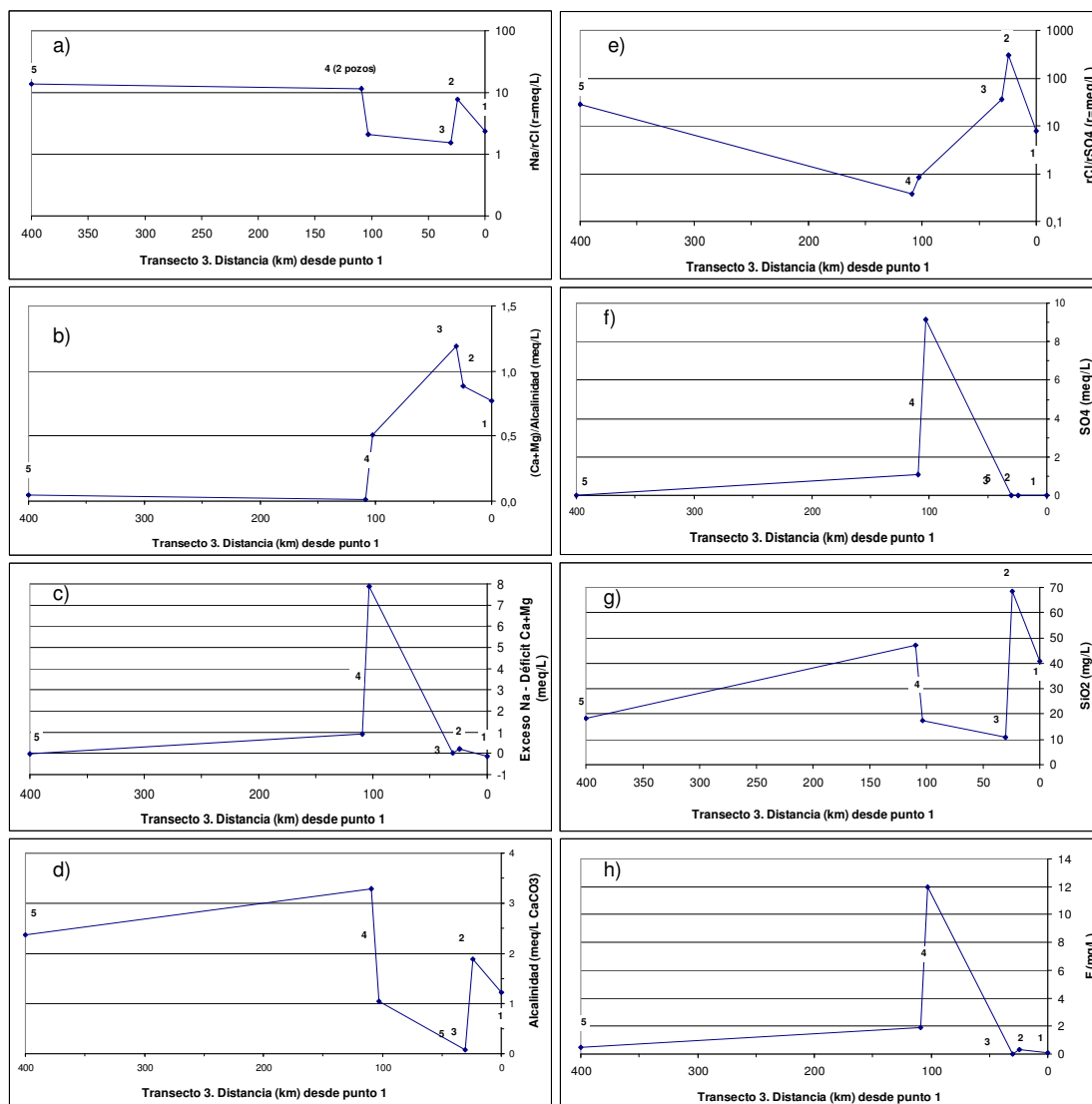


Fig. 5.22. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 3.

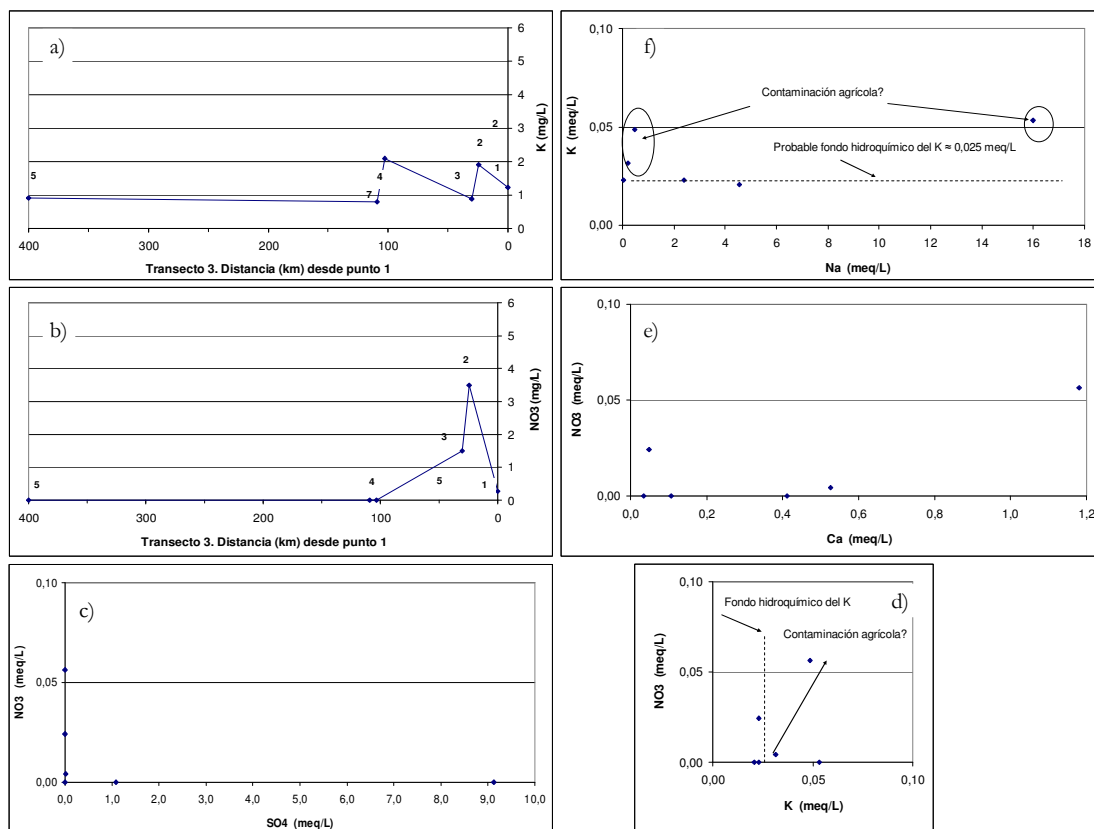


Fig. 5.23. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 3.

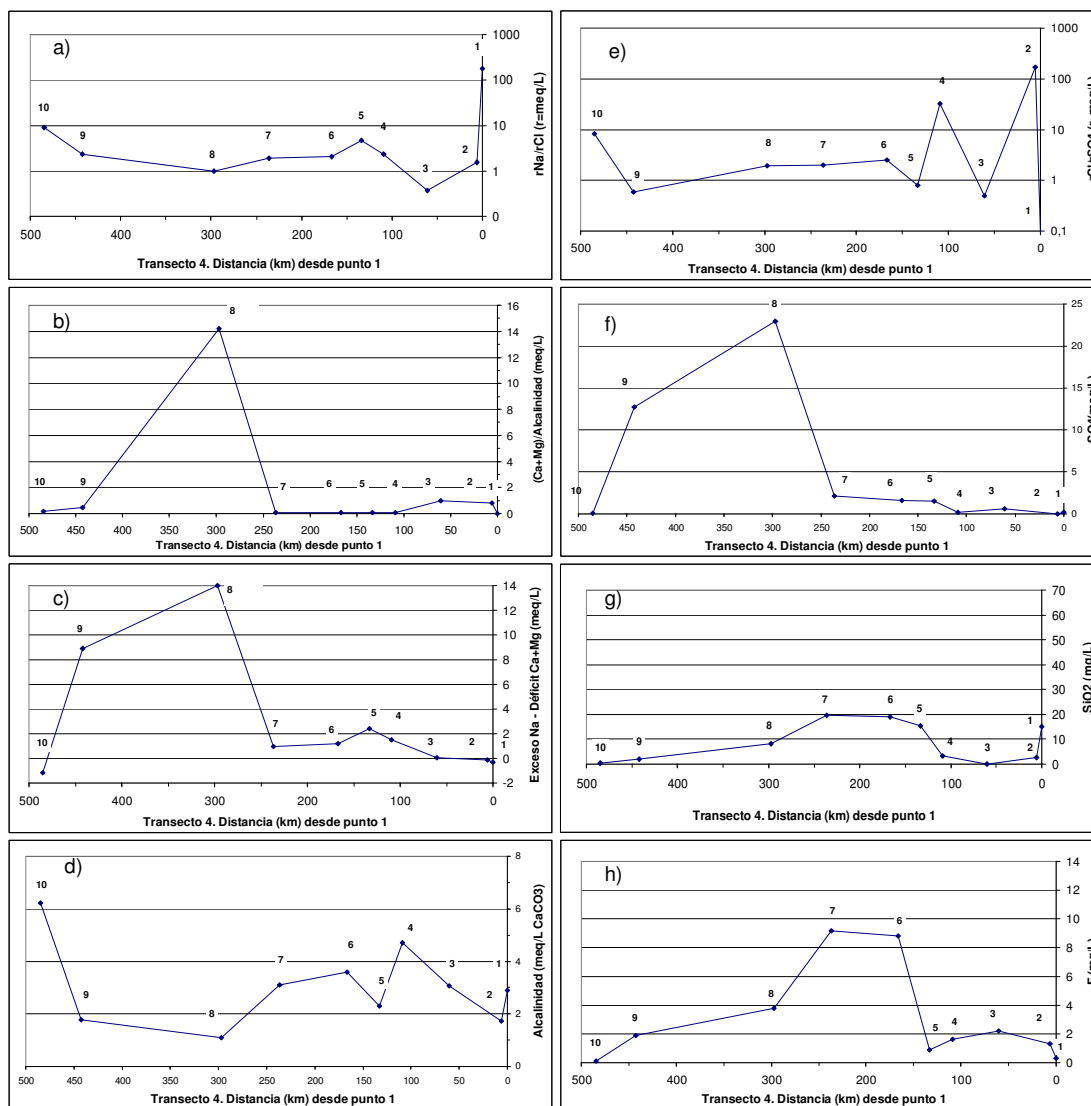


Fig. 5.24. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 4.

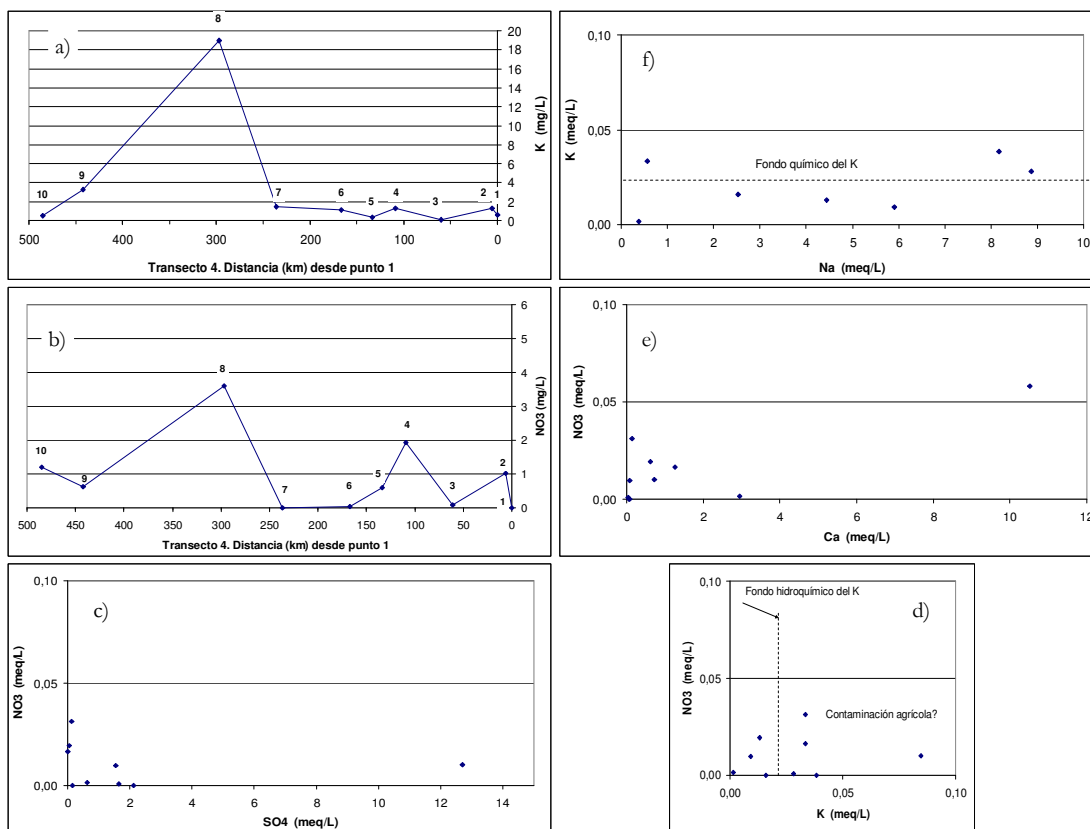


Fig. 5.25. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 4.

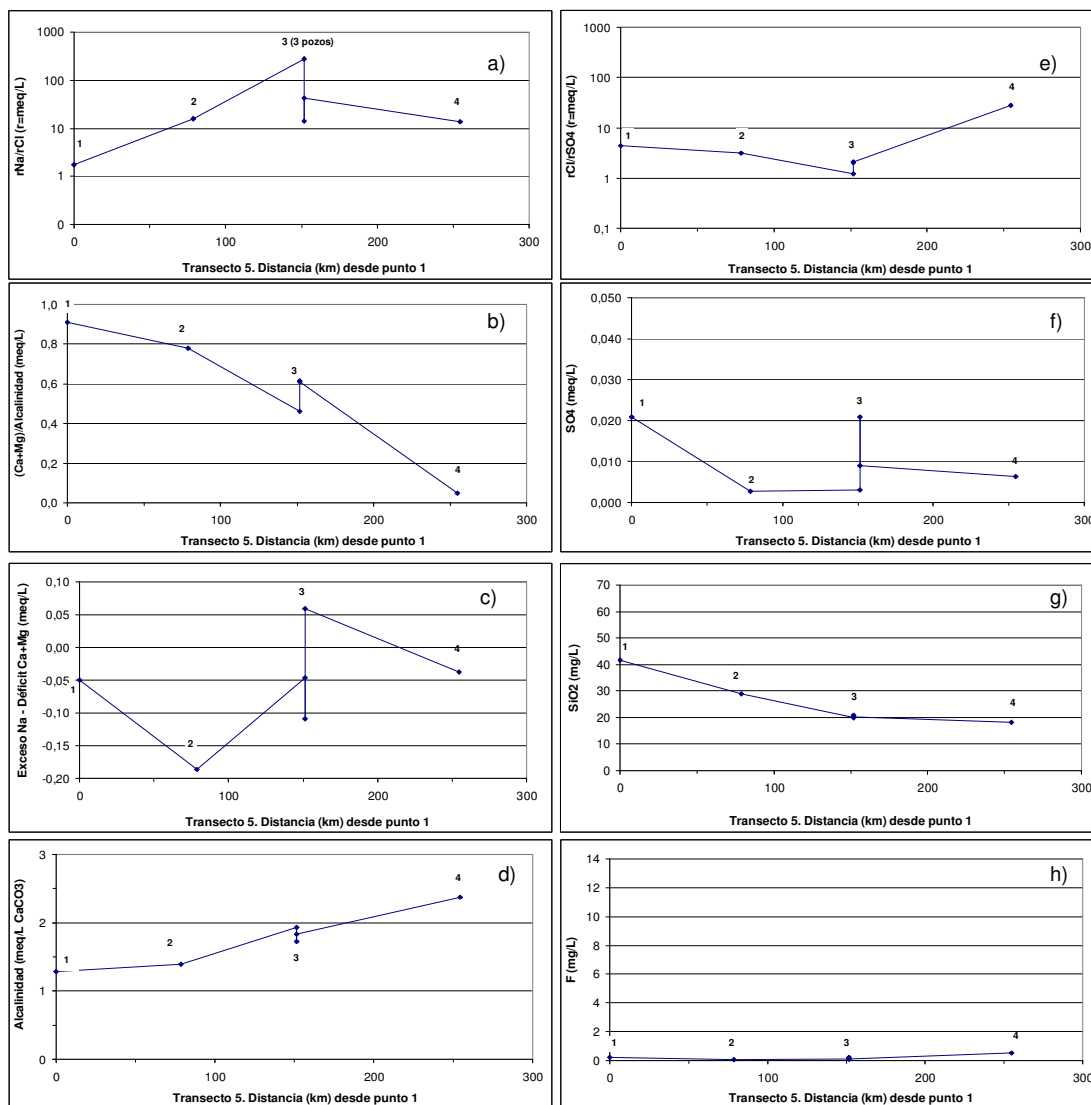


Fig. 5.26. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 5.

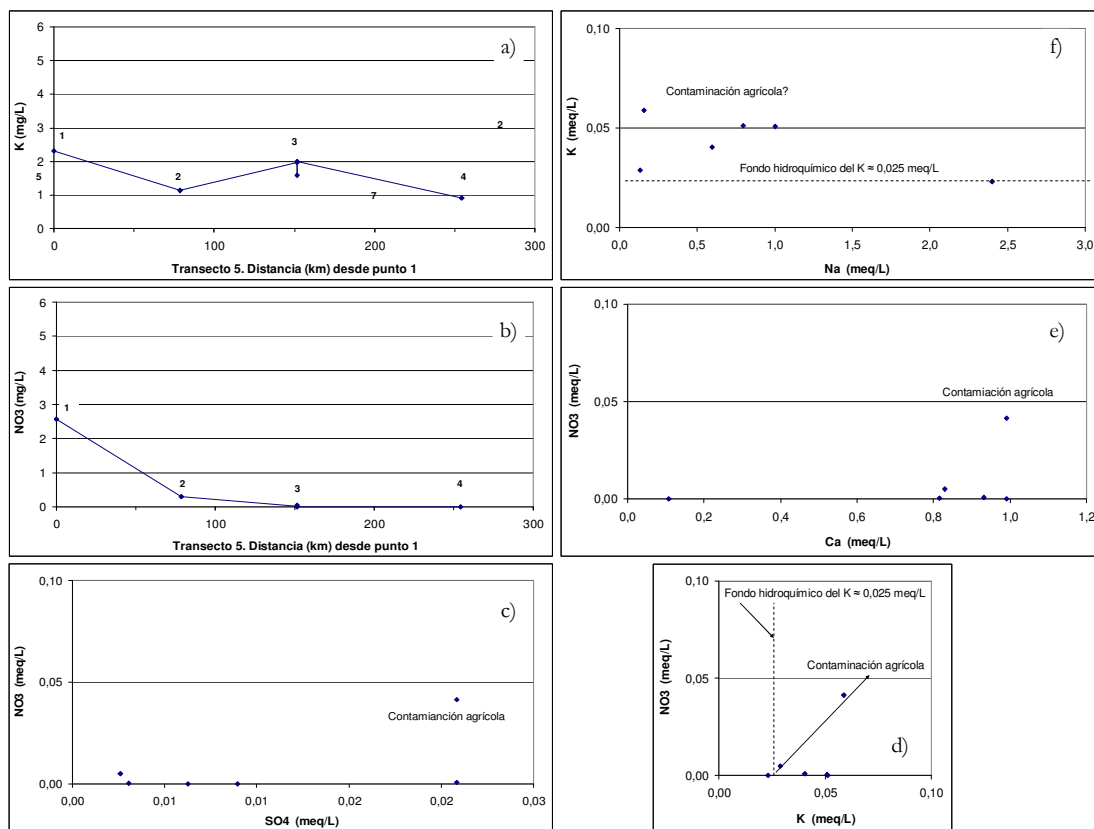


Fig. 5.27. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 5.

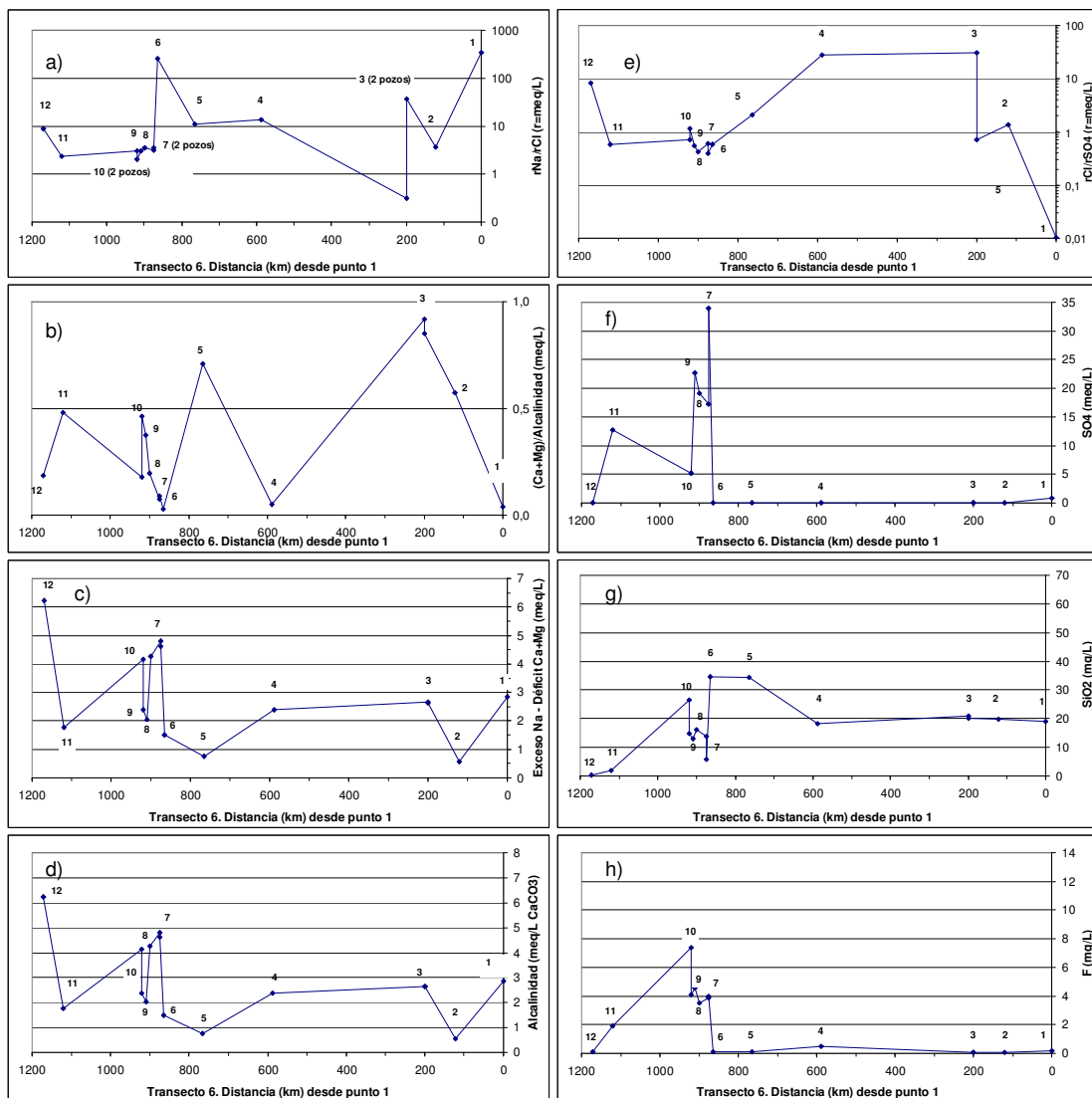


Fig. 5.28. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 6.

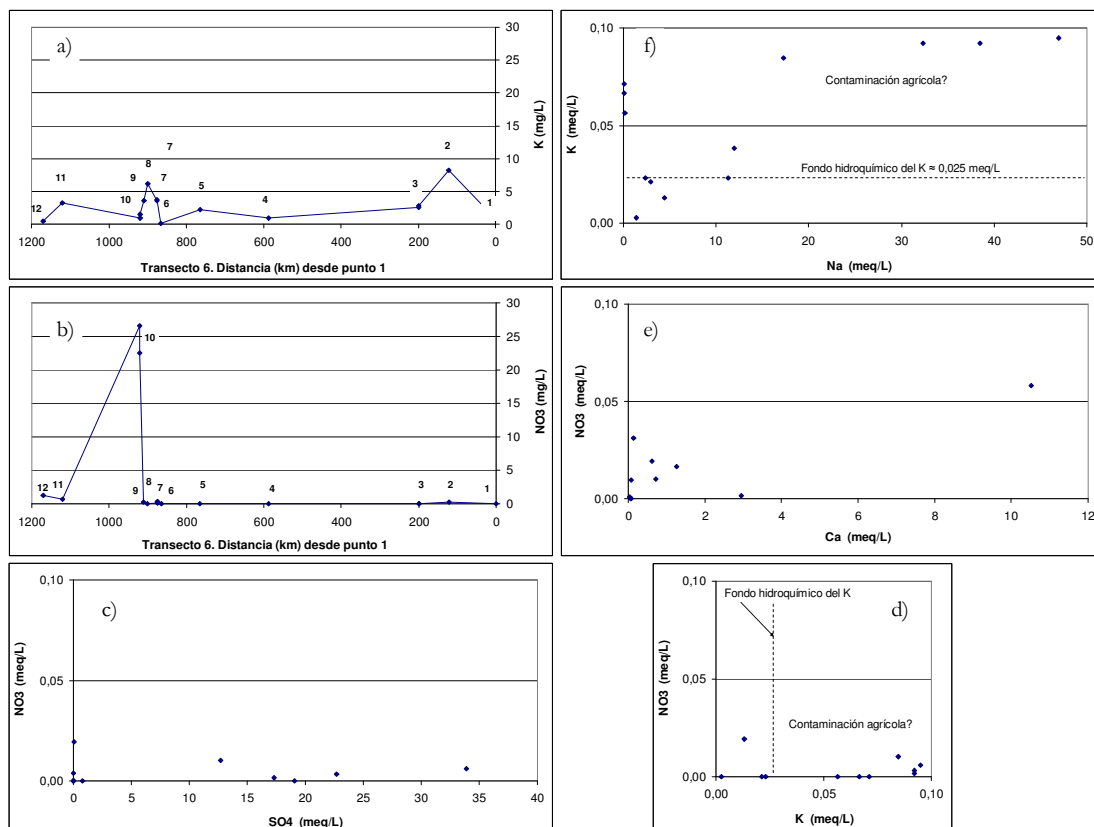
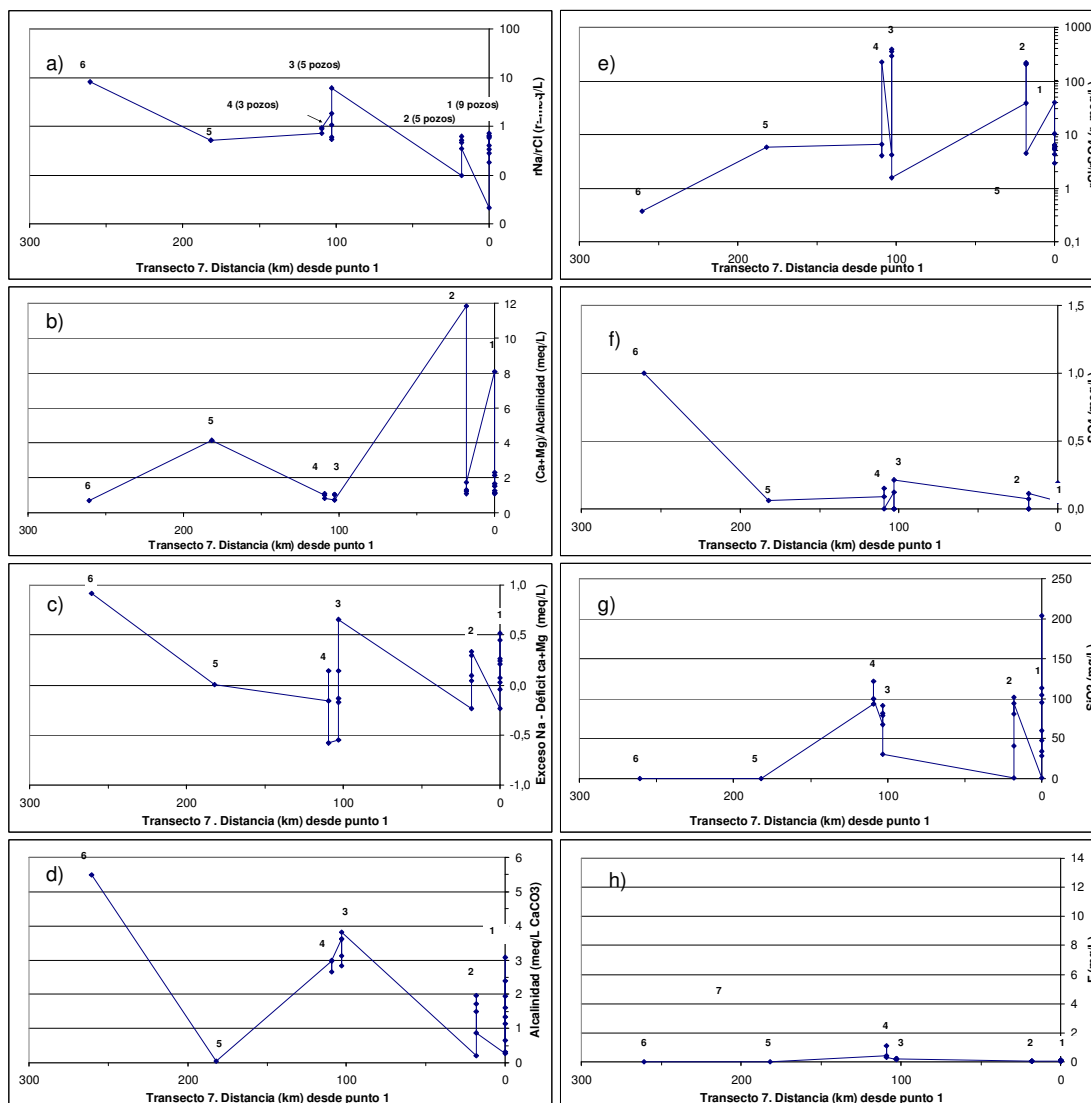


Fig. 5.29. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 6.



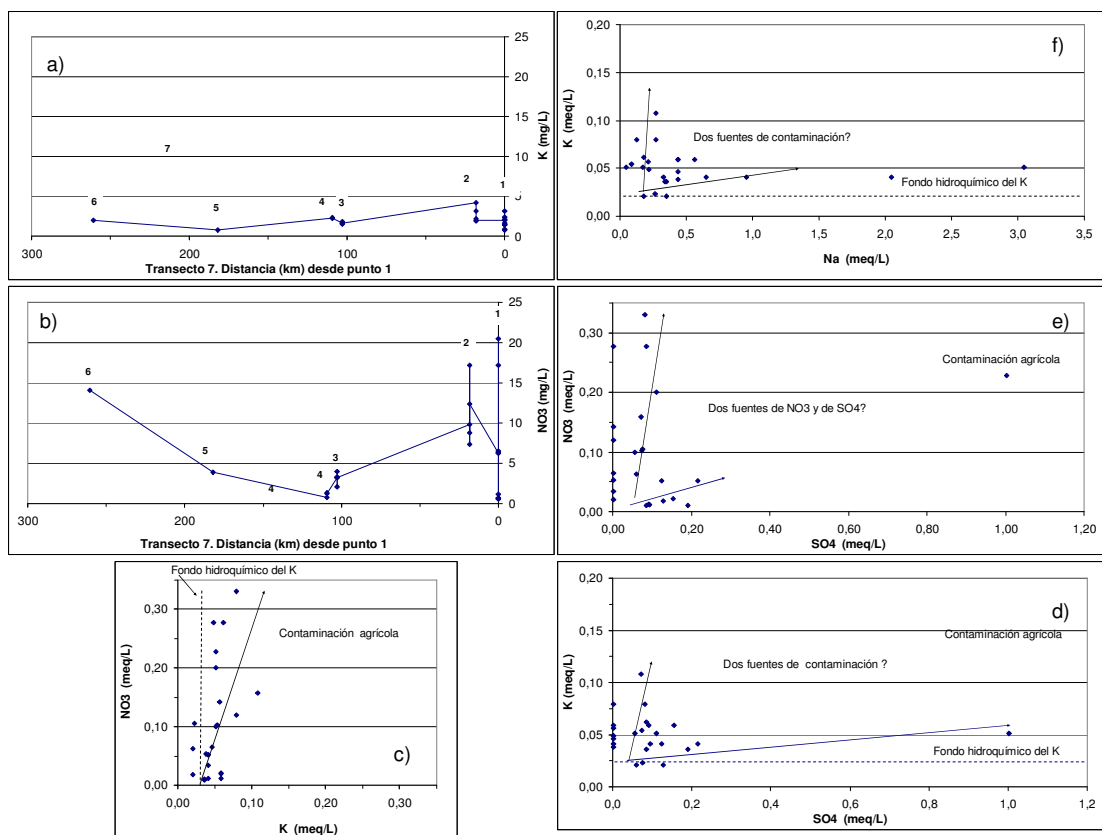


Fig. 5.31. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 7.

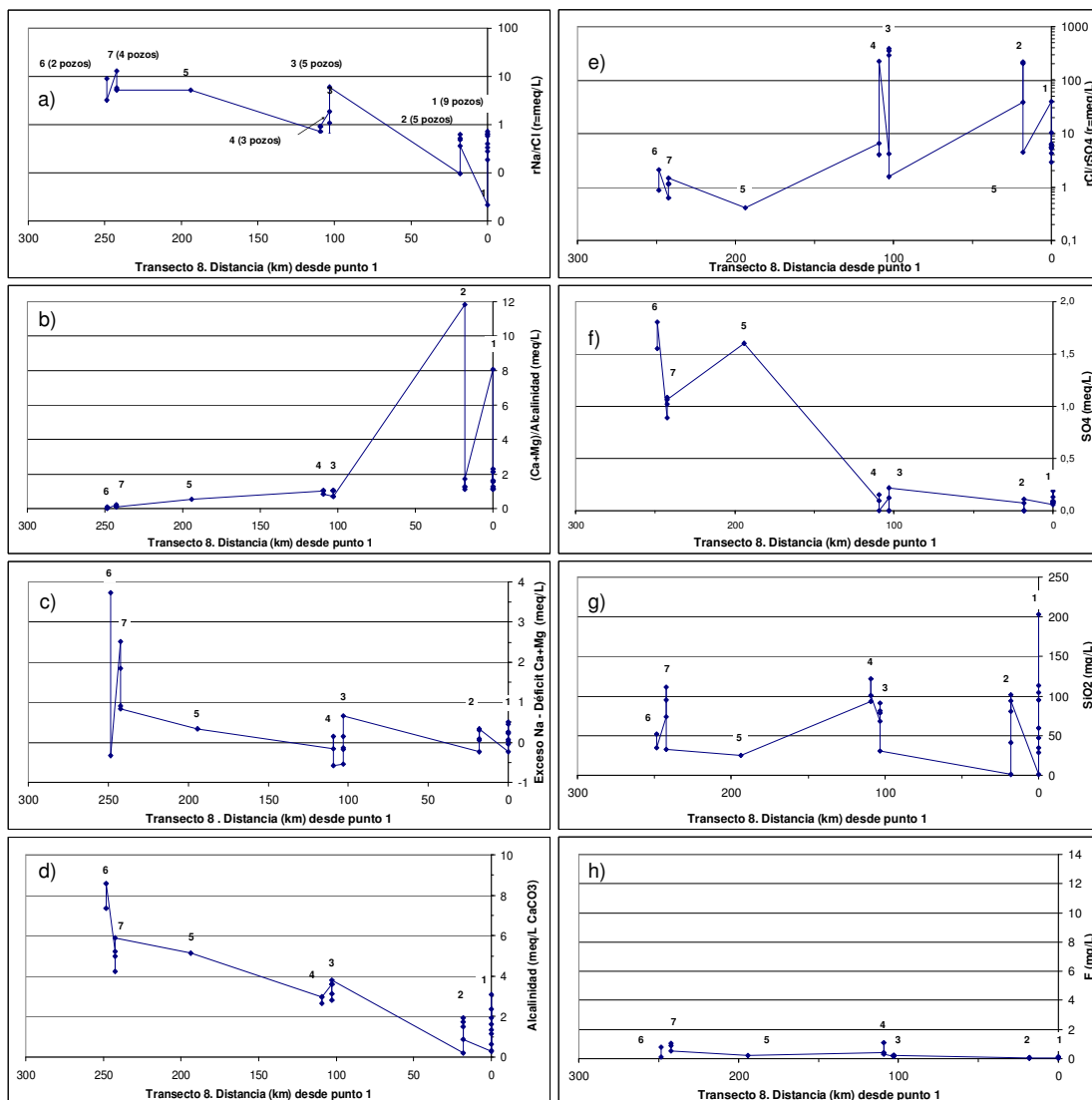


Fig. 5.32. Evolución del valor de algunas relaciones iónicas y del contenido en alcalinidad, SO_4 , F y SiO_2 del agua a lo largo del Transecto 8.

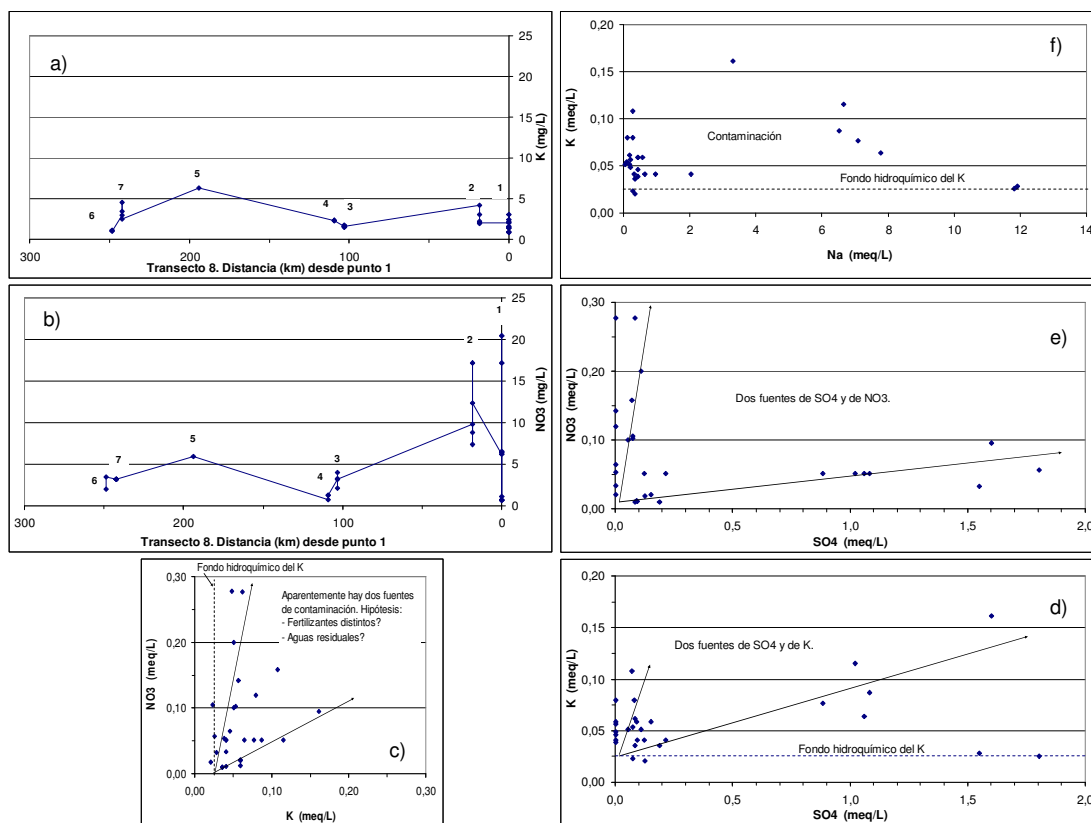


Fig. 5.33. Identificación de la contaminación agrícola en el Transecto 8.



5.3 Conceptualización de la composición química del agua del SAG: clasificación en facies hidroquímicas, relación entre ellas y con la red de flujo

Aceptando que las muestras de los transectos son representativas de todas las aguas del SAG, se ha realizado una identificación de facies o grupos hidroquímicos de las aguas de cada transecto y se ha relacionado cada facies con los procesos hidrogeoquímicos explicados en los apartados 5.1 y 5.2. Esta clasificación y las hipótesis sobre las relaciones entre ellas parecen aplicables a todas las aguas del SAG. Los pasos seguidos para la clasificación son:

1. Representación de los análisis en diagramas de Piper y de Shöeller-Berkaloff (con el código EASYQUIM; Vázquez-Suñé, 1999).
2. Identificación de facies hidroquímicas en cada transecto.
3. Estudio de la relación espacial entre las distintas facies en cada transecto y de estas con relación a la red de flujo.

Como se ha visto en el Apartado 5.2, en todos los transectos se han encontrado aguas con las mismas características químicas, si bien las aguas de los transectos 1 a 6 son más similares entre sí y las de los transectos 7 y 8 tienen una facies nueva que no aparece en los otros y que se sospecha es resultado de un proceso antrópico. Por otro lado, las facies identificadas coinciden, en gran medida, con los tipos químicos de aguas mencionadas por prácticamente todos los autores que han trabajado anteriormente en los sectores brasileños del SAG, si bien aquí se ha podido diferenciar subfacies dentro de algunas facies y se ha propuesto un origen para las mismas en relación con la red de flujo de agua subterránea que supone algunas novedades respecto a lo propuesto en trabajos anteriores. Esta relación permite explicar porqué en determinados emplazamientos de algunos transectos se encuentran pozos cuyas aguas son de tipo hidroquímico distinto al de los pozos de su entorno, y característico, en cambio, de otras zonas ubicadas aguas arriba o aguas abajo en el mismo transecto. Además de por los aspectos novedosos del modelo hidrogeoquímico propuesto, el presente estudio supone un avance respecto a los trabajos anteriores por su gran cobertura espacial, que permite extender el modelo hidroquímico a la práctica totalidad del SAG.



Las facies hidroquímicas identificadas en el conjunto de los transectos se han denominado con las letras A, B, C y D, y las subfacies con el subíndice 1 y 2. En las figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 y 5.41 se muestran las facies identificadas en cada transecto, los análisis estudiados y su adscripción a cada facies. La identificación de cada muestra se puede ver en la Tabla A2.3 del Anexo 2.

Las facies hidroquímicas identificadas para los transectos 1 a 6, su ubicación espacial y la relación entre ellas y con la red de flujo son las siguientes (ver síntesis en Tabla 5.1):

- **Aguas de Tipo A:**

De tipo bicarbonatado cálcico (la mayoría) o bicarbonatado magnésico (pocas), muy poco mineralizadas (CE entre 10 y 250 \square S/cm; en general $<150 \square$ S/cm) y con pH entre ligeramente ácido y neutro (pH= 4 a 8, en general 5 a 7,7) (Tabla 5.1). Se encuentran en o muy cerca de las zonas de afloramiento del SAG (puntos 1-1 a 1-5 del Transecto 1; 2-1 a 2-2 del Transecto 2; 3-1 a 3-3 del Transecto 3; 4-2 del Transecto 4; 5-1 a 5-3 del Transecto 5; 6-1 a 6-3 del Transecto 6; 7-1/8-1 a 7-4/8-4 de los transectos 7 y 8 –estos cuatro primeros puntos son comunes a ambos transectos-).

Son aguas poco evolucionadas químicamente, con poco tiempo de residencia en el terreno, y su composición química debe responder a la interacción del agua de lluvia con los minerales y gases del terreno en la zona de recarga (ver Fig. 5.1 y discusión sobre la composición del agua de lluvia).

- **Aguas de Tipo B:**

Son de tipo bicarbonatado sódico, poco mineralizadas (CE entre 120 y 760 \square S/cm; con frecuencia entre 200 y 600 \square S/cm) y con pH entre neutro y básico (pH= 7 a 10, con frecuencia en torno a 9) (Tabla 5.1). Se encuentran en zonas proximales a intermedias del SAG confinado.



Son aguas muy evolucionadas químicamente, con largo tiempo de residencia en el terreno, y su composición química responde principalmente a la interacción de las aguas de recarga meteórica con los minerales que forman las areniscas del SAG durante el tránsito por el seno de estos materiales. El dominio del Na se debe a la ya mencionada reacción de intercambio iónico de Na adsorbido por Ca y Mg en solución, la cual disminuye el estado de saturación mineral de la calcita (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e induce la disolución de estos minerales y la generación de HCO_3 . Esto explicaría el aumento de la concentración de Na y HCO_3 y la disminución de la concentración de Ca y Mg entre las aguas de Tipo A y las de Tipo B en los transectos 1 a 6 (figuras 5.34 a 5.39).

Otra posible fuente de Na es la disolución de evaporitas. Como se ha visto en los apartados 5.1 y 5.2 es posible que las aguas de tipo Na- HCO_3 tengan también algo de mezcla con aguas en contacto con esas rocas. La mezcla con aguas que han disuelto evaporitas también aumentarían las concentraciones de Cl y el SO_4 , lo cual se ha comprobado que sucede en las aguas de Tipo B. En estas aguas se han diferenciado dos subgrupos:

- **B₁**: formado por aguas con contenidos de Cl menores a los de SO_4
- **B₂**: formado por aguas con contenidos de Cl mayores a los de SO_4

Las aguas del subtipo B₂ aparecen siempre a continuación de las del subtipo B₁ y son más salinas que éstas. Esto sugiere que hay un aporte de Cl y de SO_4 al agua hacia el centro de la cuenca, lo cual apoya la hipótesis de un aporte de sales de origen evaporítico. Este aporte puede proceder bien de la Formación Piramboia, que tiene evaporitas, o bien de formaciones inferiores al SAG, donde también hay evaporitas. Esta evolución se explica con más detalle al describir las aguas de Tipo C. El tránsito de Tipo B₁ al B₂ se debe producir cuando las aguas alcanzan la saturación en sulfato cálcico, que es menos soluble que el cloruro sódico.

- **Aguas de Tipo C:**

Son mayoritariamente de tipo bicarbonatado-sulfatado sódico, pero también las hay de tipo sulfatado sódico e incluso de tipo clorurado sódico. Son las aguas más mineralizadas de todas las



encontradas en el SAG (CE entre 550 y 6000 μ S/cm) y con pH entre neutro y básico (pH= 7 a 9, con frecuencia en torno a 8,5) (Tabla 5.1). Se encuentran en zonas distales del SAG confinado y aparecen en los transectos 1, 2, 3, 4, 6 y 8 (ver figuras 5.34 a 5.41).

En las aguas de Tipo B se han diferenciado tres subgrupos:

- **C₁**: formado por aguas de tipo Na-HCO₃-SO₄-Cl pero con contenidos de Cl menores a los de SO₄.
- **C₂**: formado por aguas de tipo Na-HCO₃-SO₄-Cl con contenidos de Cl mayores a los de SO₄.
- **C₃**: formado por aguas de tipo Na-Cl o bien Na-SO₄.

Estos subgrupos van apareciendo conforme aumenta la salinidad total del agua: el subtipo C₁ corresponde a las aguas menos salinas del grupo, con concentraciones tanto de Cl como de SO₄ generalmente entre 1 y 2 meq/L (con algunas excepciones en el Transecto 3 -termas de Londrina- y en el Transecto 6 -Ciudad del Este, Paraguay-, donde hay aguas de este subtipo. Con concentraciones de ambos componentes entre 6 y 10 meq/L; figuras 5.36 y 5.39).

El subtipo C₂ corresponde a aguas algo más salinas, generalmente con concentraciones de Cl entre 2 y 4 meq/L y de SO₄ entre 1 y 2 meq/L, aunque también son más elevadas las concentraciones de algunas aguas de este subgrupo en los transectos 2, 6 y 8 (figuras 5.35, 5.39 y 5.41).

El subtipo C₃ corresponde generalmente a las aguas más salinas, con concentraciones de Cl cercanas o mayores a 10 meq/L y aparecen en los transectos 3, 4 y 6. Se trata de aguas claramente cloruradas sódicas o claramente sulfatadas sódicas (figuras 5.36, 5.37 y 5.39).

Las aguas de Tipo C están muy evolucionadas químicamente, tienen un largo tiempo de residencia en el terreno y su composición química responde principalmente a la mezcla de las aguas de Tipo B con otras aguas de composición más salina y de tipo químico probablemente clorurado sódico. El tránsito de aguas con Cl<SO₄ a aguas con Cl>SO₄ conforme aumenta la salinidad se explica por las solubilidades relativas de las sales en la naturaleza: las sales carbonatadas son las menos solubles, por tanto saturan antes en el agua; le siguen las sales sulfatadas y por último las sales cloruradas (haluros). Así, las concentraciones de HCO₃ no creciendo indefinidamente sino que



tienen un límite cuando el agua se satura en minerales carbonatados; las concentraciones de SO_4 crecen más, pero sólo hasta alcanzar la saturación en minerales sulfatados, y las concentraciones de Cl crecen de manera prácticamente indefinida.

En todos los casos estas aguas más salinas procederían de las formaciones sedimentarias del pre-SAG, que contienen evaporitas y agua de facies química similar al agua de mar aunque con salinidades muy distintas. En el estudio de Meng y Maynard (2001) se recogen 15 análisis de aguas de sedimentos inferiores al SAG en el estado de Sao Paulo (formaciones Itararé, Tatui y Río Bonito) proporcionados por PETROBRAS y tomadas entre 500 y casi 5000 m de profundidad. Estas aguas se muestran en la Fig. 5.42, donde se observan varias cosas de interés:

- Las aguas alcanzan salinidades de hasta un orden de magnitud superior a la del agua de mar (el agua de mar típica tiene unos 600 meq/L de Cl, 500 meq/L de Na y 50 meq/L de SO_4 ; la muestra 3-CB-2-SP tiene una composición bastante cercana a la del agua de mar). Esto se debe al contacto con rocas evaporíticas de origen marino.
- Las aguas menos salinas son de tipo $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ y Na-SO_4 , pero las más salinas de todas son de tipo Na-Cl. Esto se explica, de nuevo, por las solubilidades relativas de las sales en la naturaleza. Así, las concentraciones de HCO_3 oscilan en un rango más estrecho que las de SO_4 y las de éste en un rango más estrecho que las de Cl.
- Es fácil prever que la mezcla en distintas proporciones de aguas de estas características con aguas de tipo B en áreas favorables a la existencia de flujos ascendentes, proporcionan aguas de Tipo C con el rango de variabilidad observada (ver Apartado 6.2).

- **Aguas de Tipo D:**

Son aguas de tipo Ca-Cl y Mg-Cl y aparecen únicamente en el área urbana de Rivera-Sant'ana do Livramento, en los transectos 7 y 8 (son los mismos pozos en ambos transectos) y en zona de afloramiento o casi afloramiento del SAG.



Las posibles fuentes del Ca y del Mg se han mencionado antes. Respecto al Na, las aguas de Tipo D tienen contenidos de Na similares a las de Tipo A en la zona, pero los contenidos de Cl son un orden de magnitud mayor. Esto que sugiere que hay un aporte de Cl al agua no acompañado de Na, pero no existe ninguna fuente litológica que pueda aportar Cl al agua y no Na. Por tanto, la hipótesis más probable para explicar la existencia de esta facies hidroquímica es la contaminación por actividades antrópicas en las cuales se maneja Cl y no Na.

Tabla 5.1. Facies hidroquímicas identificadas en el conjunto de los transectos y relación aparente con la red de flujo.

Grupo	Tipo químico	Sub-tipo	Transectos en los que aparece	CE (□S/cm)	pH	Ubicación en red de flujo
Tipo A	Ca-HCO ₃ a Mg-HCO ₃	A ₁ : Na>Cl	1, 2, 3, 4, 5, 6	10 a 250, en general <150	4 a 8	En zona de afloramiento o muy cerca de ella.
		A ₂ : Na≤Cl	7, 8			
		B ₁ : Cl<SO ₄	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8			
Tipo B	Na-HCO ₃			120 a 760, en general 200 a 600	7 a 10	En zona confinada, aguas abajo de las aguas tipo A en la red de flujo. B ₂ aparece más hacia el centro de la cuenca que B ₁ . En realidad ambas responden a mezcla con flujos ascendentes de aguas del pre-SAG.
		B ₂ : Cl>SO ₄	1, 2, 3, 4, 5, 6			
Tipo C	Na-HCO ₃ SO ₄ Cl a Na-SO ₄ y a Na-Cl	C ₁ : Cl<SO ₄	1, 2, 3, 4, 8	550 a 6000	7 a 9	En zona de elevado confinamiento, hacia el centro de la cuenca. Primero aparece C ₁ , luego C ₂ y más hacia el centro C ₃ . Proceden de mezcla con flujos ascendentes de aguas salinas del pre-SAG en cada una de esas zonas.
		C ₂ : Cl>SO ₄	1, 2, 4, 6, 8			
		C ₃ : Na-Cl o Na-SO ₄	1, 2, 4, 6			
Tipo D	Ca-Cl y Mg-Cl		7, 8	30 a 240	5 a 6	En zona de afloramiento y medio urbano (sólo en Rivera-Santana)



5.3.1 Relación de las facies químicas con la red de flujo en los transectos

Las facies hidroquímicas A, B y C tienen una cierta relación con la red de flujo de agua subterránea ya que aparecen siempre en el mismo orden desde las zonas de afloramiento (y recarga) del SAG hasta las zonas de elevado confinamiento en sectores más o menos internos del acuífero. Sin embargo, como se ha visto con detalle en espartado 5.2, las relaciones entre ellas no siempre se deben a evolución hidrogeoquímica del agua a lo largo del flujo horizontal dentro del SAG sino a la mezcla, bastante generalizada, con aguas cuyo origen no es la recarga en la zona de afloramiento del SAG. Se trata de aguas procedentes de líneas de flujo más profundas, que ascienden desde las formaciones del pre-SAG debido seguramente a su mayor potencial hidráulica. Estos flujos deben aprovechar la estructura geológica, siendo más evidentes las mezclas en zonas de intenso fracturamiento. La relación entre las distintas facies químicas y de estas con la red de flujo se resume así (Tabla 5.1):

- Las aguas bicarbonatadas cálcicas o magnésicas (facies A) aparece en las zonas de recarga o cerca de ellas en el sentido del flujo, y corresponden a aguas poco evolucionadas químicamente respecto al agua de recarga.
- Las aguas de Tipo B aparecen en posiciones intermedias del sector confinado del acuífero y proceden, principalmente, de la evolución química de las aguas de Tipo A por reacciones de intercambio iónico de Na adsorbido con Ca y Mg en solución y por disolución de minerales carbonatados en el seno de los materiales del SAG. No obstante, el tránsito de las aguas del subTipo B₁ (Cl<SO₄) a las aguas del subTipo B₂ (Cl>SO₄) indica que además hay ya algo de mezcla con aguas que han estado en contacto con sales evaporíticas, y cuyo origen parece estar en las formaciones más profundas al SAG.
- Las aguas de tipo C aparecen en general en los sectores más lejanos a las áreas de recarga, y proceden principalmente de la mezcla de las aguas de Tipo B con aguas más salinas cuyo origen está en las formaciones infrayacentes al SAG. En algunas zonas del acuífero las aguas de tipo C aparecen en áreas no demasiado lejanas a la de recarga (transectos 3 y 4), lo que podría indicar que localmente la Formación Piramboia podría aportar esas mismas sales.



La relación entre los distintos grupos de aguas encontrados en cada transecto se muestra en los diagramas de Piper de las figuras 5.43 a 5.50.

Tras identificar las facies hidroquímicas se ha seleccionado un (o más, según el caso) análisis químico como representativo del agua del SAG encontrada en cada punto o emplazamiento de cada transecto, y se ha dibujado su diagrama de Stiff Modificado en los correspondientes transectos hidrogeológicos con el objetivo de mostrar las aguas típicas halladas en cada uno y su relación con la red de flujo (figuras 5.51 a 5.59). Una explicación detallada de la relación espacial entre las distintas facies encontradas a lo largo de cada transecto es la siguiente:

Transecto 1 (Fig. 5.51):

- En los primeros 100 km, desde Santa Rosa do Viterbo hasta el emplazamiento 1-5 (Sertãozinho) las aguas son de Tipo A, incluso en pozos donde el SAG está ya recubierto por más de 100 de basaltos.
- Aguas abajo en el sentido del flujo, entre los emplazamientos 1-6 (Bebedouro) y 1-8 (São José do Rio Preto) las aguas son de Tipo B y aunque muestran una composición similar se observa claramente un ligero aumento de Cl y de SO_4 entre los emplazamientos Catanduva (1-7) y São José do Rio Preto (1-8), es decir un aporte de aguas en contacto con evaporitas.
- Siguiendo hacia el centro de la cuenca, entre el emplazamiento 1-8 y el 1-9 (Auriflama) prácticamente sólo aumentan estos dos componentes, lo que indica que las concentraciones de los otros (Ca, Mg, Na, HCO_3) se mantienen relativamente bien controladas por las reacciones químicas en las que se ven envueltos.
- Entre Auriflama y Pereira Barreto (emplazamiento 1-10) los cambios son también mínimos, pero entre este último punto y Três Lagoas (emplazamiento 1-11) hay un significativo aumento del Cl y del Na, mientras los demás componentes varían poco. Esto sugiere que aunque estén teniendo lugar reacciones en las cuales intervienen Ca, Mg, K, C y S, los minerales carbonatados y los sulfatados están ya saturados en el agua y las concentraciones de esos componentes mayoritarios varían poco. Pero las sales cloruradas



- están lejos de la saturación y claramente están ocurriendo procesos que aportan Cl y Na. Este último debe proceder principalmente de la misma fuente que el Cl, pues el proceso de desadsorción por intercambio con Ca alcanzó ya su equilibrio en el emplazamiento.
- El punto 1-12 del Transecto 1 (Naviraí), que es también el punto 2-10 del Transecto 2, punto 3-5 del Transecto 3, punto 5-4 del Transecto 5 y punto 6-4 de trayecto 6, pertenece al Tipo B₂ a pesar de que por su ubicación en la red de flujo cabría esperar que fuese de Tipo C. Esto significa que las aguas del SAG en esta zona no proceden de líneas de flujo procedentes del E o NE, ya que en ese caso serían más salinas y de tipo C, sino probablemente del N o del O.
 - En resumen, salvo en la propia zona de recarga, donde las aguas son bicarbonatadas cálcicas, en el primer tercio del Transecto 1 las aguas tienen facies bicarbonatada sódica y una composición química muy estable, lo que sugiere elevado tiempo de permanencia. Pero a partir de Sao José do Río Preto hacia el O las aguas van aumentando de salinidad y pasando a ser de tipo de C₁ y C₂, lo que indica un proceso de mezcla con aguas más salinas, de composición clorurada sódica y de procedencia distinta al SAG. Esta mezcla tiene lugar en la parte central de la cuenca y hasta el entorno del río Paraná, pero no en el sector de acuífero ubicado al O del río.

Transecto 2 (Fig. 5.52):

- En la zona de recarga (emplazamiento 2-1, Sao Pedro) las aguas son de Tipo A.
- Aguas abajo en el sentido del flujo regional, unos 100 km al oeste y en zona de acuífero confinado, en los emplazamientos 2-1 (Agudos), 2-3 y 2-4 (Bauru), que son muy cercanos entre sí, aparecen aguas tanto de Tipo A como ya de Tipo B, aún poco evolucionadas.
- Siguiendo hacia el O en el sentido del flujo, hasta el emplazamiento 2-6 (Tupá, unos 200 km dentro del acuífero confiando) las aguas siguen siendo de tipo B y con una composición muy estable en la que sólo se advierte un ligerísimo incremento de Cl y SO₄. Como en el Transecto 1, se trataría básicamente de las aguas recargadas en la zona de afloramiento, aparentemente modificadas principalmente por intercambio iónico y



- disolución de carbonatos y ligeramente también por mezcla con aguas en contacto con evaporitas.
- Más hacia el O, en los emplazamientos 2-8 (Presidente Prudente) y 2-9 (Presidente Epitácio) las aguas son ya de Tipo C, lo que indica que su origen es la mezcla de las aguas típicas del SAG confinado exposiciones intermedias (Tipo B), muy evolucionadas y de composición estable, con aguas más salinas y de distinta distribución iónica procedentes de formaciones infrayacentes. Las aguas disponibles de Presidente Prudente son más salinas que las disponibles de Presidente Epitácio y además son de tipo C_3 (cloruras sódicas), lo que significa que la proporción de agua salina infrayacente es mayor que en Presidente Epitácio. Se trata de la zona donde el SAG está a mayor profundidad, justo en el depocentro del sector N del acuífero. La existencia de mezclas del agua del pre-SAG con aguas del SAG se explica fácilmente por un gradiente hidráulico favorable a la existencia de flujos ascendentes desde las formaciones infrayacentes al SAG (y desde el propio SAG).
 - Como ya se ha comentado en el Transecto 1, el agua del extremo final del Transecto 2 (punto 2-10, Naviraí) es de tipo B y no C, lo que indica que su zona de recarga está al N o al O, no al E del acuífero.
 - En resumen las aguas del Transecto 2 tienen una evolución espacial similar a la del Transecto 1 y por causas similares. Las aguas más salinas, de tipo C_1 y C_2 , se encuentran en la parte central de la cuenca, en las localidades de Presidente Prudente y Presidente Epitácio. Esta es también la zona donde el SAG está más profundo y tiene un espesor más reducido (en general <100 m).

Transecto 3 (Fig. 5.53):

- Las aguas disponibles de la zona de afloramiento del SAG (emplazamientos 3-1, 3-2 y 3-3, Sto. Antônio da Platina, Abatiá y Riberao do Pinhal) son en general de tipo A y muy poco mineralizadas, con algunos casos de agua sulfatadas cálcicas (Ca-SO_4), como es el caso de Sto. Antônio da Platina (3-1). Esto se explica por ser aguas del afloramiento de la Formación Piramboia, en la cual hay evaporitas. En general son aguas muy recientes y escasamente evolucionadas respecto al agua de recarga.



- Aguas abajo en el sentido del flujo regional, en el emplazamiento 3-4 (Londrina) se encuentran aguas tanto de tipo B como de tipo C. Las aguas de tipo B son de mineralización media (muestra 3-4DH en Fig. 5.53) y su composición es típica de sectores intermedios del SAG confinado por evolución química de las aguas de la zona de recarga durante el tránsito por los materiales del propio SAG. Las aguas de tipo C aparecen en el pozo más profundo muestreado en la zona, el de termas de Londrina. Se trata de aguas cuya composición se debe a mezcla de las aguas propias del SAG (B) con aguas más profundas y más salinas. Son incluso aguas de tipo C_3 ($Na-SO_4-Cl$), lo que indica que tienen una proporción considerable de agua salina. El hecho de encontrar aguas bicarbonatadas sódicas (B) y sulfatadas-cloruradas sódicas (C_3) en pozos muy cercanos indica que los pozos están captando líneas de flujo distintas.
- Como ya se ha comentado en los dos transectos anteriores, el agua del extremo final de este transecto (punto 3-5, Naviraí) es de tipo B y su composición no se puede explicar por flujo regional desde el E.
- En general las aguas de la parte confinada del Transecto 3 son de tipo B no muy mineralizadas, por tanto en la mayor parte de este sector del acuífero parecen dominar las reacciones de intercambio y disolución de carbonatos en el seno del SAG. Solamente las aguas surgentes de los pozos más profundos de Termas de Londrina son de tipo C, indicando que en ese lugar hay mezcla del agua del SAG con aguas más salinas y profundas.

Transecto 4 (Fig. 5.54):

- No se dispone de ninguna muestra en zona de afloramiento. Las aguas más cercanas al afloramiento del SAG (unos 20 km) son las de los emplazamientos 4-1 (Montealegre) y 4-2 (Cruz Machado). La primera es de tipo A ($Ca-HCO_3$) pero la segunda es ya de tipo B ($Na-HCO_3$, con $Cl < SO_4$), lo que indica que ésta es ya un agua modificada por intercambio iónico.
- Aguas abajo en el sentido del flujo, unos 100 km dentro del acuífero confinado las aguas del emplazamiento 4-3 (Treze Tilias), son prácticamente idénticas a las de Cruz Machado,



solamente un poquito más salinas que éstas y con $\text{Cl} > \text{SO}_4$. Esto sugiere que los procesos de intercambio iónico y disolución de carbonatos están probablemente en equilibrio, y también que en Treze Tílias hay un aporte, aún pequeño, de aguas más salinas.

- Siguiendo hacia el O en el sentido del flujo regional, prácticamente todas las aguas analizadas en el resto del transecto son de tipo C, con independencia de la profundidad de los pozos. En el emplazamiento 4-4 (Puente Castelo Branco) las aguas son de tipo B_2 y en el 4-5 (Concordia) las aguas están ya entre el Tipo B_1 (bicarbonatadas sódicas con $\text{Cl} < \text{SO}_4$) y el C_1 (bicarbonatadas-cloruradas-sulfatadas sódicas, con $\text{Cl} < \text{SO}_4$), pero en los emplazamientos 4-6 (Itá), 4-7 (Aguas de Chapecó), 4-8 (Sao Joao do Oeste) y 4-9 (Oberá) son ya de tipo C_3 (cloruradas sódicas o sulfatadas sódicas). El conjunto de aguas de estos pozos muestra la existencia, a lo largo del transecto, de mezcla entre las aguas características de Tipo B y aguas más profundas y salinas. Esto se produce en zonas favorables a la ascendencia de flujos profundos, que es el caso del valle del río Uruguay en toda esta zona. Esto se ve corroborado por las características de un análisis no mostrado en este transecto, la muestra S-226-BR-PR de PROINSA (2007), correspondiente al pozo PP-B-8143 (Compañía Hidrotermal de Piratuba, ubicado unos 30 km al S del emplazamiento 4-4 y junto al río Uruguay), la cual es aún más salina que el agua del emplazamiento 4-4.
- Las aguas del emplazamiento 4-10 (Cerro Azul) son de nuevo de tipo B_2 aunque bastante más salinas que todas las aguas de tipo B vistas hasta el momento. Esto sugiere que la proporción de mezcla de las agua tipo B_1 con aguas salinas más profundas es pequeña, no suficiente para modificar la composición al tipo C_1 .
- Las mezclas entre aguas muy distintas modifican los estados de equilibrio mineral en el agua resultante y esto desencadena algunas reacciones químicas entre el agua y los minerales del terreno que son distintas a las mencionadas hasta ahora para el SAG (ver Apartado 6.3)

Entre los transectos 3 y 4 no hay mucha información hidroquímica del SAG. Sin embargo de esta zona hay varios análisis químicos correspondientes a manantiales, ríos y arroyos recogidos en el trabajo de De Souza (2004). Basándose principalmente en la temperatura de surgencia, por encima de 25°C , el autor sostiene que los manantiales aportan agua del SAG. Para comprobarlo se han



representado los datos de De Souza (2004) en un diagrama de Schöeller Berkaloff y se han identificado las facies hidroquímicas (Fig. 5.55). Se comprueba que las aguas del río Iguazú y las del río Coxim son de tipo A, lo cual se puede explicar por procesos de meteorización por el agua de escorrentía superficial. Pero las aguas de la mayoría de las surgencias son de tipo B₁ (Na-HCO₃, Cl<SO₄) tendiendo hacia C₁ (Na-HCO₃-SO₄, con Cl<SO₄), e incluso las aguas de las surgencias más salinas son de tipo C₂ (Na-HCO₃-SO₄, con Cl>SO₄; Saudade do Iguazú y Hotel) y C₃ (Na-Cl; Termas de Sulina y Fazenda Verê). Por tanto se confirma la surgencia de agua típicas del SAG (tipo B) e incluso de aguas mezcla de las del SAG con aguas más salinas y de tipo Na-Cl en esta zona.

Transecto 5 (Fig. 5.56):

- Las aguas de los emplazamientos 5-1 (Nioaque) y 5-2 (Maracajú) son de Tipo A y muy poco mineralizadas.
- Aguas abajo en el sentido del flujo, en el emplazamiento 5-3 (Dourados; unos 150 km dentro del acuífero confinado) las aguas oscilan entre el Tipo A y el Tipo B, aunque todas son muy poco mineralizadas. Esto sugiere que incluso en este último emplazamiento hay aportes de agua de recarga reciente, procedente de las cercanías del emplazamiento y no de la zona de afloramiento regional (Nioaque). Esta recarga se debe estar produciendo a través de las ventanas que existen en los basaltos en esta zona.
- El emplazamiento más lejano de este transecto (5-4, Naviraí) tiene ya agua de tipo B pero con mineralización aún baja, típica de zonas confinadas del SAG pero aún no en equilibrio con la mineralogía del acuífero.

Transecto 6 (Fig. 5.57):

- Es el transecto más largo y el único con trazado N-S. Entre la zona de recarga (emplazamiento 6-1, en Jataí) y el emplazamiento 6-3 (Inocência) las aguas son mayoritariamente de Tipo A, con algún caso de agua de Tipo B muy poco mineralizadas (un pozo del propio emplazamiento 6-1).



- Aguas abajo en el sentido del flujo, en el emplazamiento 6-4 (Naviraí, pozo ya mencionado en los transectos 1, 2, 3 y 5) las aguas son de Tipo B aunque aún de mineralización baja. La evolución química que se observa entre los puntos 6-1 y 6-4 sugiere que en éste el agua subterránea puede proceder perfectamente de la recarga que se produce en la zona N de afloramiento del SAG, en Goiás.
- Más abajo, el emplazamiento 6-5 (Colonia Nueva Esperanza) tiene aguas de nuevo de tipo A y de muy baja mineralización, poco más de lo que debe ser la lluvia. Esto indica que este punto no pertenece a la línea de flujo regional definida por los otros puntos del transecto.
- En la aglomeración de emplazamientos 6-6 (Hernandarias), 6-7 (Minga Guazú), 6-8 (Foz do Iguazú); 6-9 y 6-10 (Ciudad del Este) la mayoría de las aguas son de Tipo C, únicamente la de Hernandarias es de Tipo B a pesar de que la muestra procede de un pozo surgente. Esto sugiere que en la zona hay de nuevo mezcla de aguas recargadas en el SAG y modificadas por flujo regional dentro del mismo acuífero con aguas más salinas y profundas. Con frecuencia la proporción de agua salina es mayor en los pozos más profundos, pero no siempre ocurre así ya que la cota que alcanzan los flujos ascendentes dependen también de la situación hidrodinámica y geológica particular de cada zona.
- Unos 200 km al S de Ciudad del Este, el emplazamiento 6-11 (Oberá, que coincide con el emplazamiento 4-9 del Transecto 4) tiene también agua de Tipo C, mientras que el emplazamiento 6-12 (Cerro Azul, que coincide con el emplazamiento 4-10 del Transecto 4) tiene agua de Tipo B pero muy salina, en tránsito hacia el Tipo C. Su posible origen se ha explicado al describir el Transecto 4.
- En conjunto el Transecto 6 informa de la dominancia de dos procesos distintos en los segmentos N y S del mismo: en el N (Nioaque-Naviraí) domina la transferencia a través de las areniscas del SAG de las aguas recargadas en el afloramiento N del acuífero; en el S (Minga Guazú-Cerro Azul) domina la mezcla de las aguas del SAG con aguas más salinas de origen profundo.

Transecto 7 (Fig. 5.58):

- Tanto el Transecto 7 como el 8 muestran el tipo de aguas que cabe esperar a distancias crecientes de la zona de recarga del acuífero, pero la comparación con el mapa



- piezométrico permite ver que no representan propiamente líneas de flujo más o menos singulares cada uno de ellos.
- La mayoría de las aguas de la zona de afloramiento del SAG en la conurbación de Rivera-Sant'ana do Livramento (emplazamientos 7-1 y 7-2) son de Tipo A (Ca-HCO_3). No obstante, hay dos muestras, las únicas encontradas, de Tipo D (una Ca-Cl y otra Mg-Cl). Como ya se ha dicho en el apartado de identificación de facies hidroquímicas, la hipótesis más probable para explicar el origen de las aguas de tipo D es una contaminación con Cl.
 - Aguas abajo, en la zona de Artigas-Quaraí (emplazamientos 7-3 y 7-4), en zona de acuífero confinado pero con espesores de basaltos inferiores a 100 m, hay algunas aguas de tipo A más mineralizadas que en Artigas, pero algunas empiezan a ser de tipo B aún poco marcado (agua del pozo de Granja Cornelius, emplazamiento 7-3).
 - En el emplazamiento 7-5 (Itaqui) el análisis disponible de PROINSA corresponde a un pozo de 84 m de profundidad (pozo CORSAN Itaq-2) pero el agua tiene una composición similar a un agua de lluvia: es clorurada sódica y tiene una conductividad eléctrica de sólo $55 \mu\text{S/cm}$. Se desconoce la causa, pero en cualquier caso no representa agua del acuífero SAG.
 - En el emplazamiento 7-6 (Uruguaiana) en cambio el agua del SAG es de Tipo B y tiene una mineralización media ($\text{CE} = 764 \mu\text{S/cm}$). La ubicación de este emplazamiento en la red de flujo del acuífero sugiere, no obstante, que las aguas subterráneas aquí podrían proceder en parte de la zona de recarga situada al O (Rivera-Sant'ana) y en parte de flujos procedentes del N del acuífero.
 - En resumen, en el Transecto 7 las aguas dominantes son las de tipo Ca-HCO_3 , características de zona de recarga. Las aguas de tipo Na-HCO_3 , indicadoras de procesos de intercambio iónico como proceso dominante, comienza a aparecer en Artigas pero no se encuentran claramente hasta Uruguaiana.

Transecto 8 (Fig. 5.59):

- Este transecto comparte con el 7 los primeros 4 emplazamientos, por tanto no se repite aquí lo ya explicado para esas zonas.



- Los emplazamiento 8-5 (Termas de Arapey), 8-6 (Termas de Daymán) y 8-6 (Termas de Guaviyú) tienen aguas de Tipo B, aunque de salinidad considerable (entre 700 y 1200 \square S/cm). La mineralización aumenta de N a S y el subgrupo químico pasa de B_1 ($Cl < SO_4$) a B_2 ($Cl > SO_4$). Esto indica que a pesar de ser de Tipo B, es decir aguas cuya composición se debe principalmente a procesos de intercambio iónico y disolución de carbonatos en el seno del SAG, hay un proceso adicional de mezcla con aguas de distinto origen y más salinas que va modificando la facies química hacia el Tipo C.
- En realidad las aguas del Transecto 8 se podrían distribuir en dos grupos con respecto a su ubicación en la red de flujo: las aguas de la zona de recarga (Rivera-Sant'ana) y de la zona de confinamiento ligero del acuífero (Artigas-Quaraí) tienen facies químicas propias de esas zonas, de tipo A y entre A y B. Las aguas de la franja termal uruguaya junto a la frontera con Argentina tienen aguas cuya composición es mezcla de la facies B (aguas de elevado tiempo de permanencia en las areniscas del SAG) con otras aguas más salinas, de tipo probablemente Na-Cl y cuya procedencia no es el SAG.



AGUAS TRANSECTO 1

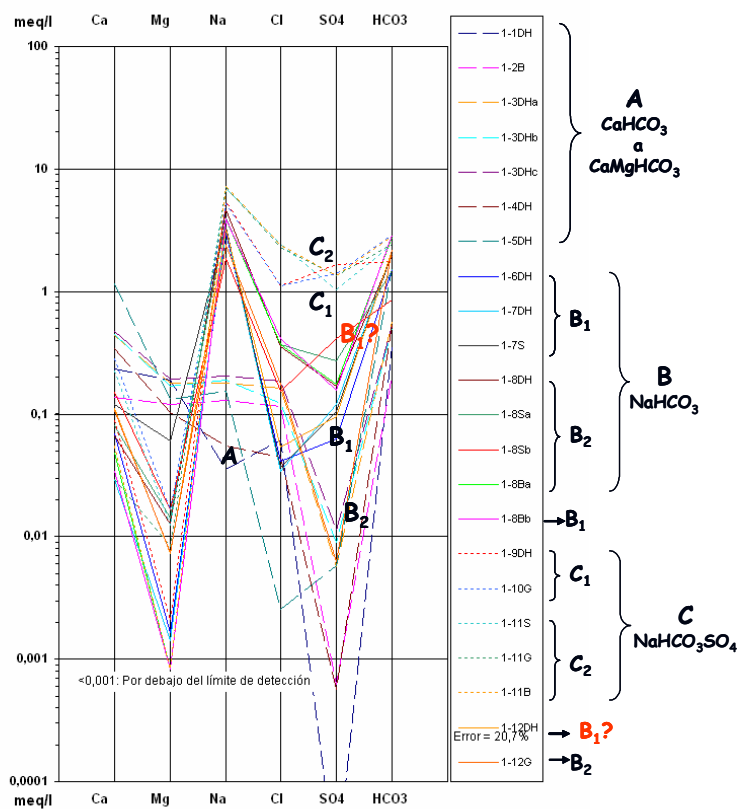


Fig. 5.34. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 1.

AGUAS TRANSECTO 2

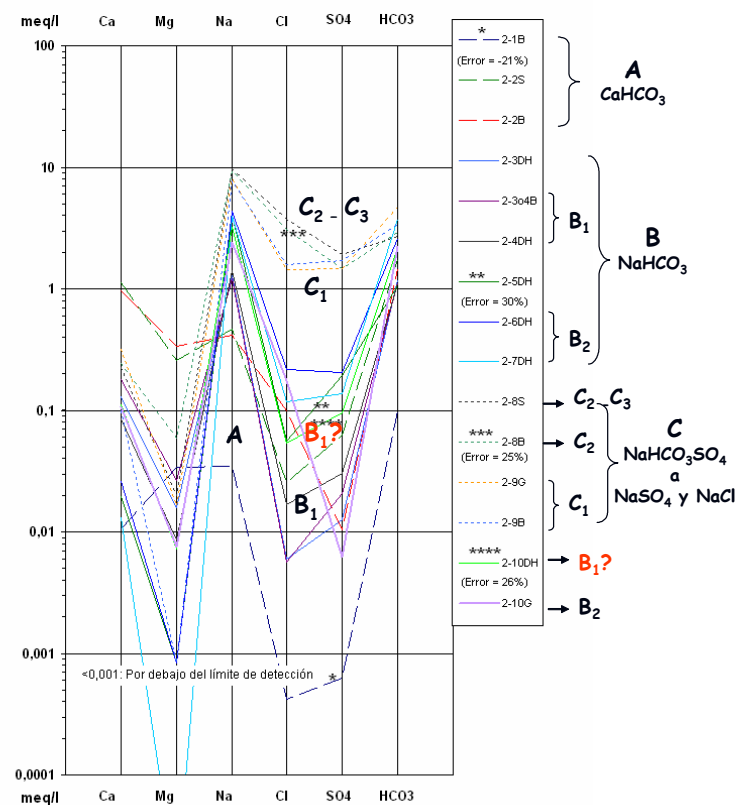


Fig. 5.35. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 2.



AGUAS TRANSECTO 3

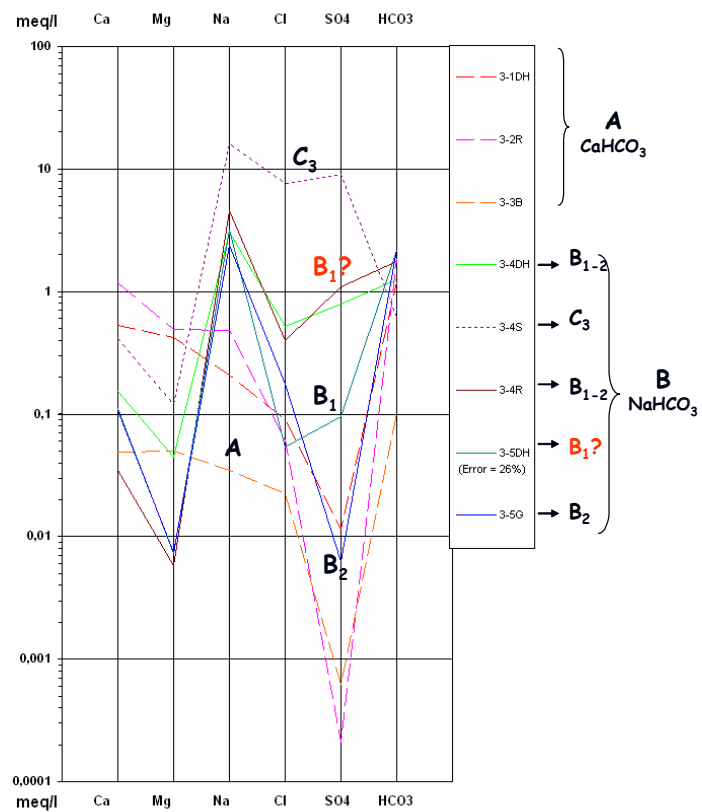


Fig. 5.36. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 3.

AGUAS TRANSECTO 4

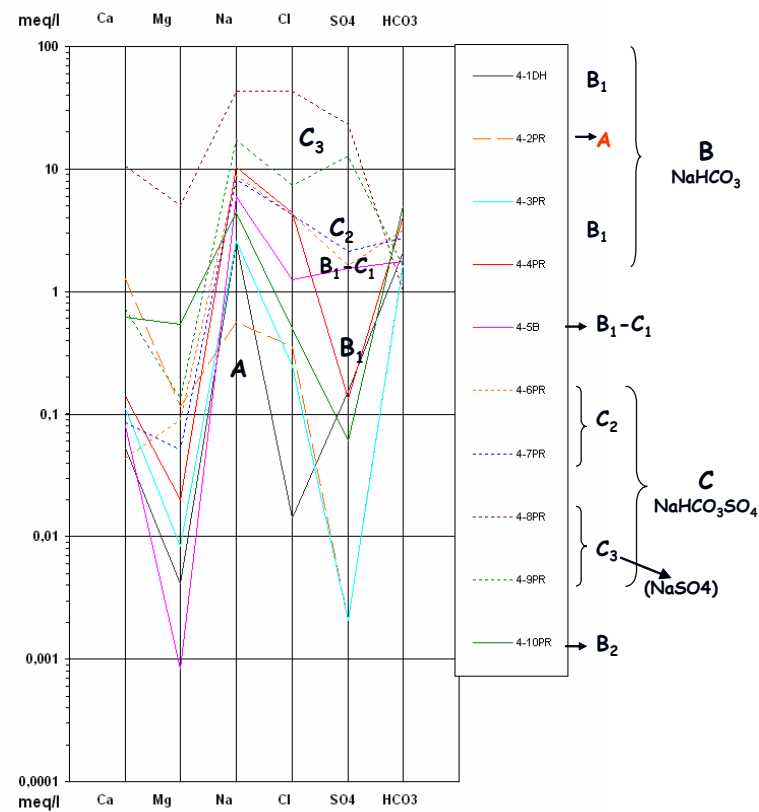


Fig. 5.37. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 4.



AGUAS TRANSECTO 5

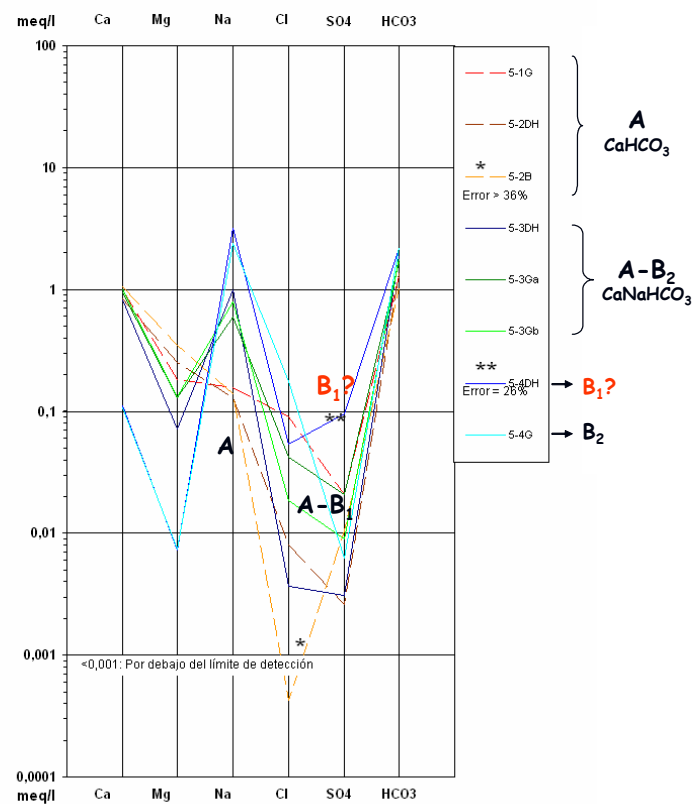


Fig. 5.38. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 5.

AGUAS TRANSECTO 6

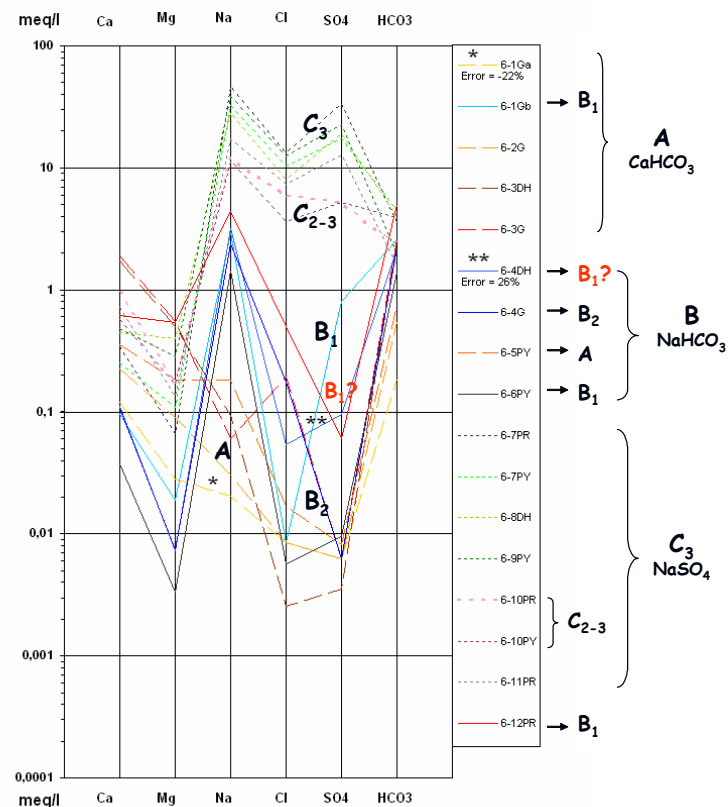


Fig. 5.39. Tipos hidroquímicos encontrados en las aguas subterráneas estudiadas del Transecto 6.



Aguas formaciones pre-SAG (Itararé, Tatui, Río Bonito)
Datos tomados de Meng y Maynard (2001)

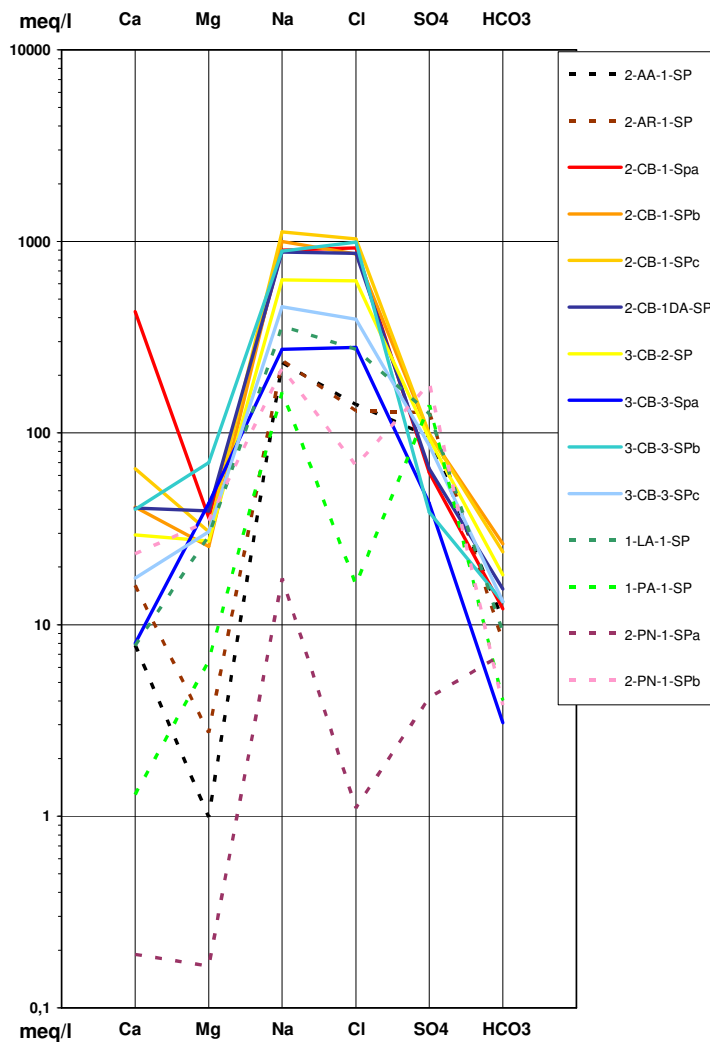


Fig. 5.42. Composición de 15 muestras de agua de formaciones sedimentarias del pre-SAG en el Estado de Sao Paulo (datos tomados de Meng y Maynard, 2001; elaboración propia).





AGUAS TRANSECTO 3

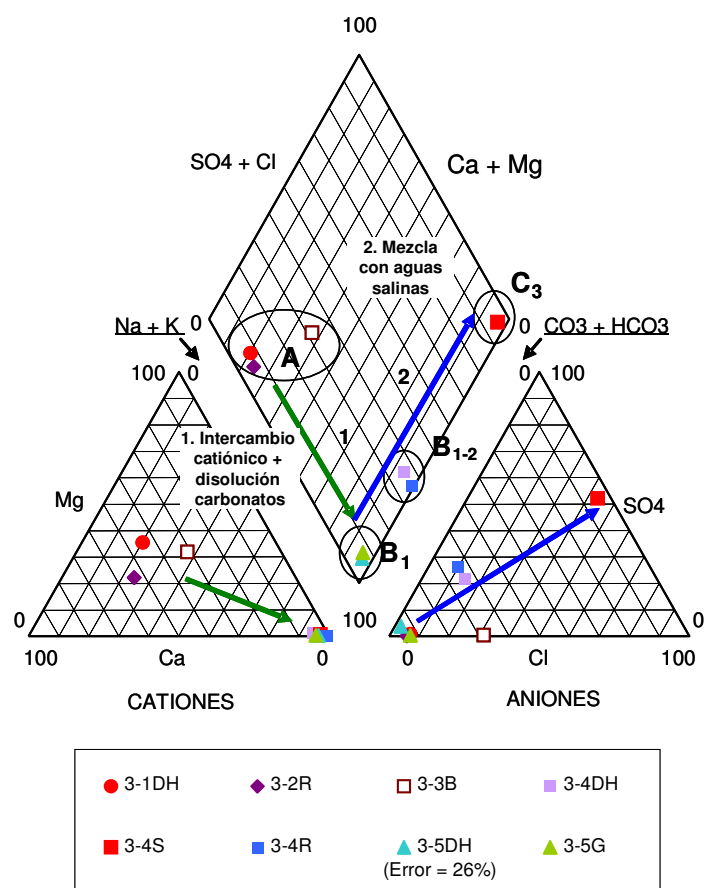


Fig. 5.45. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 3.

AGUAS TRANSECTO 4

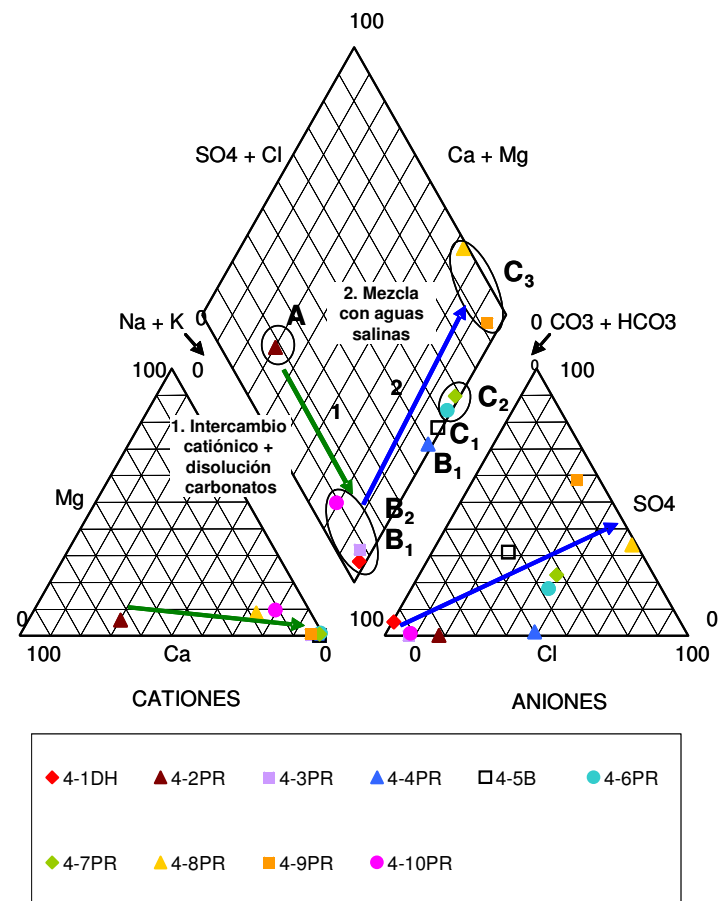


Fig. 5.46. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 4.



AGUAS TRANSECTO 5

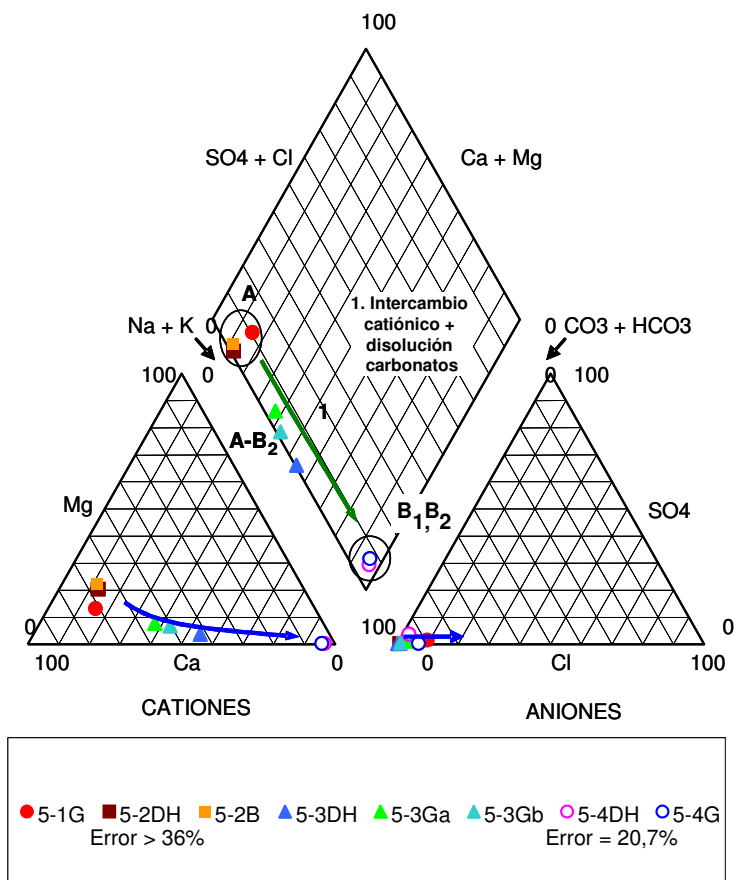


Fig. 5.47. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 5.

AGUAS TRANSECTO 6

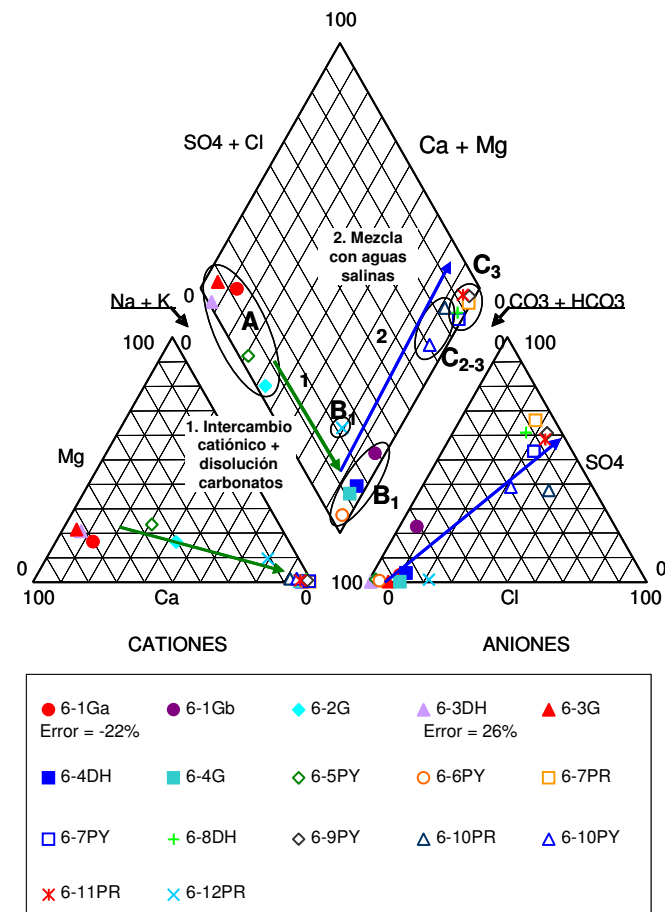


Fig. 5.48. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 6.



AGUAS TRANSECTO 8

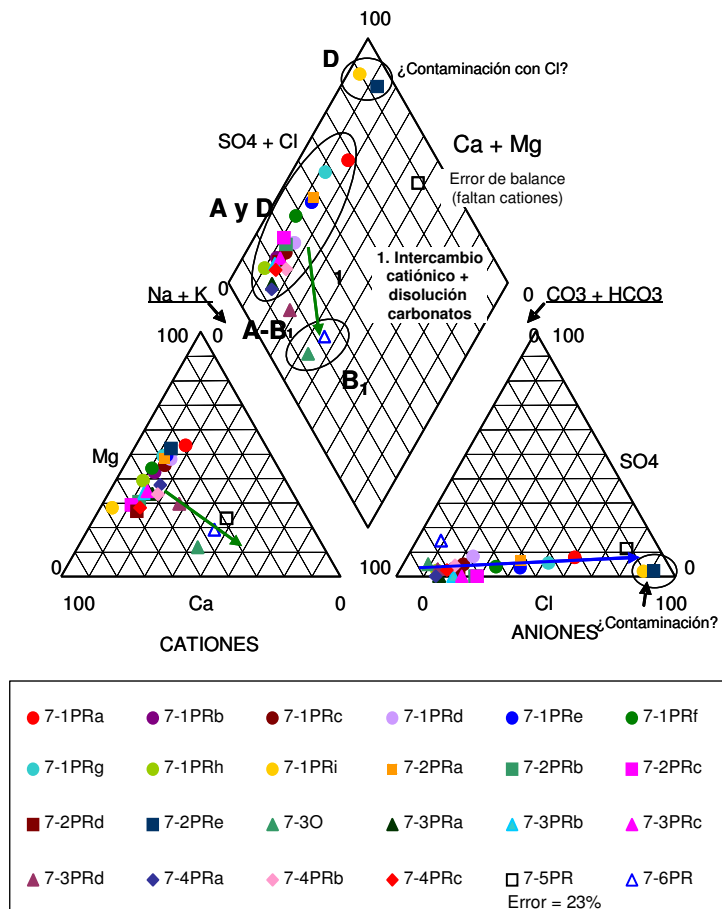


Fig. 5.49. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 7.

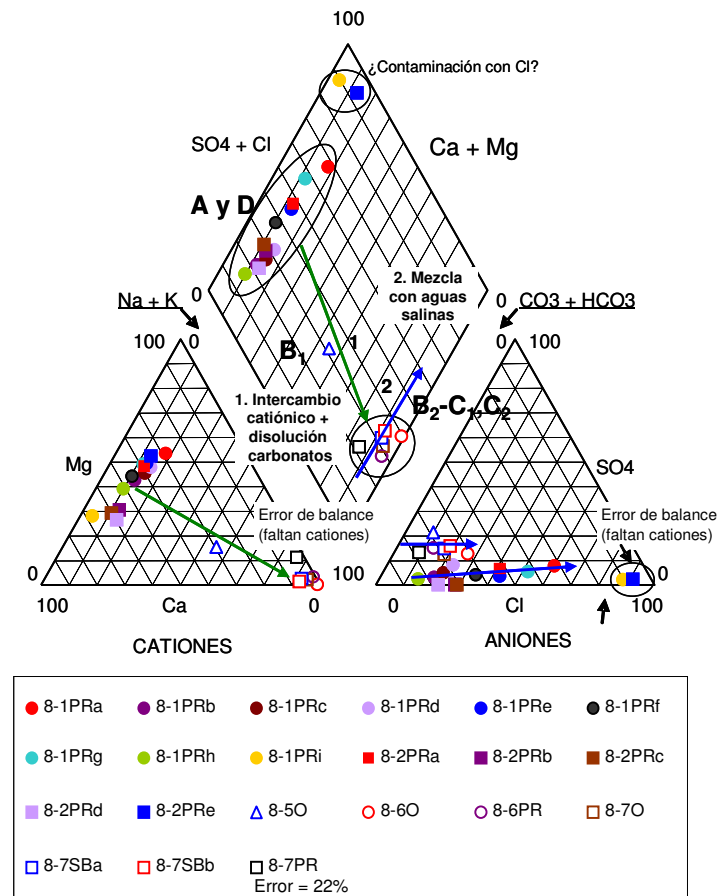


Fig. 5.50. Relación entre las distintas facies hidroquímicas del Transecto 8.

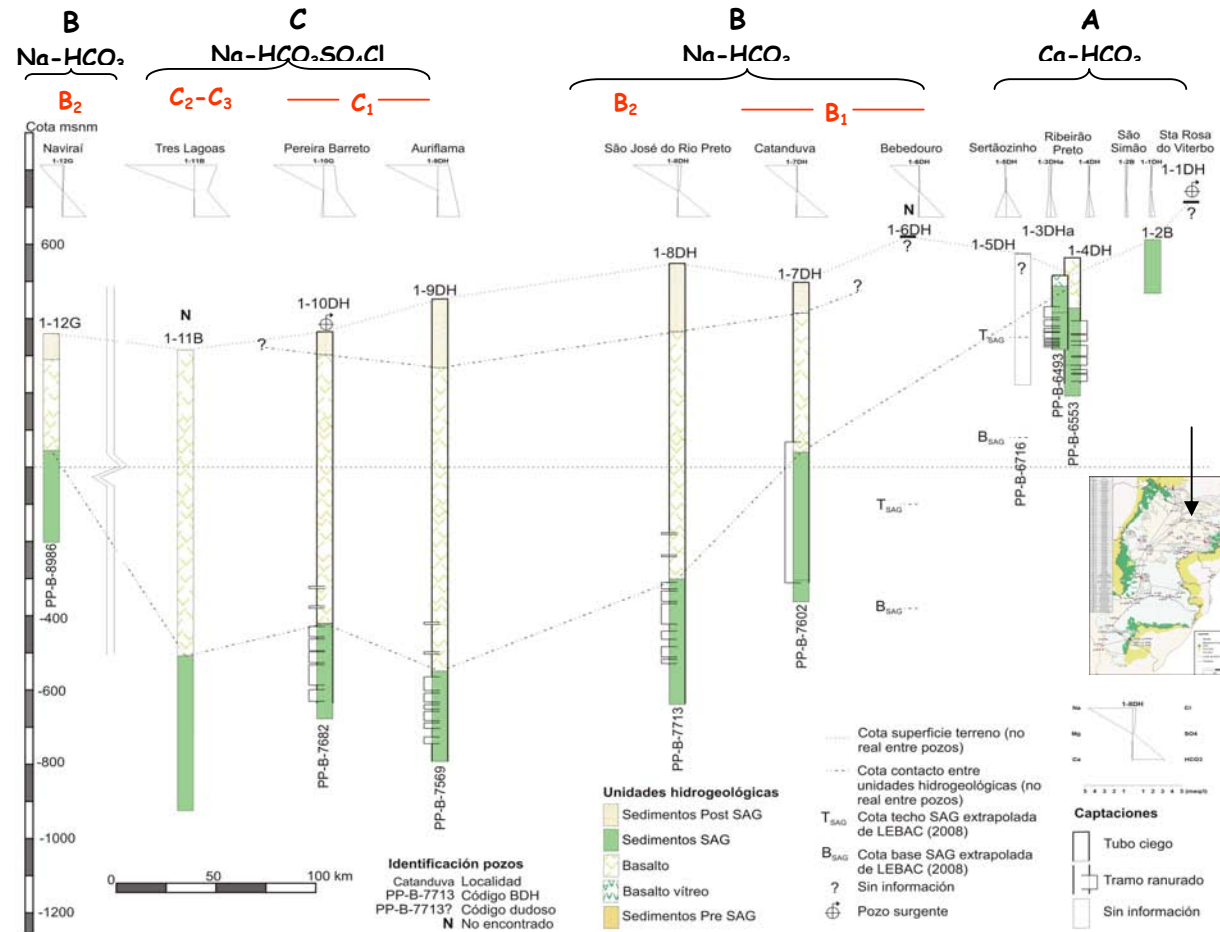


Fig. 5.51. Transecto hidrogeológico 1 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

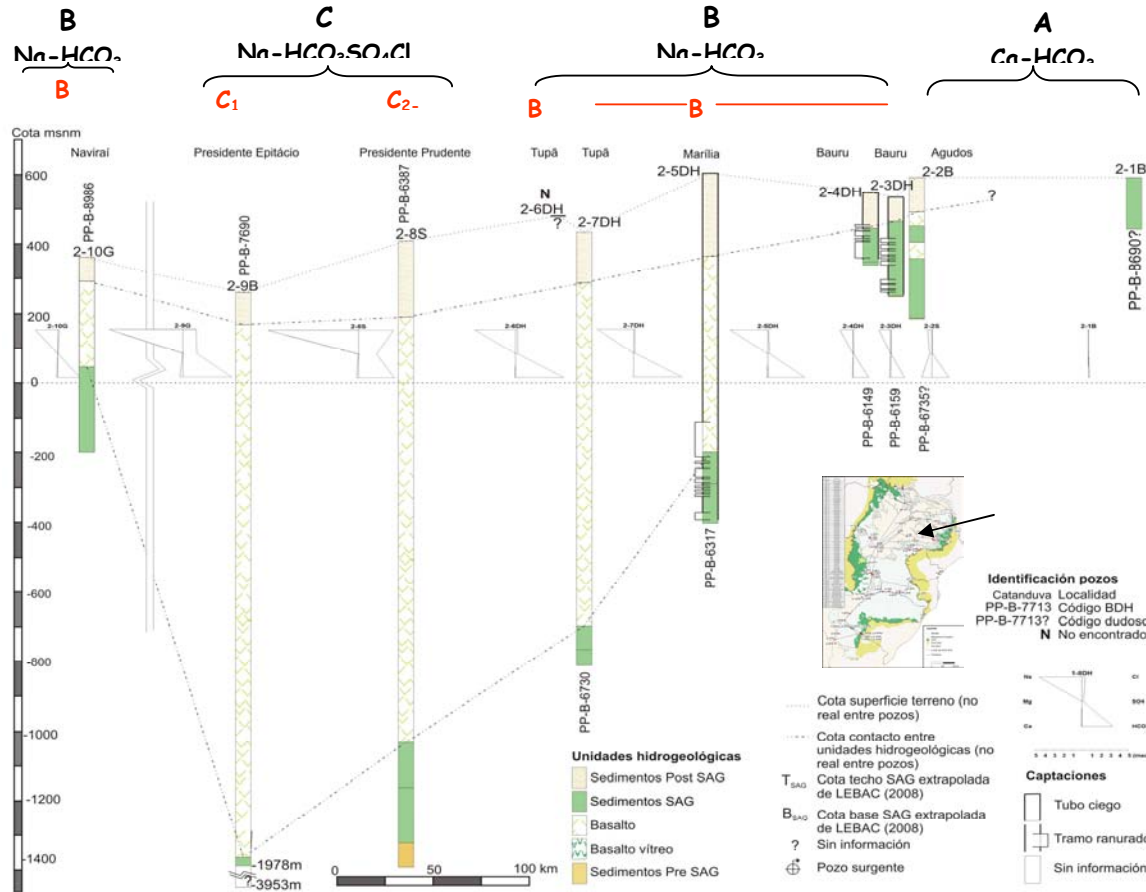


Fig. 5.52. Transecto hidrogeológico 2 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

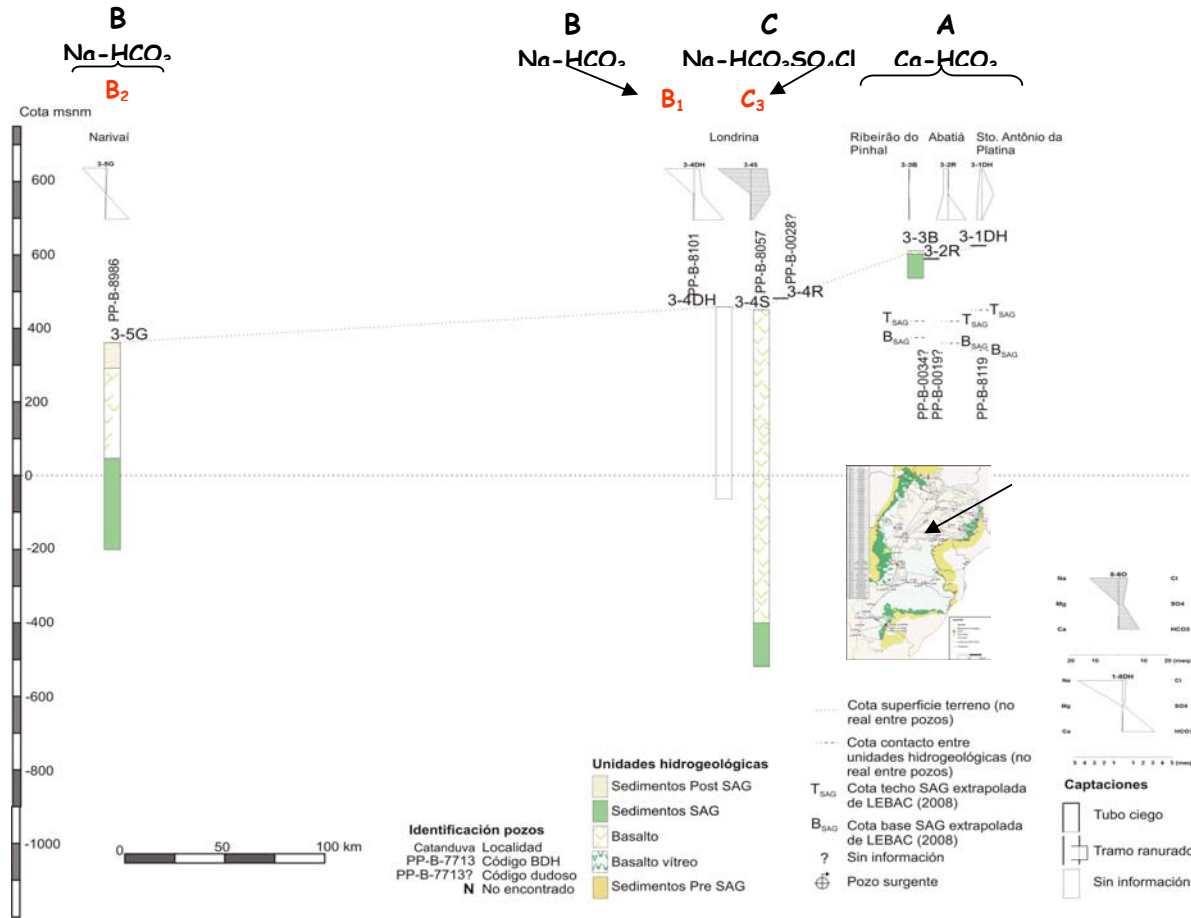


Fig. 5.53. Transecto hidrogeológico 3 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

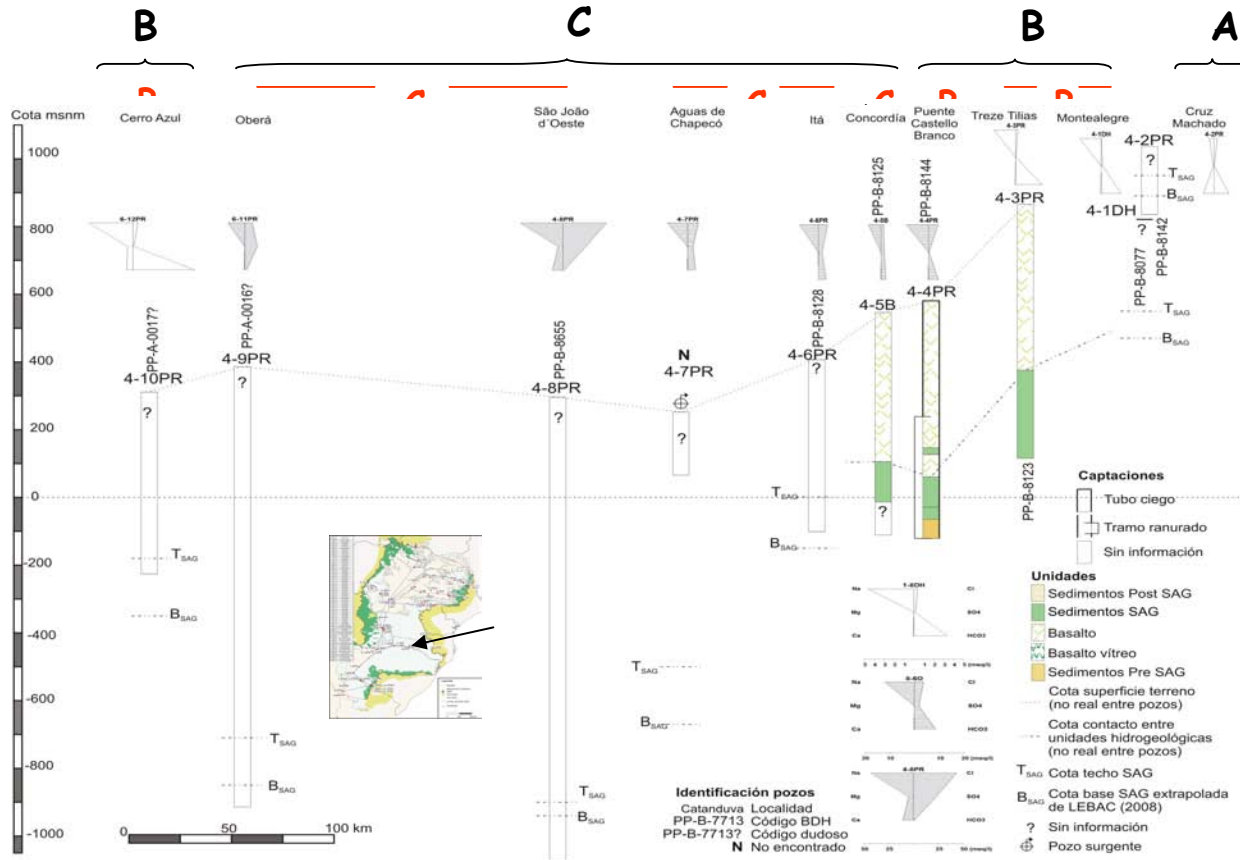


Fig. 5.54. Transecto hidrogeológico 4 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.



de Souza (2004)

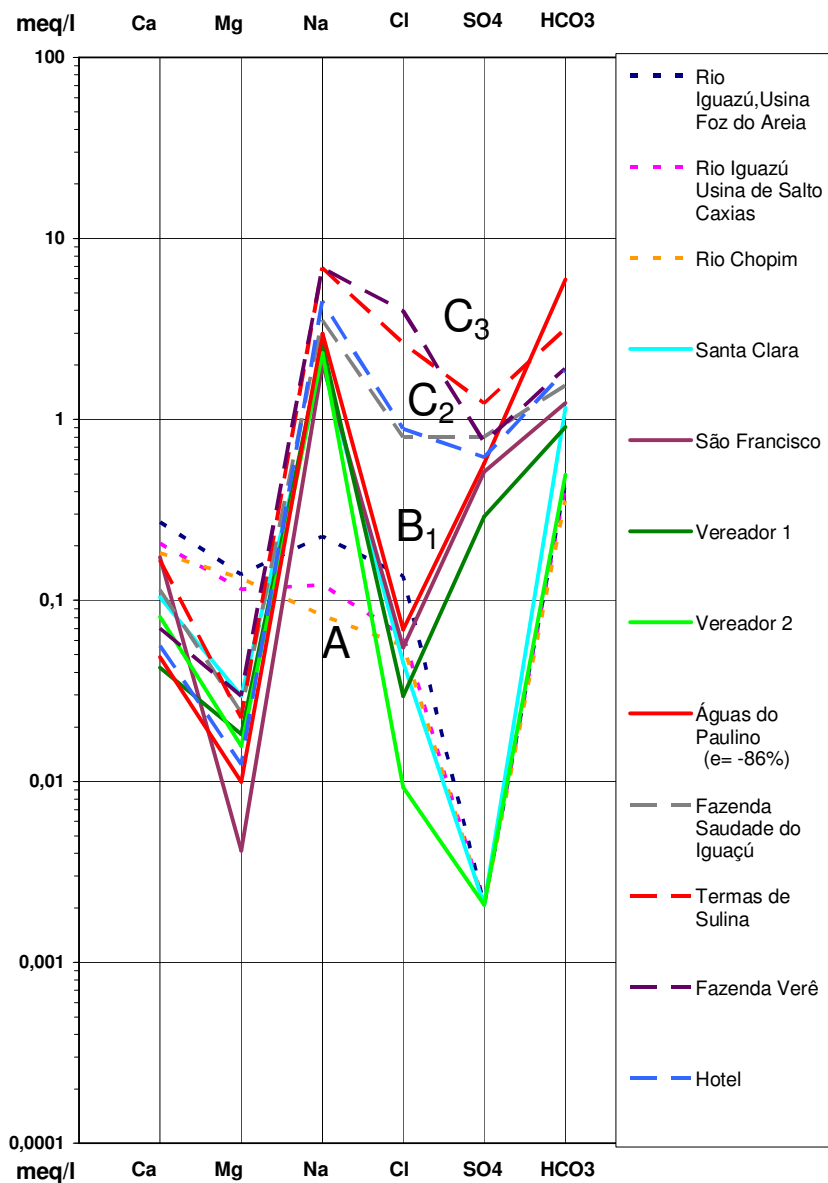


Fig. 5.55. Facies hidroquímicas de las aguas superficiales (ríos) y subterráneas (surgencias) muestreadas por De Souza (2004) en la cuenca del río Iguazú.

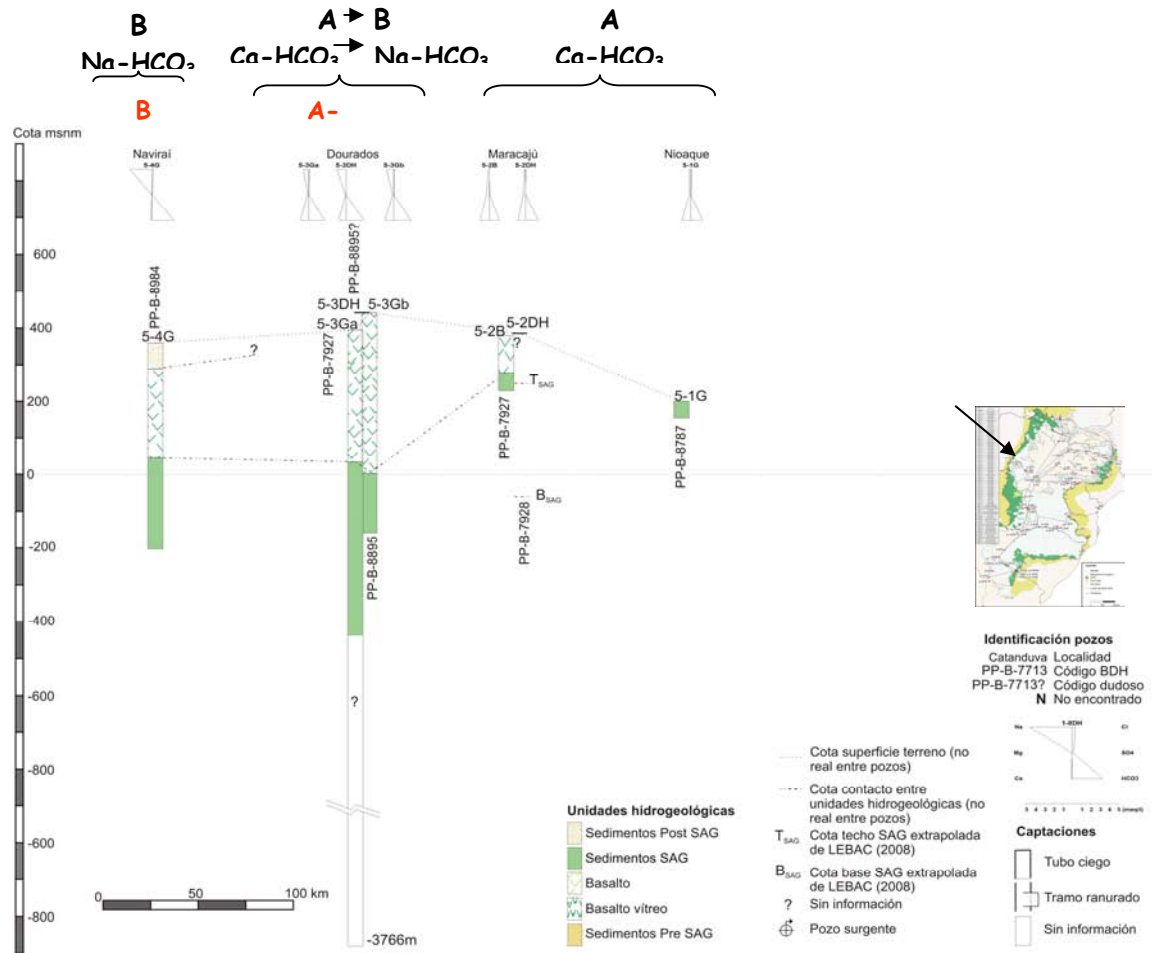


Fig. 5.56. Transecto hidrogeológico 5 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

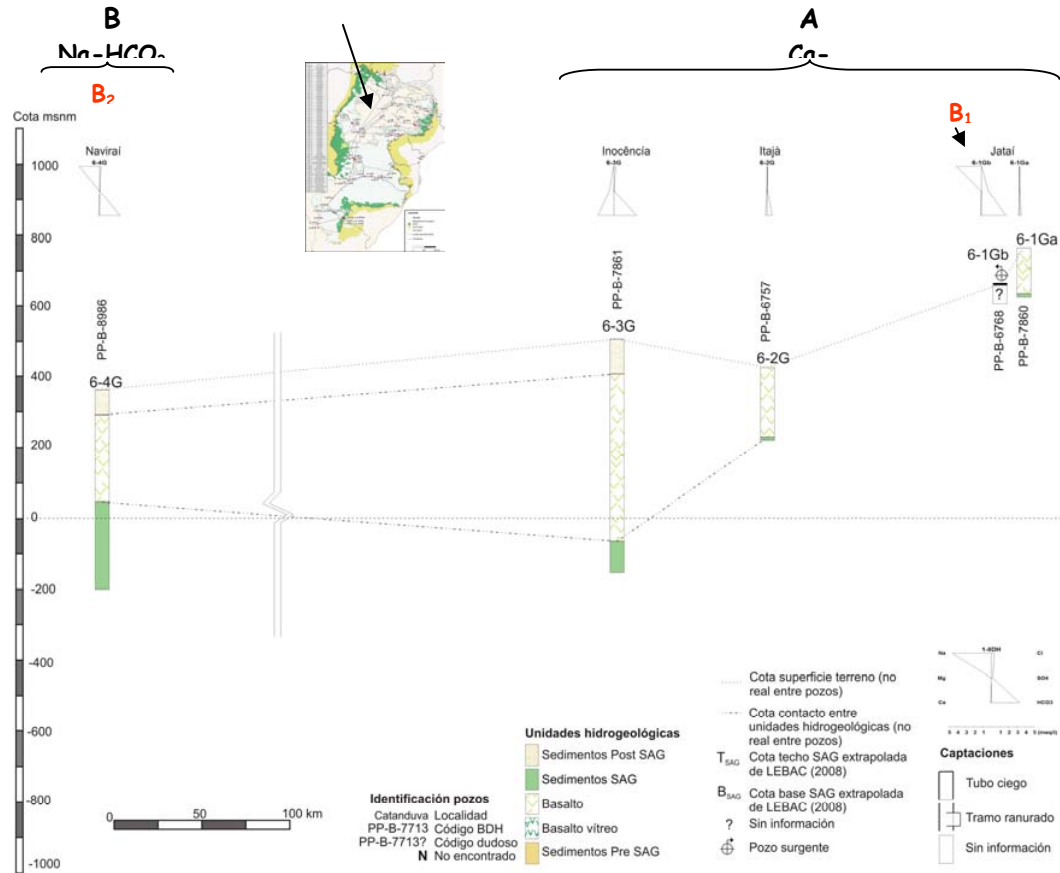


Fig. 5.57a. Sector N del transecto hidrogeológico 6 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

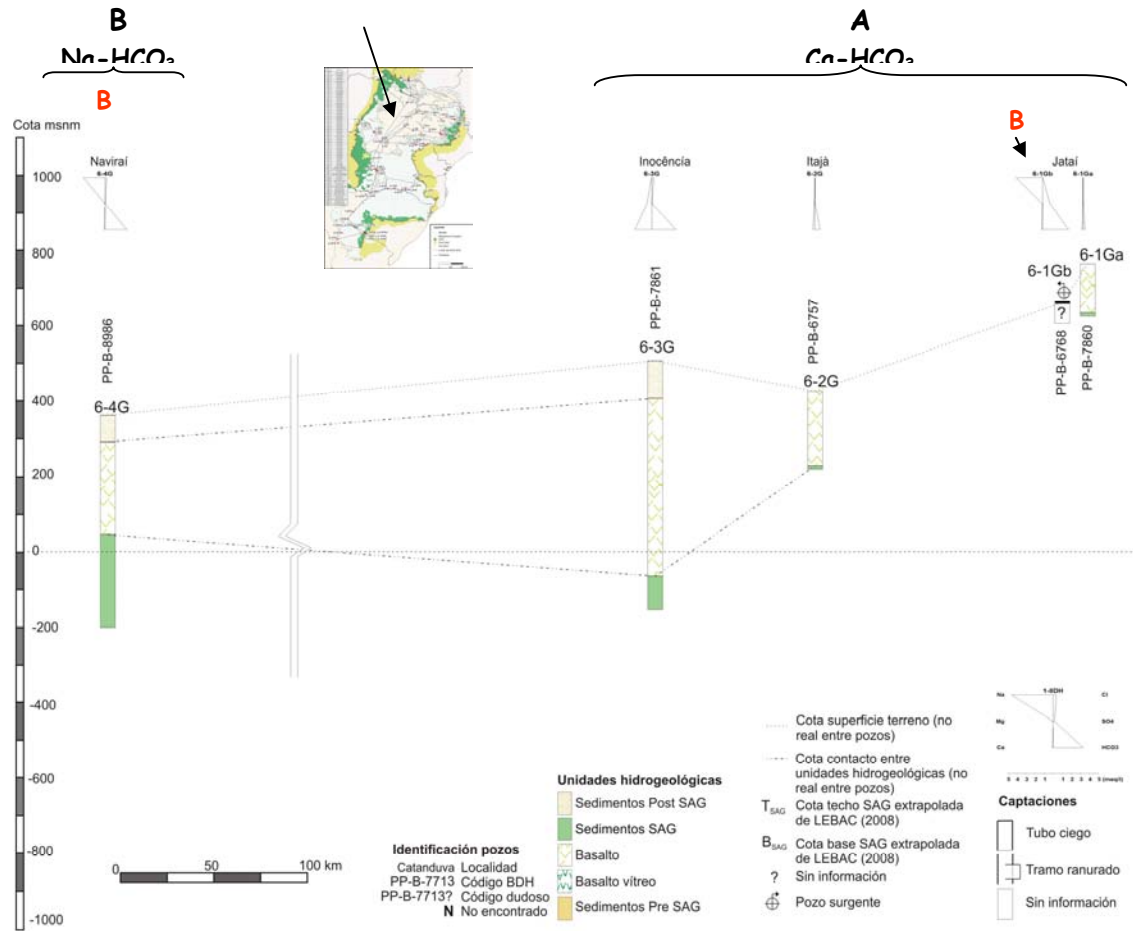


Fig. 5.57b. Sector S del transecto hidrogeológico 6 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

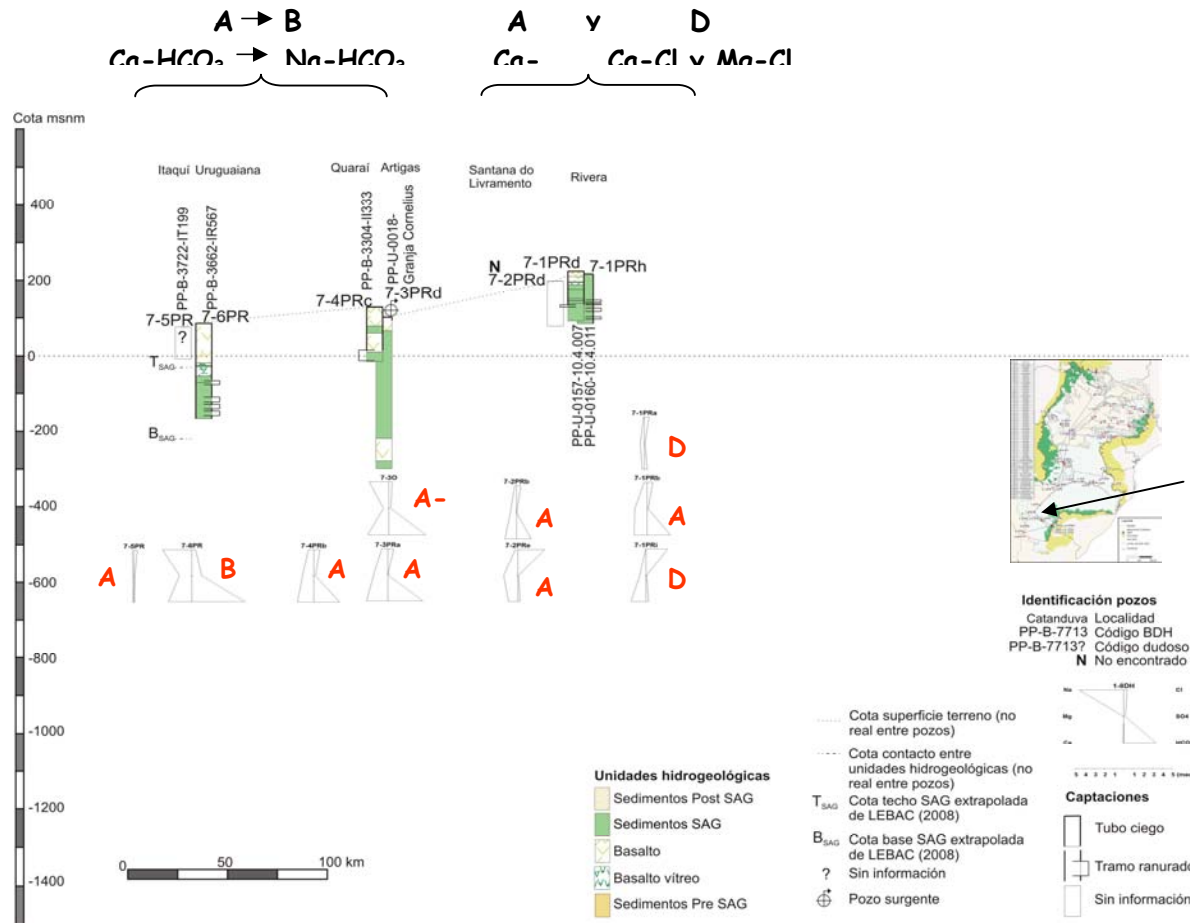


Fig. 5.58. Transecto hidrogeológico 7 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.

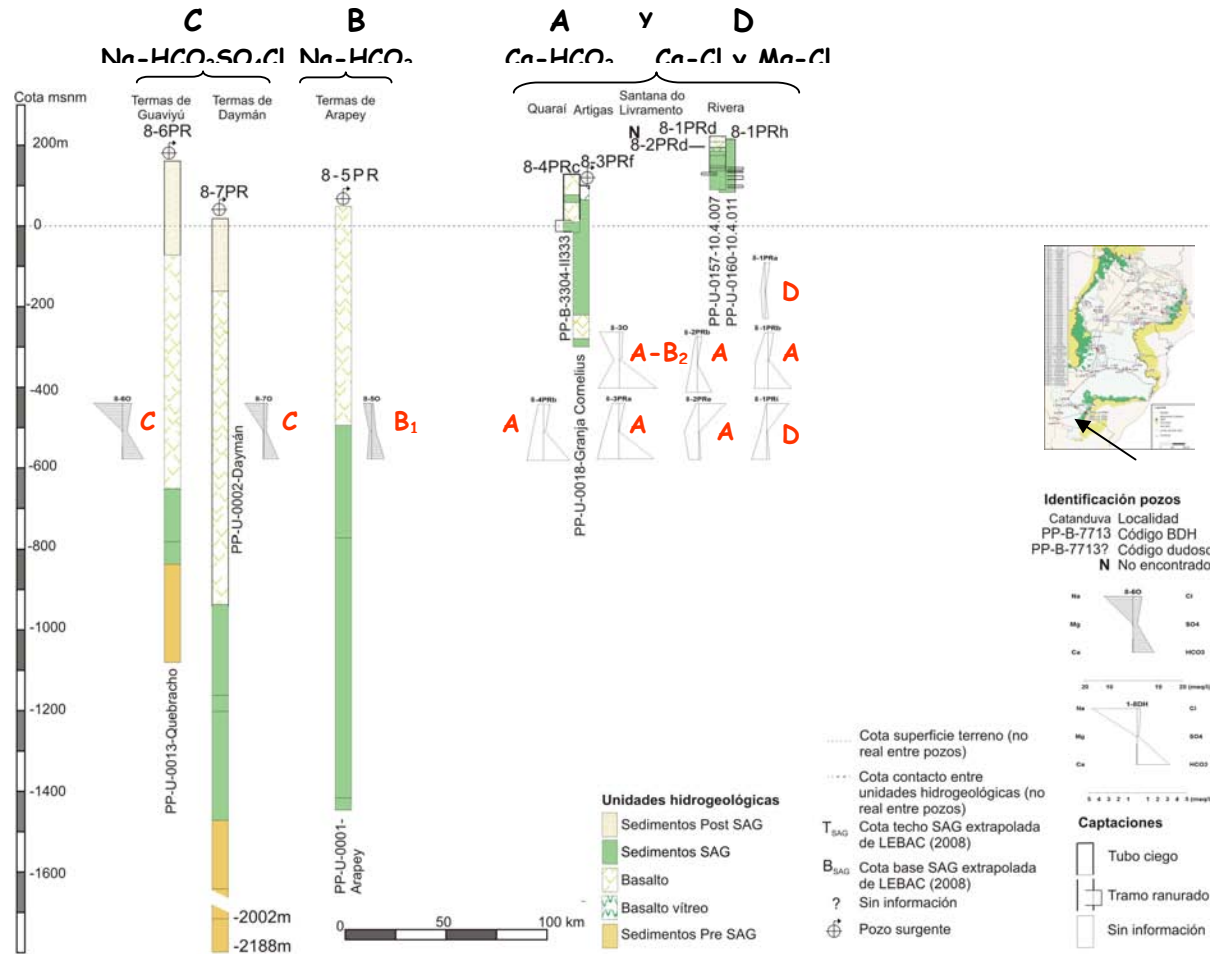


Fig. 5.59. Transecto hidrogeológico 8 con indicación de las facies hidroquímicas que aparecen en el mismo.



5.4 Distribución espacial de algunos componentes y parámetros químicos del agua del SAG y sus causas.

Tras el estudio del origen de la composición química del agua del SAG realizado en el Apartado 5.1 y la descripción de las causas de la evolución hidroquímica espacial a lo largo de transectos realizado en los apartados 5.2 y 5.3, se han confeccionado varios mapas de distribución regional de algunos parámetros físico-químicos. Los mapas elaborados corresponden a la distribución espacial del contenido del agua subterránea en sólidos disueltos totales (SDT), en sodio, en cloruro, en sulfato, en flúor, en alcalinidad y en dureza, así como la distribución espacial del valor del pH.

Para confeccionar estos mapas se ha usado toda la información química recopilada de trabajos antecedentes (la validada según los criterios mencionados en el Apartado 3.2), más la información también válida obtenida en el presente proyecto (Tablas A1.1 a A1.17 del Anexo 1). El objetivo de los mapas es proporcionar una visión de la distribución regional de algunas variables químicas significativas en el agua SAG y ver su coherencia con el modelo hidrogeoquímico conceptual que aquí se propone y con la red de flujo.

La primera versión de cada mapa ha sido realizada con la ayuda del interpolador automático del software Excel. Esta primera versión ha sido luego detalladamente revisada para detectar incongruencias con la hidrogeología y modificada “a mano” y con criterio hidrogeológico allí donde se ha considerado que la interpolación automática daba un resultado poco verosímil. No obstante, los mapas deben entenderse como una “interpretación” de la información disponible y, por tanto, están limitados tanto por la información usada como por el propio modelo conceptual del acuífero que tiene la persona que los confecciona.

A continuación se da una breve explicación de los mapas de forma integrada y de su relación con el modelo hidrogeoquímico conceptual que ha ido surgiendo de los apartados 5.1. 5.2 y 5.3.

Una visión general de los mapas de contenidos en solutos (mapas de SDT, Fig. 5.60; de Na, Fig. 5.61; de Cl, Fig. 5.62; de SO_4 , Fig. 5.63; de alcalinidad, Fig. 5.65, de dureza, Fig. 5.66 y de F, Fig. 5.67) revela, más o menos acusadamente, que la distribución espacial de los contenidos de esos solutos están fuertemente condicionados por las zonas del acuífero donde dominan las mezclas de aguas del SAG con aguas salinas ascendentes del pre-SAG. Dos zonas destacan especialmente por



la influencia de las aguas salinas ascendente: 1) límite E de Paraguay con Brasil y con Argentina, a lo largo del río Paraná; 2) límite entre los estados brasileños de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, a lo largo del río Uruguay. También es clara la existencia de mezcla con aguas salinas en el entorno de las ciudades de Cianorte y Malechar Cândido Rondón (Estado de Paraná).

Los mayores contenidos en sólidos disueltos medidos están en el pozos de la prefectura municipal de Sao Joao d'Oeste, cerca de la frontera entre los estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul y Misiones. También las aguas del entorno de Ciudad el este (Paraguay) presentan contenidos muy elevados de casi todos los solutos. En los apartados anteriores se ha visto que el valor de ciertas relaciones iónicas en las aguas de esos pozos indica que son mezcla de aguas de tipo Na-HCO_3 (Tipo B, aguas cuya composición procede principalmente de intercambio iónico y disolución de carbonatos) con aguas que han estado en contacto con sales evaporíticas. En el Apartado 6.3 se realiza una estimación de las proporciones de agua del pre-SAG y agua de recarga en el SAG que puede tener este pozo y también de las modificaciones hidrogeoquímicas que esa mezcla produce en los estados de saturación mineral y en condiciones de las aguas para interaccionar con los minerales del terreno.

Las mezclas de aguas de tipo Na-HCO_3 (Tipo B) con aguas salinas de tipo Na-Cl/SO_4 (Tipo C) deducidas en los apartados 5.1 y 5.2 para las aguas subterráneas de Londrina (Estado de Paraná), Presidente Prudente, Presidente Epitácio, Tres Lagoas o Sao José do Rio Preto (Estado de Sao Paulo) no son tan evidentes en estos mapas, quizás porque la proporción de agua salina en las mezclas es menor y algunos parámetros químicos no se modifican significativamente. No obstante, los mapas de SDT (Fig. 5.60), alcalinidad (Fig. 5.65) y F (Fig. 5.67) muestran claramente el aporte de aguas profundas en esas zonas.

Como se visto en el Apartado 5.1 el F parece estar vinculado principalmente a las aguas en salinas del pre-SAG. Como esta parece ser la principal (si no la única) fuente de F, la presencia de F en concentraciones superiores a las traza sería una clara indicación de la existencia de flujos ascendentes de aguas salinas. La existencia de varios pozos en Rio Grande do Sul con concentraciones de F del orden de 2, 4 y 6 mg/L indicaría que el borde S del acuífero es una zona de flujos ascendentes, es decir de descarga. Esto es coherente con lo que indican los mapas de SDT (Fig. 5.60), de alcalinidad (Fig. 5.65) y pH (Fig. 5.64). También es coherente con la piezometría regional.



Existe información bibliográfica sobre contenidos elevados de F en el borde NE del afloramiento del SAG en el Estado de Sao Paulo (hasta 64 mg/L reportados, Tonetto y Bonotto, 2005). Los autores del estudio los relacionan con las aguas de la Formación Tubarao, infrayacente al SAG.

Por último, también existe mezcla con aguas salinas en el sector SO del acuífero, desde aproximadamente el río Uruguay hacia el oeste. La salinidad de esta agua es tan elevada que, a efectos de una mayor visibilidad de los mapas, se ha optado por no dibujarlos en detalle en esa zona.

Fuera de las zonas donde la hidroquímica está claramente condicionada por la mezcla con aguas salinas los cambios hidroquímicos son mínimos pero existen, y no se reflejan claramente en los mapas debido a la escala espacial y también debido a la escala elegida para dibujar las isolíneas. Como se ha visto en el Apartado 5.3, en las zonas donde dominan las aguas de Tipo B (Tipo Na-HCO_3) las aguas son en general poco mineralizadas, pero comparando unas con otras es posible detectar pequeños cambios sistemáticos de concentración, especialmente de Cl y de SO_4 , que indican también la existencia de mezclas (en proporciones muy pequeñas) con aguas más salinas.

En resumen, los mapas confeccionados informan de las zonas donde la composición química del agua del SAG depende principalmente de la mezcla con aguas salinas de formaciones más profundas, y de las zonas donde la composición química depende principalmente (aunque existan otras reacciones) de los procesos de intercambio iónico y disolución de carbonatos por parte del agua que se recarga en las zonas de afloramiento del SAG. Las áreas donde domina el efecto de las mezclas son zonas donde dominan los flujos verticales (ascendentes desde formaciones infrayacentes al SAG), los cuales estarán condicionados por la estructura geológica.

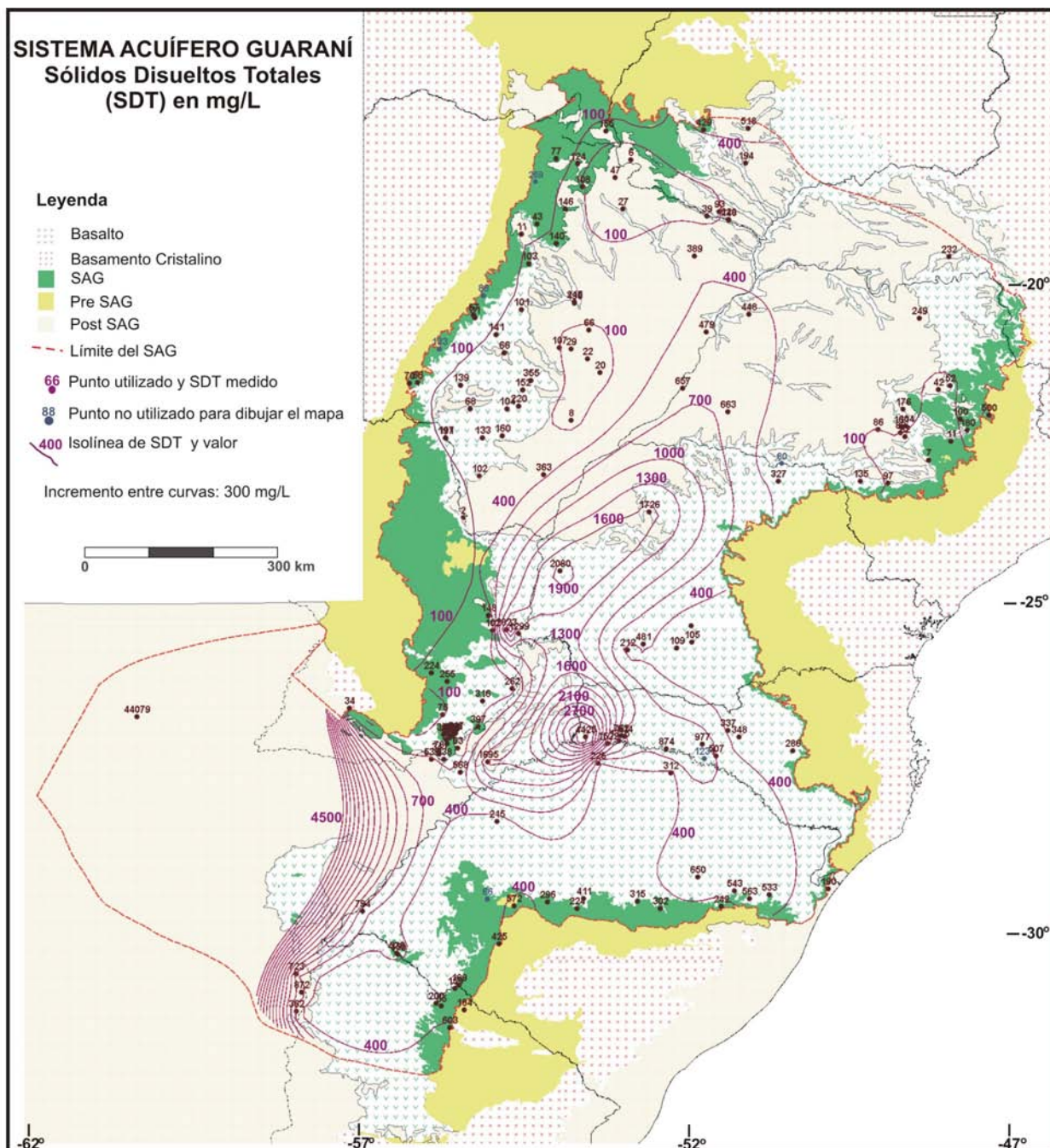


Fig. 5.60. Mapa de distribución regional del contenido en sólidos disueltos totales en las aguas del SAG.

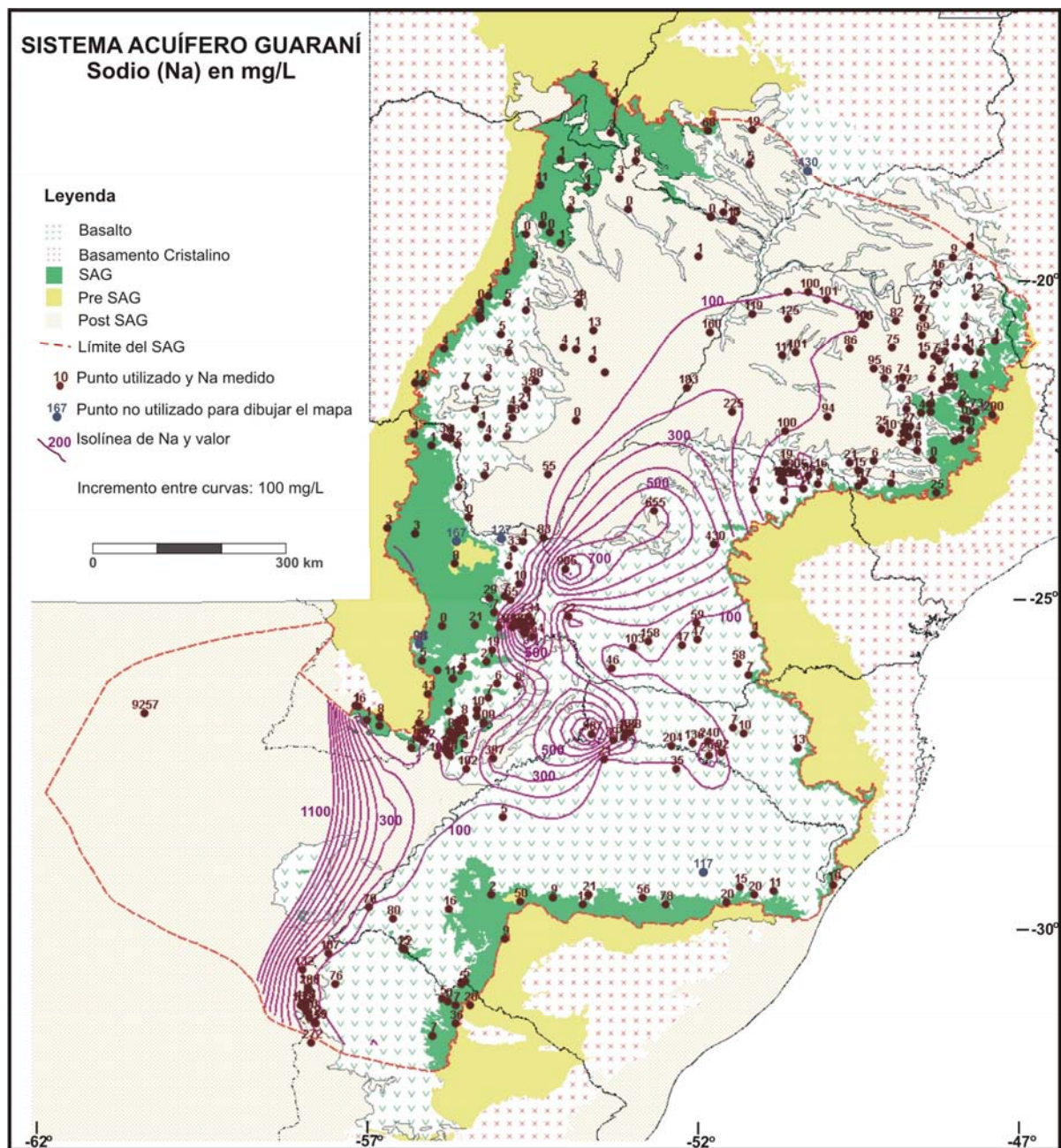


Fig. 5.61. Mapa de distribución regional del contenido de Na en las aguas del SAG.

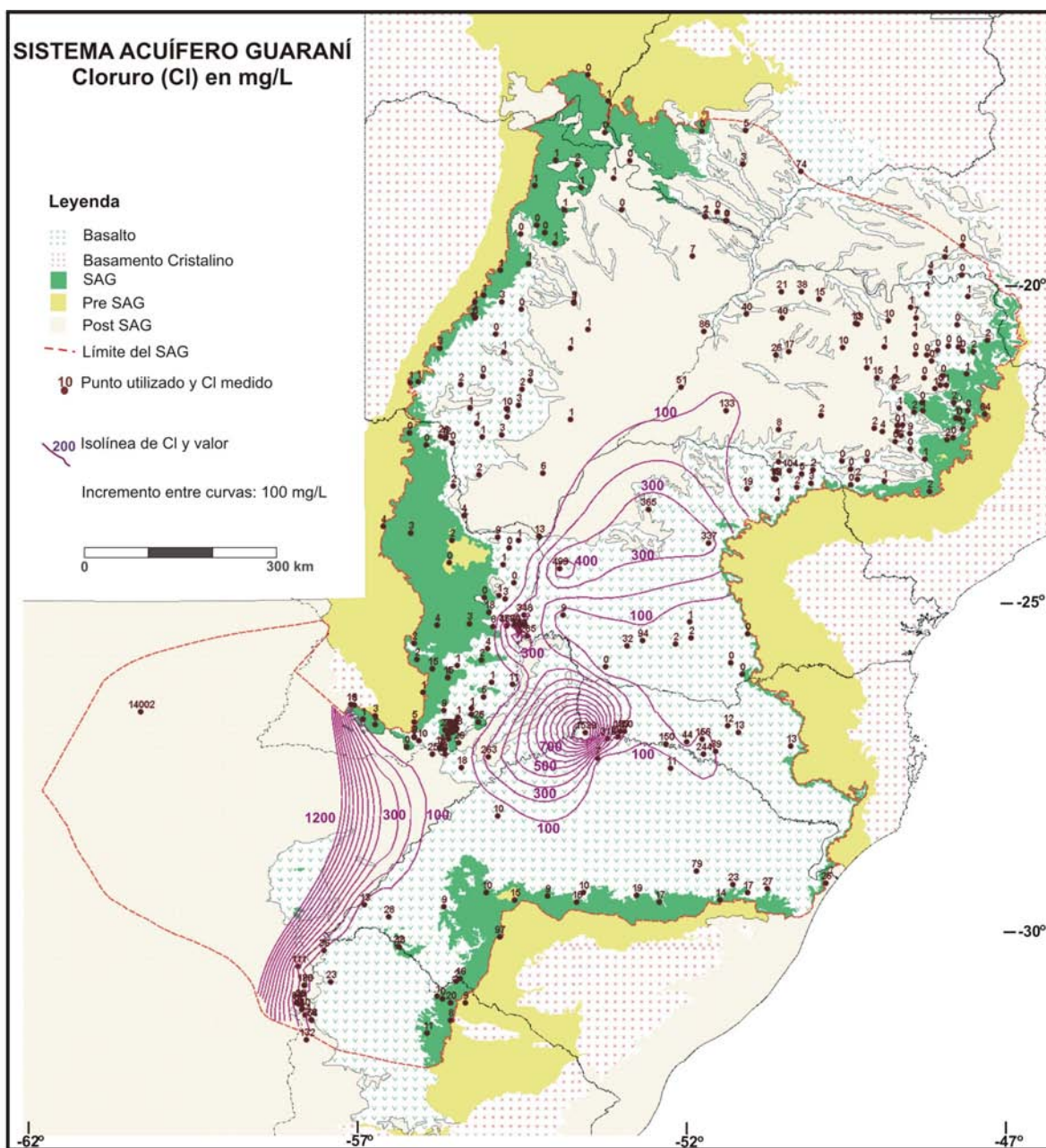


Fig. 5.62. Mapa de distribución regional del contenido de Cl en las aguas del SAG.

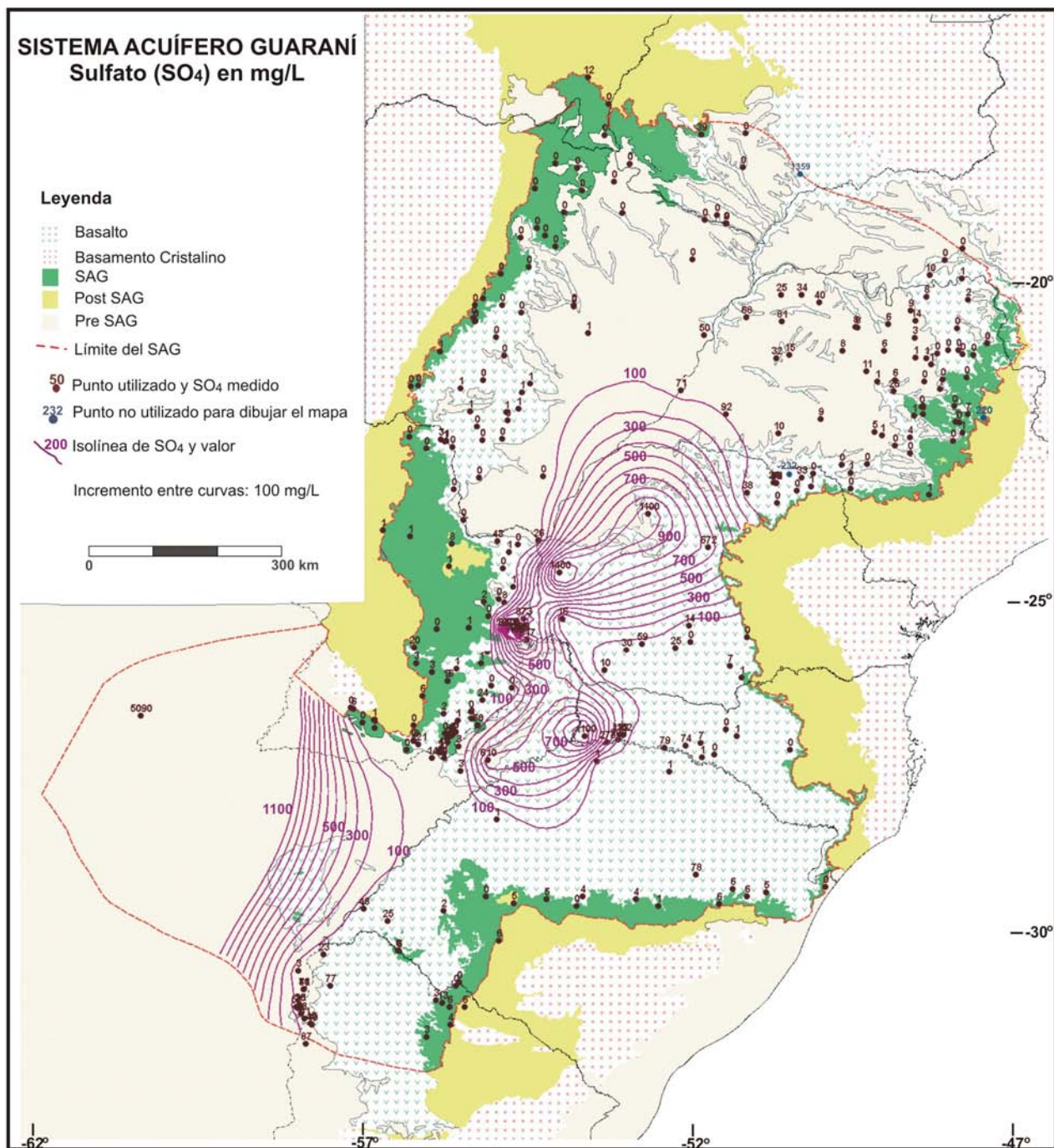


Fig. 5.63. Mapa de distribución regional del contenido de SO_4 en las aguas del SAG.

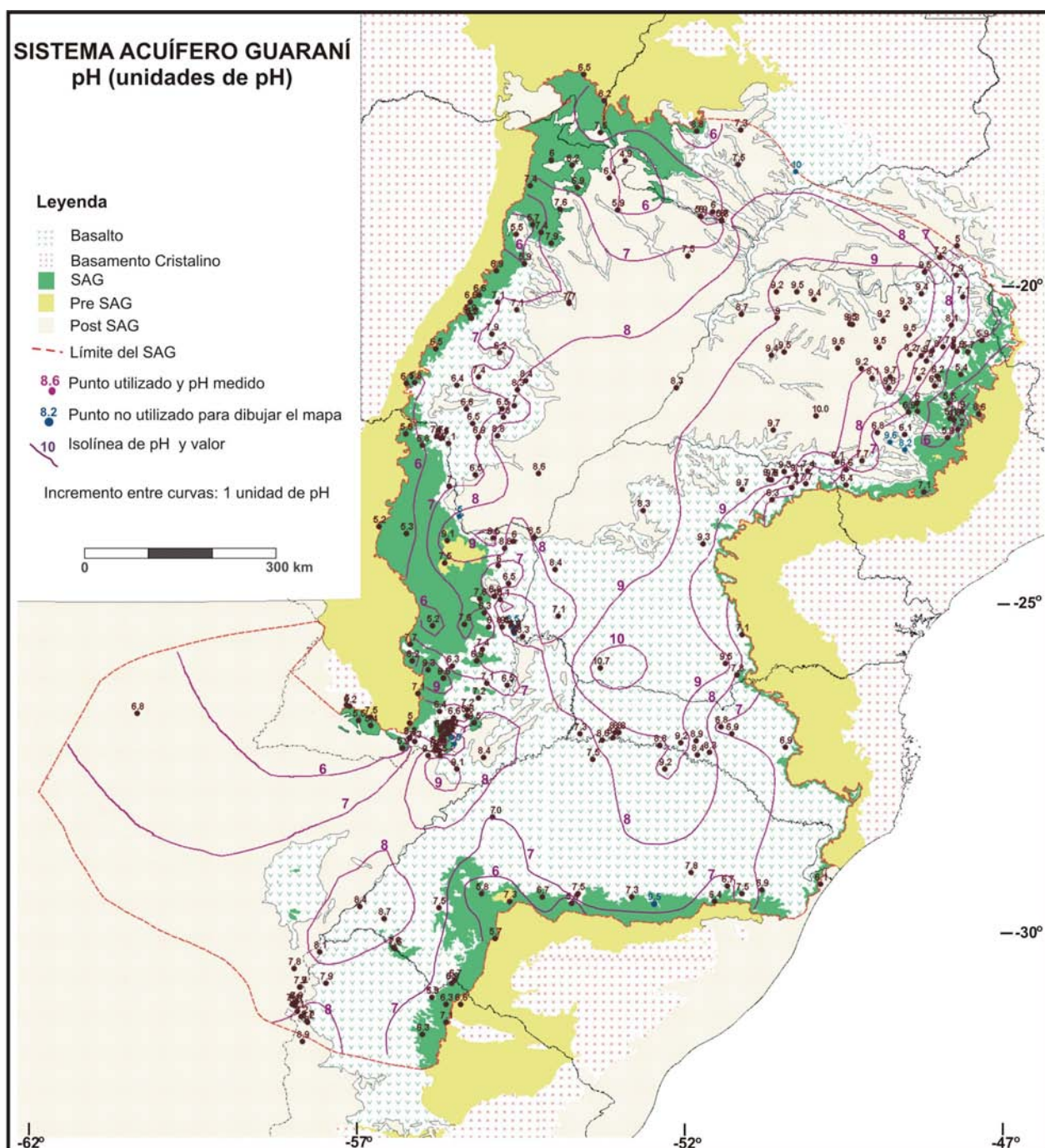


Fig. 5.64. Mapa de distribución regional del valor del pH en las aguas del SAG.

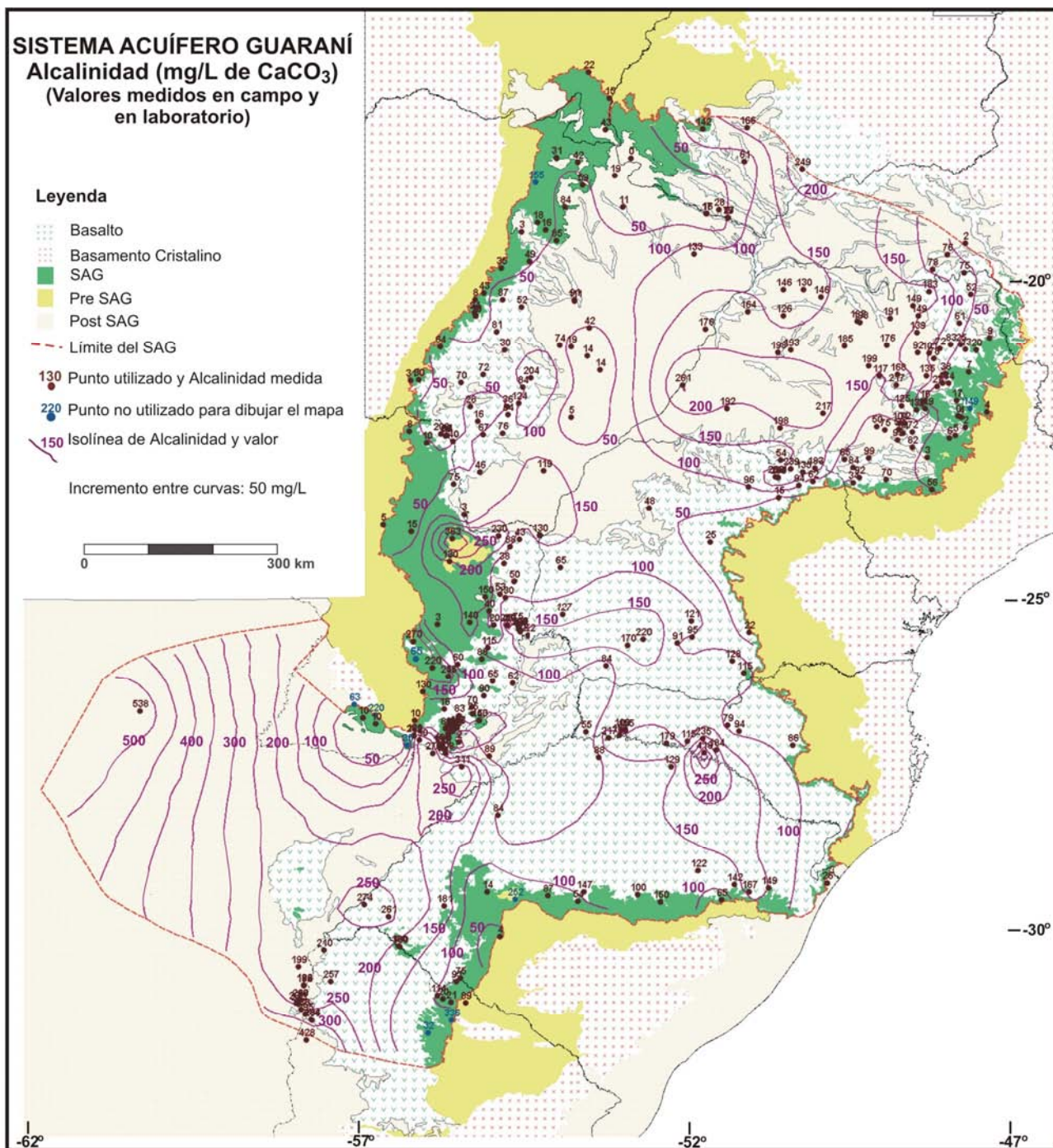


Fig. 5.65. Mapa de distribución regional del valor de la Alcalinidad en las aguas del SAG.

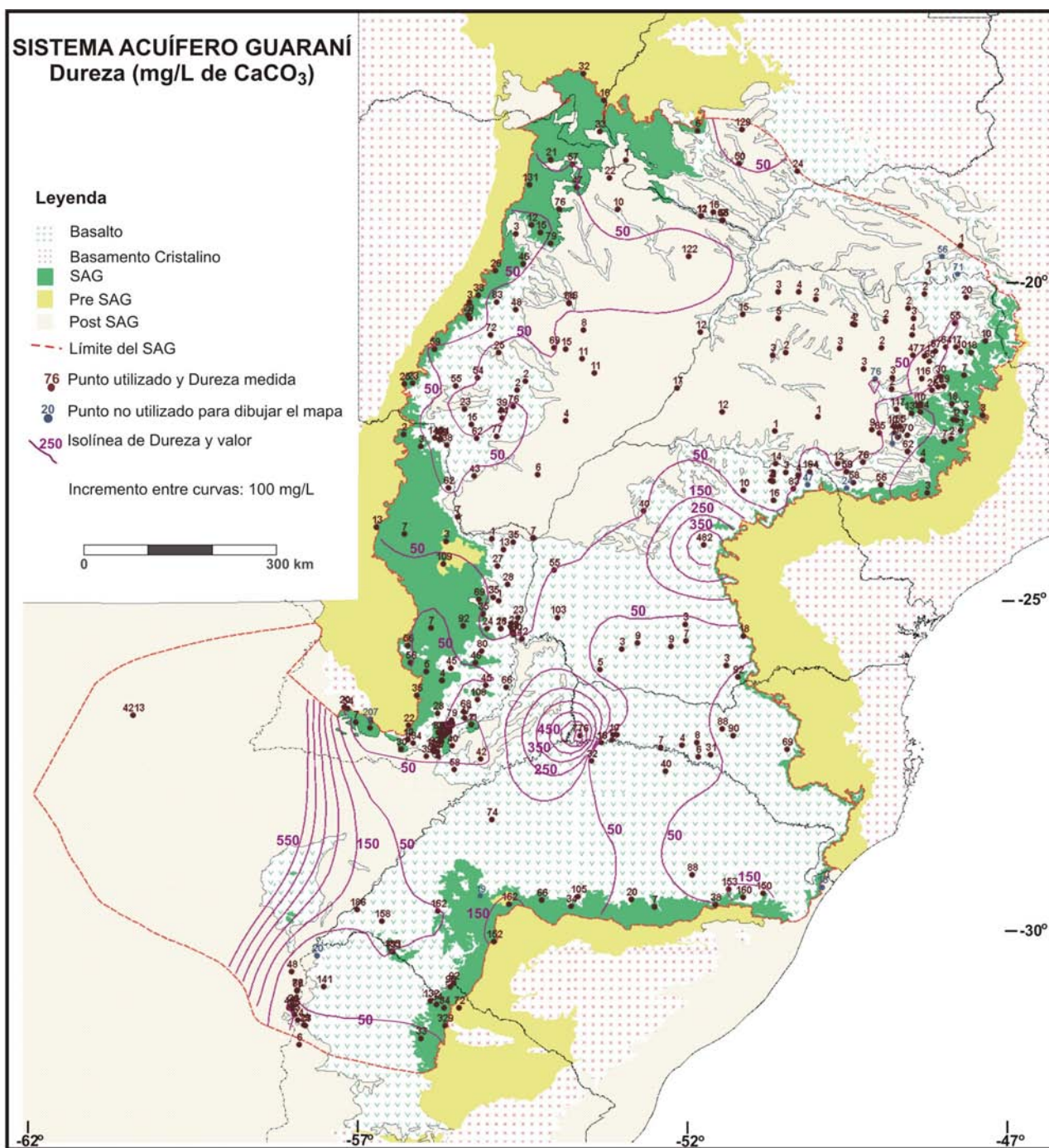


Fig. 5.66. Mapa de distribución regional del valor de la Dureza en las aguas del SAG.

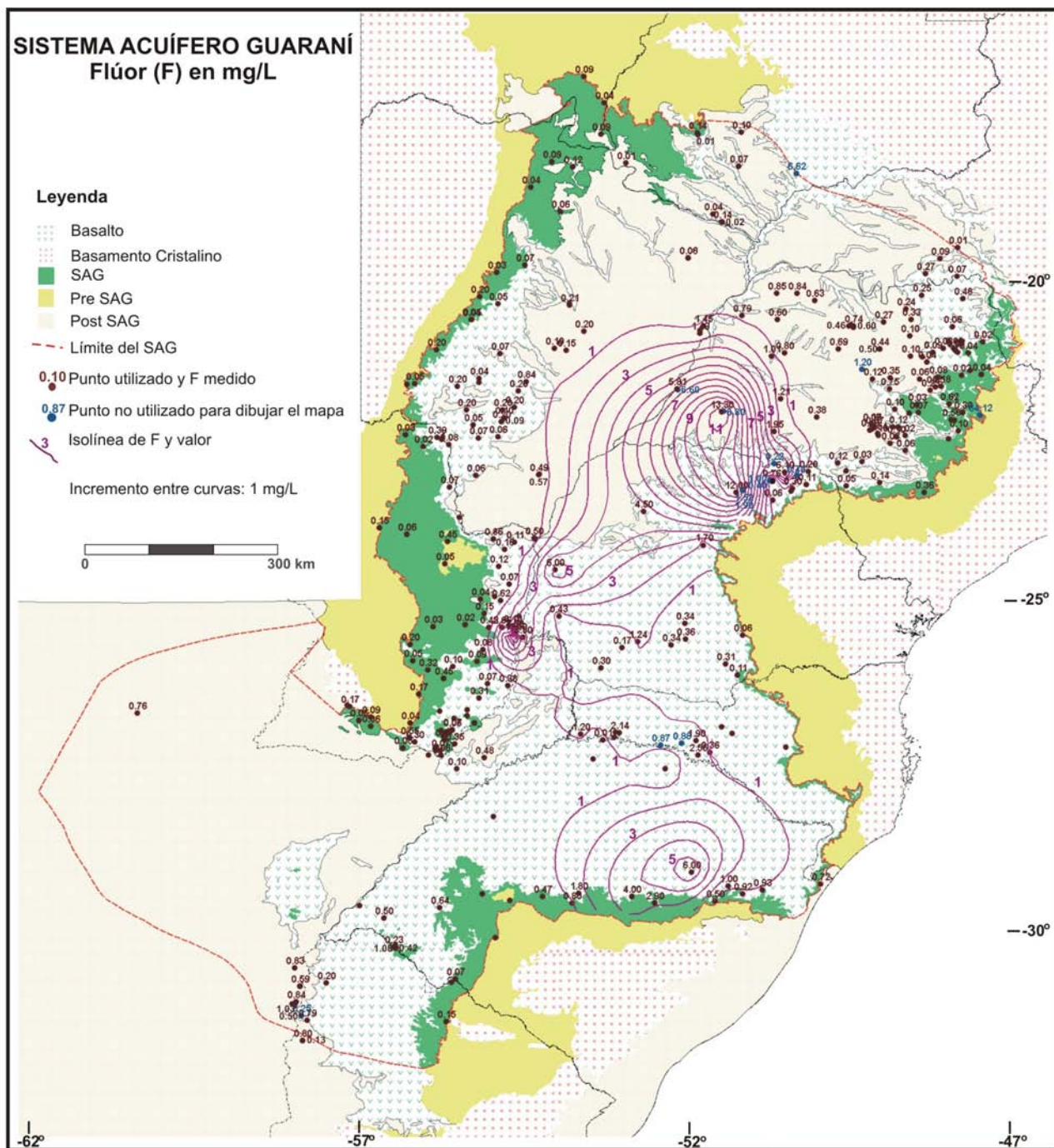


Fig. 5.67. Mapa de distribución regional del contenido en F de las aguas del SAG.



5.5 Síntesis del modelo conceptual sobre el origen de la composición química del agua del SAG

En la Fig. 5.68 se expone, de manera esquemática, una síntesis del modelo hidrogeoquímico conceptual que se deriva de las descripciones y discusiones de los apartados anteriores. De manera sintética, el modelo describe los principales procesos hidrogeoquímicos responsables de la composición química del agua subterránea del SAG y el tipo de facies química resultante. Ambos aspectos se relacionan con los procesos hidrodinámicos dominantes en cada zona de la siguiente forma:

- **Zonas de recarga:** dominan los procesos de infiltración del agua de lluvia y los flujos verticales descendentes. La lluvia infiltrada disuelve CO_2 , minerales carbonatados (calcita y dolomita, si las hay) y sílice, pero el resultado es un agua muy poco mineralizada, subsaturada en calcita y cuarzo y de facies $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-HCO}_3$. La relación Na/Cl está en torno a 1, y la relación Cl/SO_4 es muy mucho mayor de 1, reproduciendo la lluvia local.

Localmente, en algunas zonas de afloramiento del SAG se hallan aguas relativamente salinas. Esas zonas, simultáneamente, áreas de recarga local y de descarga regional. Las aguas de recarga local son contemporáneas, pero las de descarga regional suelen ser antiguas (ver estudio isotópico).

- **Zonas de confinamiento intermedio:** dominan los procesos de flujo subhorizontal, es decir, desplazamiento a través de las formaciones del SAG de las aguas recargadas en las zonas de afloramiento. El proceso hidrogeoquímico dominante es el intercambio iónico de Na adsorbido por Ca (y posiblemente Mg) en solución, el cual origina aguas de facies Na-HCO_3 y subsaturadas en minerales carbonatados, lo que a su vez fomenta la disolución de calcita y, si están presentes, de silicatos de Ca. Como resultado, la relación Na/Cl es mucho mayor de 1.

Localmente hay mezcla en pequeñas proporciones con otras aguas más salinas, lo que hace que la relación Cl/SO_4 se acerque a 1 y los contenidos de F en esas aguas sean superiores, rondando e incluso superando 1 mg/L. Esto ocurre en zonas donde hay flujos verticales predominantemente, los cuales están favorecidos por la estructura geológica allí donde hay fracturas y otras superficies de discontinuidad como las paredes de los diques.



- **Zonas de confinamiento elevado:** dominan los flujos ascendentes desde formaciones infrayacentes al SAG, lo que hace que las reacciones hidrogeoquímicas principales estén condicionadas por las características químicas de las mezclas locales. Estas mezclas tiene lugar entre las aguas procedentes de las zonas de recarga del SAG, ya modificadas en las áreas de confinamiento intermedio, y aguas más salinas y profundas. Es muy posible que incluso las aguas de la formación Serra Geral estén químicamente marcadas por la composición de las aguas más profundas, tanto del SAG como de las formaciones infrayacentes a Éste.

Al igual que ocurre en las zonas de intrusión marina de los acuíferos costeros, en las zonas donde hay flujos ascendentes de aguas más salinas el Na aportado por éstas se adsorbe en la superficie de las partículas de arcilla, intercambiándose con Ca (y posiblemente con Mg, aunque en menor proporción). Como resultado, las aguas mezcla pierden Na y ganan Ca. La relación Na/Cl sigue estando alrededor de 1, pero la calcita llega a sobresaturar, induciendo la precipitación de este mineral. Además, las aguas mezcla más salinas son las que tienen mayores contenidos de F (> 1 mg/L), lo que sugiere que el F procede de esas formaciones inferiores que contienen aguas salinas.

El valor de la relación Cl/SO₄ en las aguas mezcla más salinas está alrededor de 1, superándolo incluso en algunas muestras. Esto indica que en esas formaciones más profundas hay cristales de yeso, aunque al ser este mineral muy soluble no es necesario que existan formaciones extensas para que el agua quede químicamente marcada.

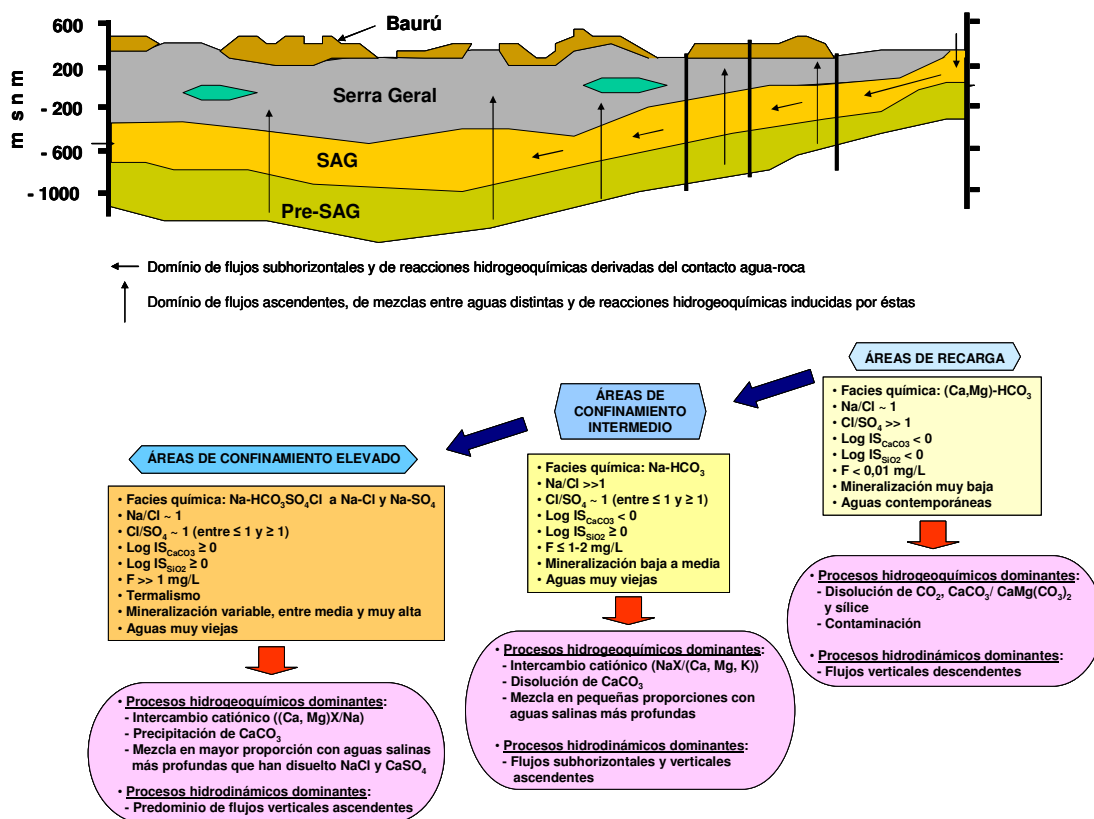


Fig. 5.68. Esquema ilustrativo del modelo hidrogeoquímico conceptual que se propone tras el estudio expuesto en los apartados anteriores, y que se valida mediante modelación hidrogeoquímica en el Capítulo



6 VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROGEOQUÍMICO CONCEPTUAL: MODELACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS PROCESOS RESPONSABLES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA DEL SAG

6.1 Índices de saturación mineral a lo largo de los transectos y su significado

El modelo hidroquímico conceptual que se ha deducido en el Capítulo 5 establece que tanto en las zonas de recarga (afloramiento del SAG) como en los sectores del SAG confinado en los cuales domina el intercambio iónico de ablandamiento ($\text{Na}/\text{Ca}, \text{Mg}, \text{K}$) existe disolución de carbonatos. Esta es la causa de que la alcalinidad aumente en esas zonas de todos los transectos (Apartado 5.2). También establece que en las zonas del SAG confinado en las cuales domina la mezcla entre aguas de tipo $\text{Na}-\text{HCO}_3$ y aguas más salinas y profundas que han disuelto halita y yeso (principalmente), las reacciones principales reacciones entre las aguas mezcla y el medio sólido deben ser el intercambio iónico de endurecimiento ($\text{Ca}, \text{Mg}/\text{Na}$) y la precipitación de carbonatos (calcita y dolomita).

Para verificar si en las aguas de los transectos los estados de equilibrio mineral son favorables a esos procesos de disolución y precipitación, se han calculado los índices de saturación de las especies gaseosas y sólidas que contribuyen mayoritariamente a la transferencia de Ca, Mg, C, S y Na entre el agua y la fase sólida: CO_2 , calcita (y aragonito), dolomita, yeso, fluorita, halita, cuarzo (en las dos formas cristalinas más comunes y en forma no cristalina), y tres minerales de Mg muy frecuentes en medios silicatados, sepiolita, crisotilo y talco.

Como el objetivo es mostrar las condiciones termodinámicas predominantes a lo largo de los transectos para apoyar con ello la modelación hidrogeoquímica (Apartado 6.3), en las figuras 6.1 a 6.8 no se muestran los índices de saturación de todas las aguas estudiadas en cada transecto, sino sólo de un pequeño número de aguas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en cada emplazamiento.

Del estudio de las figuras se pueden extraer las siguientes observaciones generales:



- En general en las zonas donde las aguas son de Tipo A (Ca,Mg-HCO_3) y de Tipo B (Na-HCO_3) las aguas están subsaturadas en calcita, aragonito y dolomita, por tanto sí existen condiciones para la disolución de esos minerales. Existen unas pocas excepciones (puntos 4-10 y 6-12 –son la misma muestra-, punto 7-6 y punto 8-5) que no invalidan el modelo conceptual regional.
- En las zonas donde las aguas son de tipo C ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ o bien Na-ClSO_4) las aguas están sobresaturadas o cerca de la saturación en calcita, aragonito y dolomita, por tanto sí existen condiciones para la precipitación de esos minerales.
- Además de la dolomita hay otros minerales de Mg que están sobresaturados en muchas de las aguas. Es el caso del talco ($(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) y el crisotilo ($(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Esto no significa necesariamente que esos minerales estén presentes en el terreno (aunque puedan estarlo), pero sí que podrían eventualmente precipitar a partir de aguas suficientemente sobresaturadas. La relevancia cuantitativa de este proceso se ha evaluado mediante modelación (Apartado 6.3).
- La inmensa mayoría de las aguas están sobresaturadas en cuarzo y cerca de la saturación en calcedonia. Aunque es difícil verlo con claridad, pero una observación detallada muestra que el estado de saturación es algo mayor en las zonas donde las aguas son de los tipos A y B, es decir en áreas de afloramiento y en áreas donde la composición del agua está controlada por el intercambio iónico de NaX/Ca,Mg,K y la disolución de carbonatos. Aun siendo sobresaturadas, la saturación disminuye un poco en áreas donde las aguas son de Tipo C y su composición está dominada por la mezcla con aguas salinas profundas.
- En aquellos pozos con aguas de Tipo C que tienen concentraciones de F significativas ($> 1\text{mg/L}$) la fluorita está cerca de la saturación o incluso sobresaturada. Como se ha visto antes la fuente del F está en los flujos ascendentes de aguas salinas del pre-SAG. Que las aguas estén sobresaturadas no significa necesariamente que esté precipitando fluorita en esas zonas del acuífero donde hay ascenso de aguas salinas (probablemente se requiera una sobresaturación importante para que eso ocurra), pero sí indica que esa posibilidad existe y, por tanto, que se podrían estar generando fuentes secundarias de F.



- El índice de saturación del yeso y la halita aumenta en los puntos en los que existen flujos ascendentes de aguas salinas profundas, pero en ninguno de los transectos hay aguas saturadas en esos minerales.

Dado que en las aguas existen condiciones para que ocurran las reacciones de disolución y precipitación de calcita y dolomita, de consumo de CO_2 , de disolución y precipitación de fluorita, de disolución y precipitación de talco y sepiolita y, por supuesto, de intercambio iónico entre Na adsorbido y Ca y Mg en solución.

En la modelación se han incluido algunas otras reacciones con minerales cuyos índices de saturación no se muestran aquí pero que, según se ha expuesto en el Apartado 5.1, podrían estar aportando al agua componentes mayoritarios. Se trata de la interacción del agua con los feldespatos sódico (albita, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y cálcico (anortita, $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$), así como con el diópsido ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$). No se ha incluido en la modelación la posible interacción con feldespato potásico debido a la pequeña magnitud de las concentraciones de K medidas y el escaso significado conceptual de los balances de masa de K calculados.

El objetivo de la modelación ha sido conocer la importancia relativa de todas estas reacciones en los cambios de composición del agua del SAG.

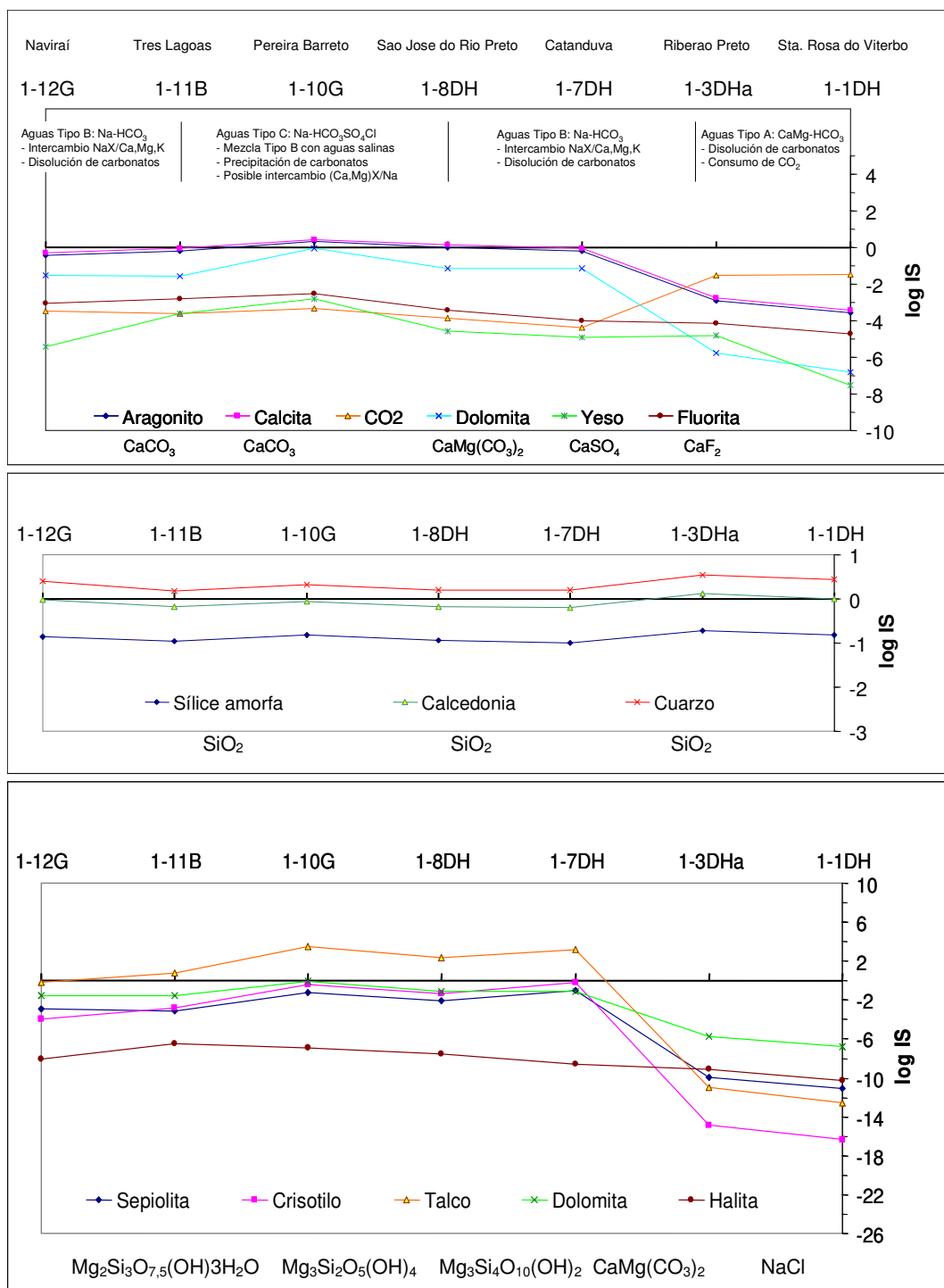


Fig. 6.1. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 1.

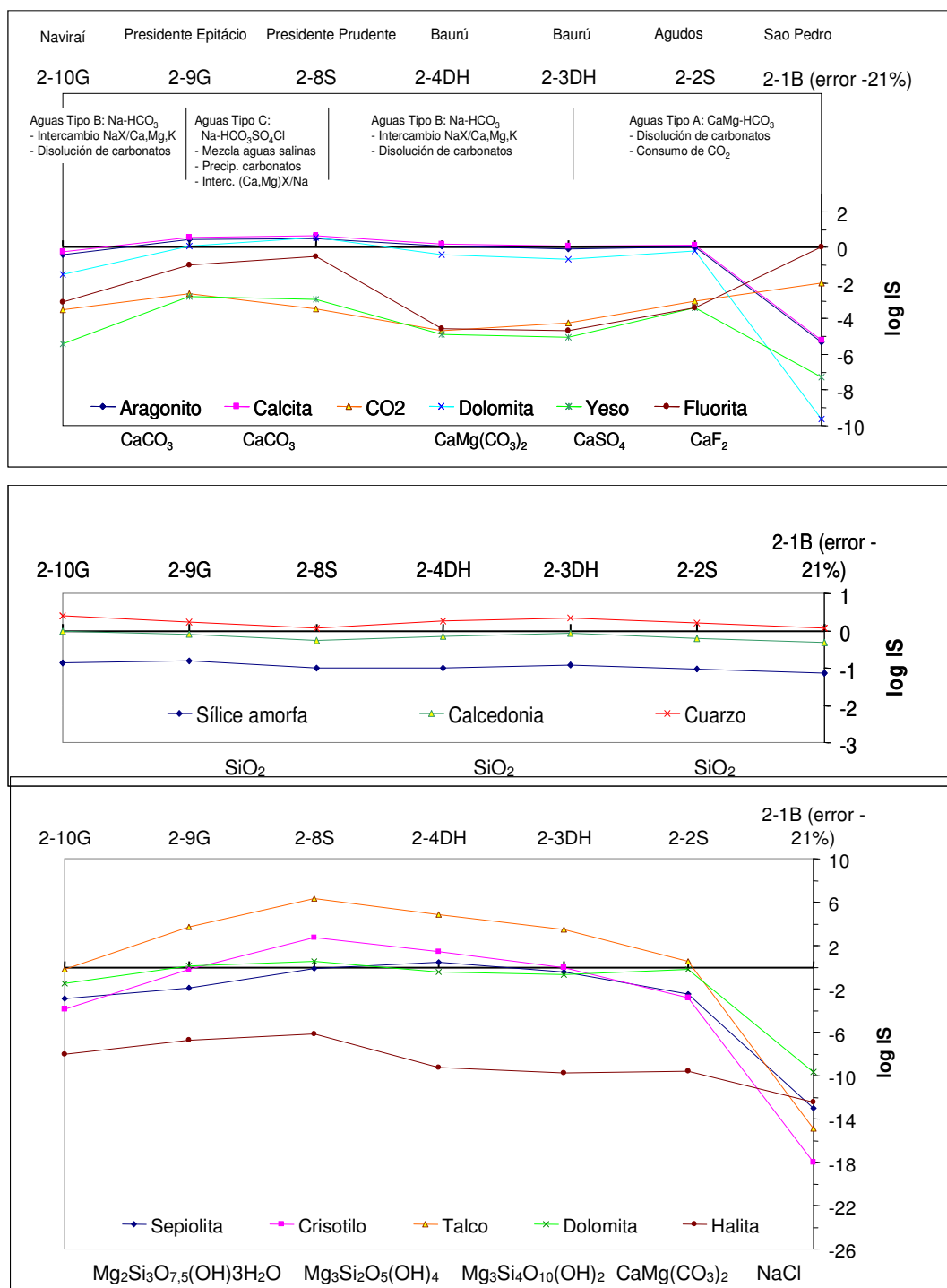


Fig. 6.2. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 2.

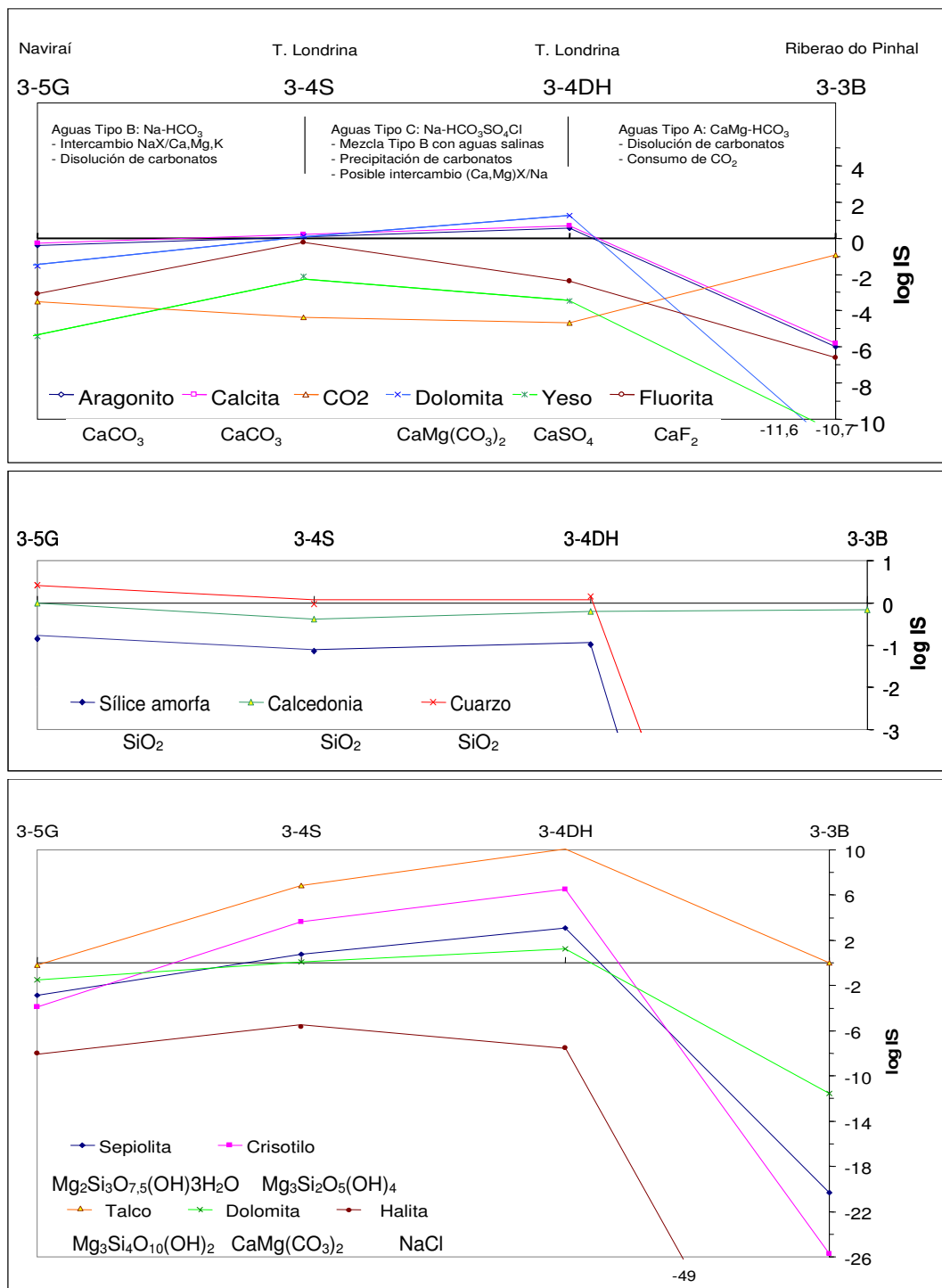


Fig. 6.3. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatos y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 3.

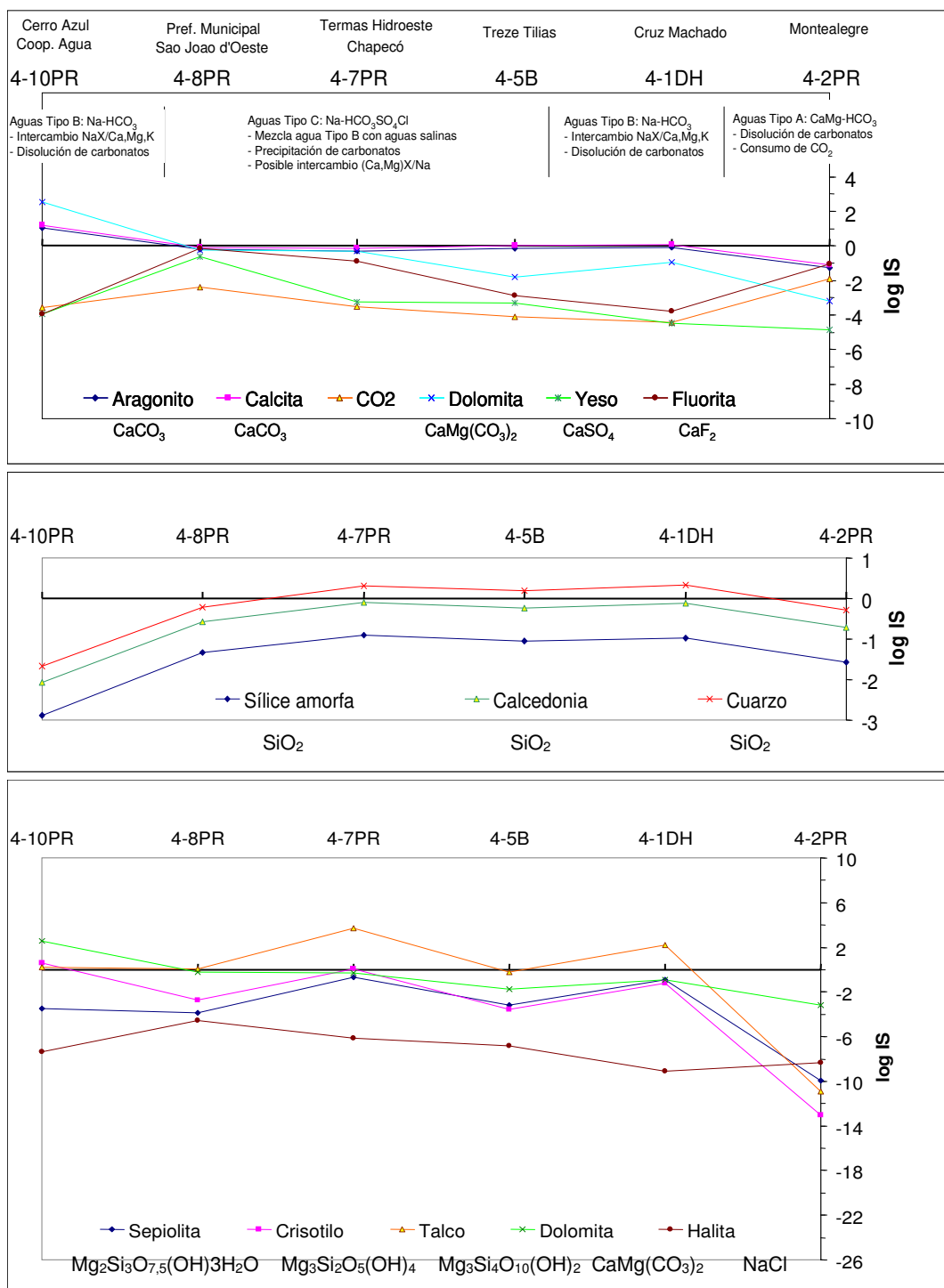


Fig. 6.4. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 4.

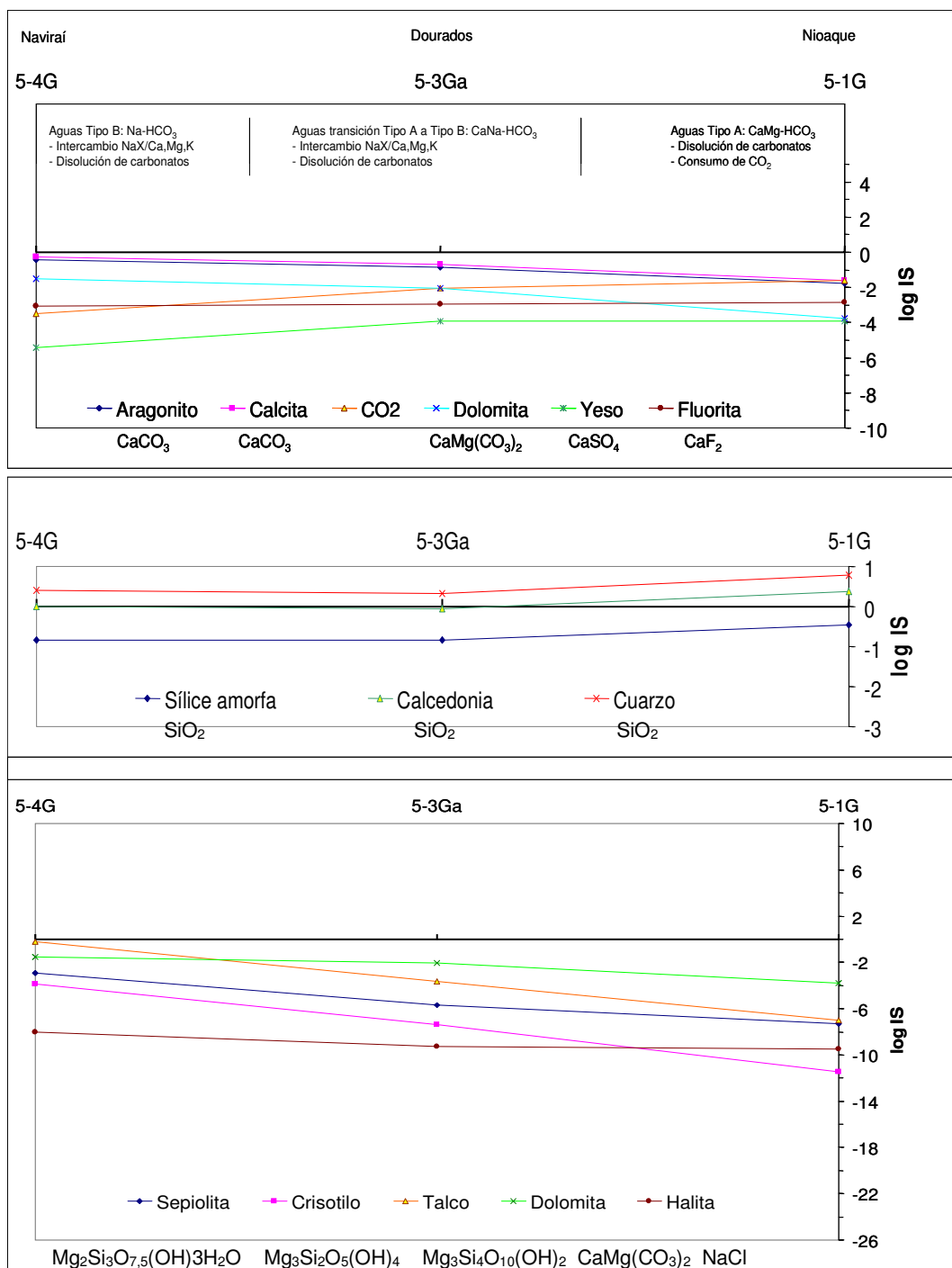


Fig. 6.5. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 5.

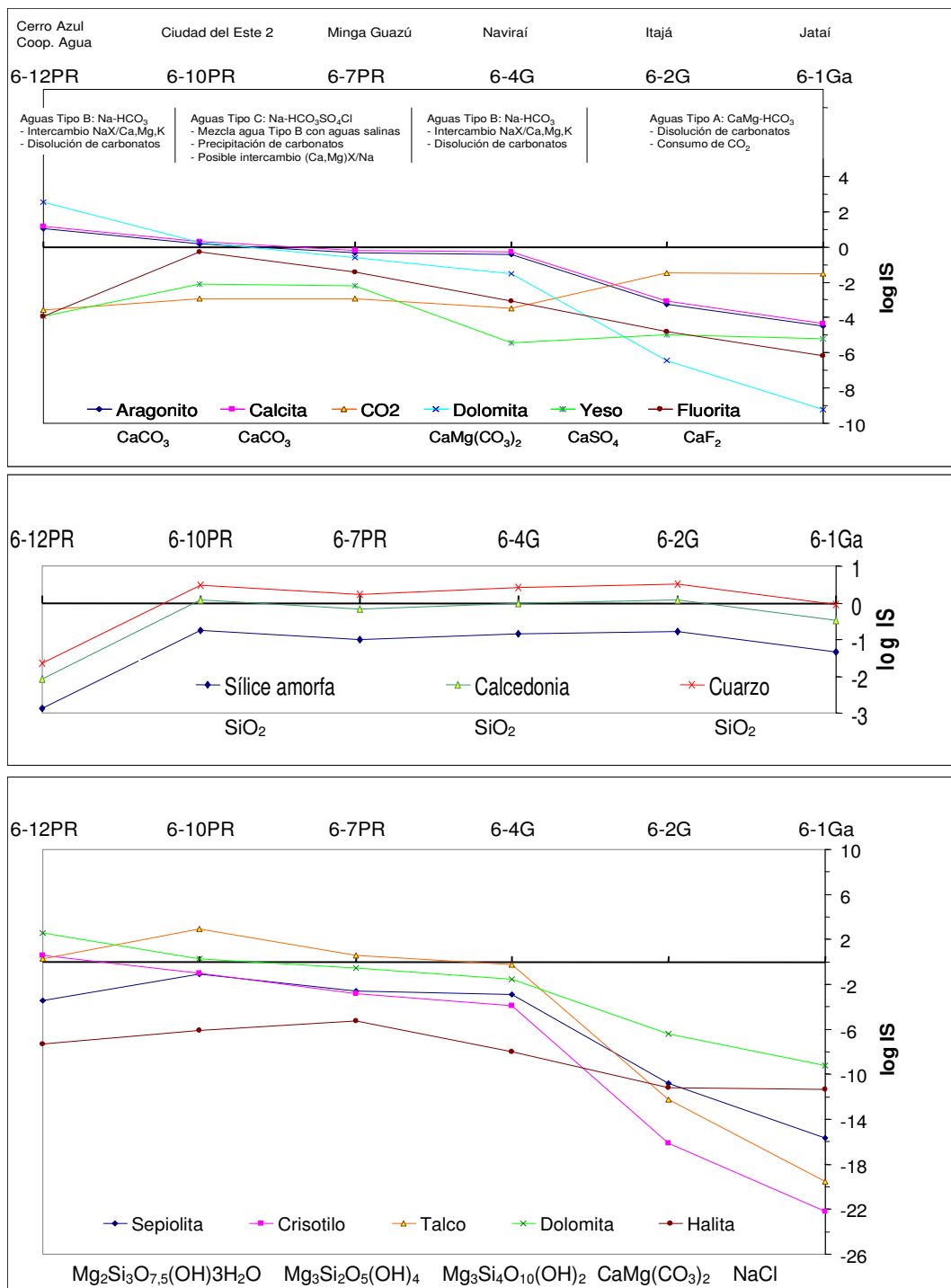


Fig. 6.6. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 6.

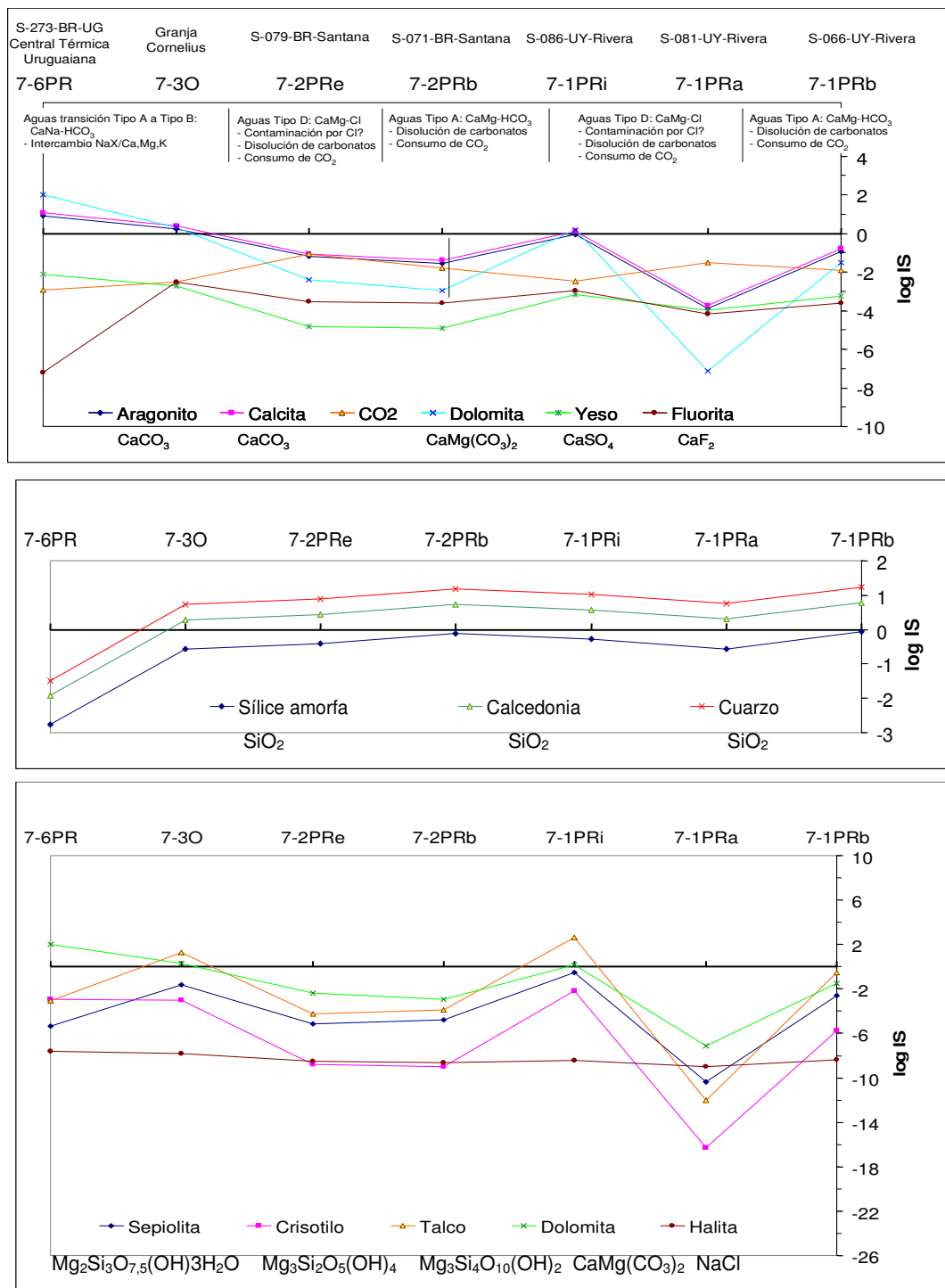


Fig. 6.7. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 7.

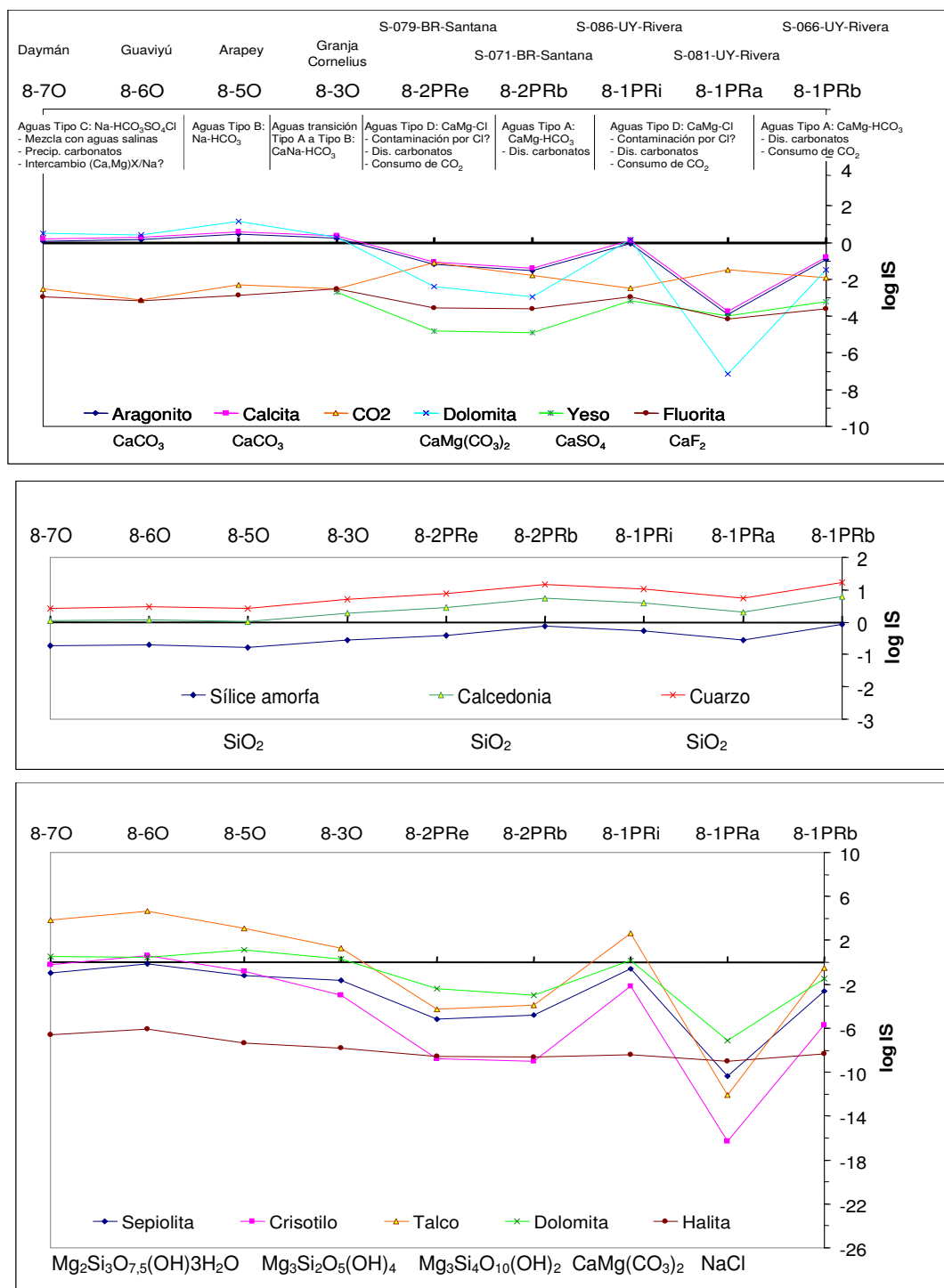


Fig. 6.8. Índices de saturación logarítmicos del CO₂ y varios minerales carbonatados, silicatados y clorurados en muestras seleccionadas representativas de las facies hidroquímicas encontradas en el Transecto 8.



6.2 Balances de masa a lo largo de los transectos y su significado

Como ya se ha visto al describir los cambios espaciales de composición (Apartado 5.2) y los mapas (Apartado 5.4), en grandes zonas del acuífero las aguas son muy poco mineralizadas y los cambios espaciales de composición química son mínimos. Para tener una idea de la magnitud de estos cambios y del significado real de los mismos (a veces son del mismo orden de magnitud que la incertidumbre analítica), antes de iniciar la modelación hidrogeoquímica se han calculado balances de masa a lo largo de los transectos. Para asegurar cambios significativos, los balances se han calculado no entre muestras de emplazamientos consecutivos, sino entre muestras pertenecientes a distintas facies hidroquímicas.

El resultado general es que incluso entre aguas de distintas facies químicas los cambios de concentración de varios componentes no son claramente distintos de la incertidumbre analítica, por lo que no merece la pena intentar justificarlos mediante modelación hidrogeoquímica. En la Tabla 6.1 se muestra, a modo de ejemplo, los balances calculados en el Transecto 1 entre los siguientes pares de muestras (ver identificación completa de las muestras en Tabla A2.3 del Anexo 2): 1-7DH y 1-3DHa; 1-8Ba y 1-7DH; 1-10G y 1-8Ba; 1-11B y 1-10G; 1-12G y 1-11B. Las celdas amarillas de la tabla muestran los balances (diferencias de concentración) que son significativos (distintos de cero y de la incertidumbre analítica), y las cifras en negrilla muestran los balances que indican claramente la existencia de reacciones. A la vista de estos resultados, para la modelación hidrogeoquímica se seleccionaron varios pares de muestras que representan cambios de la facies Tipo A (Ca,Mg-HCO_3) a la Tipo B (Na-HCO_3), y de ésta a la Tipo C ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$), y entre los cuales había cambios realmente relevantes.

6.3 Aportaciones conceptuales de la modelación hidrogeoquímica

Para la discusión de las aportaciones conceptuales de la modelación hidrogeoquímica se utilizan, a modo de ejemplo, la modelación realizada con los siguientes pares de muestras:

- Muestras 1-3DHa (pozo PP-B-6493 en Ribeirão Preto, muestra tomada antes del ensayo de bombeo de DH, 2007) y 1-7DH (pozo PP-B-7602, en Catanduva; tomado de DH, 2007),



ambos del Transecto 1. Permiten estudiar los cambios que pueden ocurrir entre las zonas de recarga (aguas de Tipo A) y las zonas confinadas con aguas de Tipo B (Tabla 6.1). Solamente los cambios de concentración de la alcalinidad (HCO_3 y CO_3), el Na y el Ca son realmente confiables.

- Muestras 4-1DH (muestras CMA-001 en Cruz Machado; tomado de DH, 2007) y 4-8PR (pozo S-236-BR-SJ, Sao Joao d'Oeste; tomado de PROINSA, 2007), ambas en el Transecto 4. Permiten analizar los cambios que pueden ocurrir durante la mezcla de aguas del SAG de Tipo B (Na-HCO_3) con aguas del pre-SAG de Tipo C ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$) (Tabla 6.2).



6.3.1 Estudio de los cambios de composición química que pueden haber ocurrido para que las aguas representadas por muestra 1-3DH den lugar a las aguas representadas por la muestra 1-7DH

El estudio se ha realizado mediante modelación inversa con el código PHREEQC (Parkhurst y Appelo, 1999). Las reacciones simuladas han sido: intercambio iónico de Na adsorbido por Ca en solución e interacción del agua con los minerales calcita, dolomita, diópsido, albita y anortita. Para conocer la contribución de cada reacción a los balances de masas de cada elemento se han realizado ocho simulaciones con distintas combinaciones de reacciones.

Cada columna de la Tabla 6.3 muestra un conjunto de reacciones hidrogeoquímicas que pueden justificar, en principio igualmente bien, los cambios de concentraciones observados entre las aguas 1-3DHa y 1-7DH. La simulación de la columna 6 considera que el agua puede haber reaccionado con todas las fases reactantes de la primera columna. En el resto de simulaciones se ha eliminado la posibilidad de ocurrencia de una o dos reacciones (las correspondientes a las celdas con ceros).

Las cifras indican cantidad de masa (en mol/L) de cada fase reactante que ha debido entrar a la fase líquida (cifras positivas) o salir de ella (cifras negativas) para transformar el agua 1-3DHa en el agua 1-7DH. En color amarillo aparecen las reacciones que contribuyen más a los cambios de concentración de los componentes químicos involucrados en ellas. Por ejemplo, las reacciones que ocurren en magnitud del orden de 10^{-4} mol/L son menos contributivas que las que ocurren en magnitud de 10^{-3} mol/L. Para no entrar en detalles poco relevantes a efectos de este informe, básicamente se pueden extraer las siguientes conclusiones principales:

- Si el agua estuviera reaccionando con todas esas fases minerales (simulación 6) las reacciones que contribuyen principalmente a los cambios de concentración de Ca, Na y C son la disolución de calcita y el intercambio iónico de Na por Ca.
- Respecto al Mg, la principal contribución al cambio de concentración (que según la Tabla 6.1 consiste en una disminución de sólo 0,089 mmol/L entre ambas aguas) es la precipitación de dolomita. Este último cambio es tan pequeño que está en el límite de la confiabilidad: el agua 1-3DHa tiene 2,17 mg/L de Mg y el agua 1-7DH tiene 0,017 mg/L. Esta última magnitud es difícil de cuantificar, y en el fondo los cambios medidos



indican que en el medio no están teniendo lugar reacciones que cambien significativamente la concentración de Mg. Tanto la dolomita como el diópsido tienen también Ca, pero como las cantidades de uno y otro mineral que se transfieren dentro y fuera del agua son muy pequeñas, su contribución al balance de Ca es mínimo (ver cambios en la cantidad de calcita que se disuelve en las simulaciones 7, donde se ha eliminado la interacción del agua con dolomita; y 5, donde se ha eliminado la interacción con diópsido).

- Los cambios realmente relevantes se observan entre la simulación 6 (todas las reacciones pueden ocurrir) y las simulaciones 1 (considera que no hay intercambio iónico de Na con Ca) y 8 (considera que no hay interacción del agua con calcita).
- Si no existiera intercambio iónico (simulación 1) los cambios de concentración se deberían a disolución de albita, anortita y dolomita y a la precipitación de calcita y diópsido. Pero el intercambio es una reacción ubicua en el terreno y no es verosímil que aquí no ocurra. Si el intercambio tiene lugar (resto de simulaciones), la contribución del diópsido, la albita y la anortita al agua es mínima, irrelevante frente al intercambio y la interacción con los carbonatos.
- Tampoco es verosímil que no haya interacción con calcita, pues se trata también de un mineral ubicuo. En resumen, el intercambio iónico de Na adsorbido en la fase sólida por Ca en solución y la disolución de calcita son las reacciones que contribuyen significativamente a los cambios de concentración de las aguas desde las zonas de recarga del SAG, donde las aguas bicarbonatadas cálcicas, hasta las zonas de acuífero confinado donde las aguas son bicarbonatadas sódicas. El resto de reacciones pueden estar ocurriendo, pero su contribución a los cambios de concentración de los componentes mayoritarios es mínima.



6.3.2 Estudio de los cambios de composición química que pueden haber ocurrido para que las aguas representadas por muestra 4-1DH den lugar a las aguas representadas por la muestra 4-8PR

Aunque el estudio se ha apoyado también en la modelación inversa con PHREEQC, a efectos de hacer una exposición más clara de las aportaciones conceptuales acerca del efecto de las mezclas con las aguas salinas del pre-SAG, esta discusión se realizará con apoyo de balances de masa totales (no de actividades termodinámicas) realizados manualmente.

Si en el Transecto 4 el flujo fuese predominantemente horizontal y el agua del pozo de Sao Joao d'Oeste (muestra 4-8PR) fuese una evolución de la del pozo de Cruz Machado (muestra 4-1DH) ocasionada por la interacción con los minerales del acuífero durante el tránsito del agua entre ambos pozos, se deberían haber disuelto cantidades significativas de los siguientes minerales:

- Halita (única fuente de Cl, que aumenta 43,34 mmol/L, o 1536 mg/L).
- Yeso (única fuente de SO_4 , que aumenta 11,38 mmol/L, o 1092,5 mg/L).
- Dolomita (principal fuente de Mg, que aumenta 2,49 mmol/L, o sea 60,13 mg/L).

Y una cantidad menor pero medible de fluorita (probablemente la principal fuente de F, el cual aumenta 0,18 mmol/L, o sea 3,42 mg/L).

Puesto que el HCO_3 disminuye entre ambas aguas (1,08 mmol/L, o sea 65,9 mg/L) y la única posible explicación para ello es la precipitación de calcita y/o dolomita, estos minerales deberían haber precipitado, disminuyendo también las concentraciones de Ca y de Mg en el agua de la muestra 4-8PR respecto a la 4-1DH. Sin embargo ocurre lo contrario, ambos aumentan. Una posible explicación sería que, además de precipitar carbonatos, existiera intercambio iónico de endurecimiento (Na en solución por estos cationes adsorbidos). Pero la concentración de Na no disminuye, sino que también aumenta significativamente (40,41 mmol/L). Además, Cl y Na aumentan casi la misma cantidad en términos de meq/L, por lo que el proceso de disolución de halita justificaría todo el aumento del Na (los 2,93 mmol/L de Na que faltan sí podrían haber desaparecido por intercambio iónico, pero no bastan para balancear los incrementos de Ca y Mg). En resumen, parece poco probable que todas estas reacciones estén ocurriendo simultáneamente.



Una hipótesis más realista de lo que debe estar ocurriendo en las zonas donde hay mezcla de aguas del SAG con aguas salinas ascendentes del pre-SAG, es que las reacciones que dan lugar a la composición de las aguas mezcla que representan las muestras analizadas ocurren a lo largo de líneas de flujo principalmente verticales. Es decir, las aguas de Tipo C (y también las más salinas de las de Tipo B) son aguas mezcla entre aguas de tipo Na-HCO_3 y aguas salinas del pre-SAG, pero ya modificadas por reacciones con el medio sólido. Una aproximación a esas reacciones se puede realizar partiendo de las siguientes hipótesis y datos:

- La muestra 4-8PR representa una mezcla (modificada por reacciones) entre agua típica del SAG fuera de las zonas de recarga, es decir agua de Tipo B (Na-HCO_3) y agua salina del pre-SAG.
- A la altura del Transecto 4, la muestra 4-1DH podría representar esa agua típica del SAG.
- Aunque no se posee mucha información acerca de la composición de las aguas salinas del pre-SAG, Meng y Maynard (2001) aportan varios análisis completos de aguas de formaciones infrayacentes al SAG.
- Si en la Fig. 5.42 se considera una de las aguas más salinas, por ejemplo la denominada 2-CB-1-SPc (de la Formación Itararé), como representante de esas aguas salinas, y se acepta que la composición de las mismas es fija –lo cual probablemente no es cierto, pero a efectos del ejercicio no es importante-, se puede estimar la proporción de agua típica del SAG (agua 4-1DH) y de agua del pre-SAG (agua 2-CB-1-SPc) que debe tener la muestra 4-8PR. Para ello se usará un balance de masa de Cl, que es un soluto conservativo. Los resultados del cálculo están en las dos últimas columnas de la Tabla 6.4: la muestra 4-8PR tendría un 4,2 % de agua salina profunda similar a la muestra 2-CB-1-SPc y un 95,8 % de agua dulce típica del SAG similar a la muestra 4-1DH. Como se ve en la cuarta fila, una pequeña proporción de agua salina basta para modificar significativamente la composición del agua del SAG.

Una vez calculada la proporción de ambas aguas extremas en la muestra 4-8PR, multiplicando esas proporciones por las concentraciones de los solutos no conservativos (Na, Ca, Mg, K, SO_4 ,



HCO₃) en dichas aguas se calcula la composición teórica que debería tener la muestra 4-8PR si todos los solutos fuesen conservativos y sus concentraciones no se hubieran modificado por reacciones con el medio durante o después de la mezcla (Tabla 6.4, fila cuatro). Después se compara la composición calculada para la muestra 4-8PR (o agua mezcla “teórica”) con la composición medida en esa muestra (o agua mezcla “real”). La comparación se realiza como un balance de masas (mezcla teórica menos mezcla real) y los resultados del balance (Tabla 6.4, fila cinco) se utilizan para analizar las reacciones químicas que pueden estar ocurriendo en las zonas del acuífero donde existen mezclas con aguas salinas ascendentes, tal como se expone a continuación.

El agua mezcla real (4-8PR (r)) tiene menos HCO₃, Na y K y más SO₄, Ca y Mg que el agua mezcla teórica (4-8PR (t)). Las reacciones que pueden justificar este balance de manera significativa son:

- Para explicar la disminución de Na y K y el aumento de Ca y Mg: intercambio iónico de Na y K en la solución con Ca y Mg adsorbidos (intercambio de endurecimiento, que es el proceso típico que tiene lugar en los acuíferos cuando un terreno inicialmente en equilibrio con agua dulce entra en contacto con agua salina desplazándose).
- Para explicar la disminución de HCO₃: interacción con calcita y dolomita. En principio la aparición de Ca y Mg en solución debido al intercambio induciría la saturación y precipitación de estos minerales, y la disminución del HCO₃ así lo indica, pero depende de la contribución catiónica de las otras reacciones y es necesario calcularlo.



Tabla 6.1. Ejemplo de los balances de masa realizados en cada transecto entre aguas de distinta facies hidroquímica para seleccionar las muestras a usar en la modelación numérica. Los datos corresponden al Transecto 1.

Observación Manual: Los datos corresponden al Transecto 1:																		
Facies química que representa			Código en transecto	T °C	CE $\mu\text{S/cm}$	pH	Alcal. total mg/L CaCO_3	HCO_3 mmol/L	CO_3 mmol/L	SO_4 mmol/L	Cl mmol/L	NO_3 mmol/L	F mmol/L	Na mmol/L	K mmol/L	Ca mmol/L	Mg mmol/L	SiO_2 mmol/L
A	CaHCO3	1-3DHa	25,8	93	6,07	28,439	0,569	0,000	0,003	0,163	0,090	0,003	0,181	0,119	0,218	0,089	0,378	
B ₁	NaHCO3 Cl<SO4	1-7DH	35,2	336	9,54	149,900	2,031	0,484	0,060	0,034	0,003	0,023	3,251	0,013	0,015	0,001	0,417	
Balance de masa:			1-7 - 1-3		243	3,47	121,461	1,462	0,483	0,057	-0,129	-0,087	0,020	3,070	-0,106	-0,203	-0,089	0,039
B ₁	NaHCO3 Cl<SO4	1-7DH	35,2	336	9,54	149,900	2,031	0,484	0,060	0,034	0,003	0,023	3,251	0,013	0,015	0,001	0,417	
B ₂	NaHCO3 Cl>SO4	1-8Ba	45	370	9,25	178,930	2,789	0,395	0,088	0,366	0,010	0,039	3,903	0,011	0,024	0,000	0,481	
Balance de masa:			1-8 - 1-7		34	-0,29	29,030	0,758	-0,089	0,027	0,332	0,007	0,016	0,653	-0,002	0,009	0,000	0,065
B ₂	NaHCO3 Cl>SO4	1-8Ba	45	370	9,25	178,930	2,789	0,395	0,088	0,366	0,010	0,039	3,903	0,011	0,024	0,000	0,481	
C ₁	NaHCO3SO4 Cl<SO4	1-10G	45,4	828	8,70	155,140	2,865	0,119	0,704	1,124	0,000	0,042	5,191	0,026	0,143	0,008	0,484	
Balance de masa:			1-10 - 1-8		458	-0,55	-23,790	0,076	-0,276	0,617	0,757	-0,010	0,003	1,288	0,014	0,119	0,008	0,003
C ₁	NaHCO3SO4 Cl<SO4	1-10G	45,4	828	8,70	155,140	2,865	0,119	0,704	1,124	0,000	0,042	5,191	0,026	0,143	0,008	0,484	
C ₂	NaHCO3SO4 Cl>SO4	1-11B	46	760	9,00	167,250	2,856	0,245	0,679	2,366	0,008	0,076	7,180	0,002	0,027	0,000	0,406	
Balance de masa:			1-11 - 1-10		-68	0,30	12,110	-0,009	0,126	-0,025	1,243	0,008	0,035	1,989	-0,024	-0,115	-0,008	-0,078
C ₂	NaHCO3SO4 Cl>SO4	1-11B	46	760	9,00	167,250	2,856	0,245	0,679	2,366	0,008	0,076	7,180	0,002	0,027	0,000	0,406	
B ₂	NaHCO3 Cl>SO5	1-12G	30,6	264	8,97	126,51	2,183	0,127	0,048	0,054	0,000	0,030	3,181	0,036	0,056	0,004	0,272	
Balance de masa:			1-12 - 1-11		-496	-0,03	-40,740	-0,673	-0,117	-0,631	-2,313	-0,008	-0,046	-3,999	0,034	0,029	0,003	-0,134

Celdas amarillas: cambios de composición significativos. Los demás no son claramente distintos de cero.

Cifras en negrilla: cambios realmente relevantes.



Tabla 6.2. Balance de masas en el Transecto 4 entre las muestras 4-1DH y 4-8PR (ver ubicación en Tabla A2.3 del Anexo 2).

Transecto 4	Facies química	Fuente	Código muestra	T °C	CE $\mu\text{S/cm}$	pH	HCO ₃ mmol/L	SO ₄ mmol/L	Cl mmol/L	F mmol/L	Na mmol/L	K mmol/L	Ca mmol/L	Mg mmol/L	SiO ₂ mmol/L
SAG	B1 NaHCO ₃ Cl<SO ₄	DH (2007)	4-1DH	18,3	298	9,51	2,099	0,076	0,014	0,016	2,537	0,016	0,026	0,002	0,250
Mezcla Sag-PreSAG	C2 (NaSO ₄ Cl>SO ₄)	PROINSA (2007)	4-8PR	50	5990	7,31	1,017	11,458	43,352	0,200	42,950	0,486	5,260	2,497	0,135
Balance (4-8PR - 4-1DH)						-2,20	-1,08	11,38	43,34	0,18	40,41	0,47	5,23	2,49	-0,11

Tabla 6.3. Modelación inversa de las reacciones hidrogeoquímicas necesarias para transformar el agua 1-3DHa en el agua 1-7DH (Transecto 1). Cantidades expresadas en mol/L. Cifras positivas: entrada en la fase líquida (desadsorción o disolución); cifras negativas: salida de la fase líquida (adsorción o precipitación). Ver texto para la discusión de las distintas simulaciones realizadas.

Fase reactante	Fórmula	Simulaciones distintas realizadas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Calcita	CaCO ₃	-5,46E-03	1,71E-03	8,70E-04	8,32E-04	8,32E-04	1,50E-03	6,66E-04	0
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	3,06E-03	-5,22E-04	-1,02E-04	-8,26E-05	-8,26E-05	-4,17E-04	0	3,33E-04
Diópsido	CaMgSi ₂ O ₆	-3,14E-03	4,39E-04	1,92E-05	0	0	3,34E-04	-8,26E-05	-4,16E-04
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	3,16E-03	-4,20E-04	0	0	1,92E-05	-3,15E-04	1,02E-04	4,35E-04
Anortita	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	5,37E-03	0	6,30E-04	6,68E-04	6,59E-04	1,58E-04	7,83E-04	1,28E-03
Intercambio NaX/Ca	NaX	0	3,58E-03	3,16E-03	3,16E-03	3,14E-03	3,48E-03	3,06E-03	2,73E-03
Intercambio Ca/NaX	CaX ₂	0	-1,79E-03	-1,58E-03	-1,58E-03	-1,57E-03	-1,74E-03	-1,53E-03	-1,36E-03

Celdas con ceros: la reacción con esa fase no ha sido simulada en la modelación correspondiente a esa columna

Celdas en amarillo: procesos que contribuyen más al cambio de concentración de los elementos involucrados.

Tabla 6.4. Balance de masas entre la muestra 4-8PR medida y la composición teórica de esa misma muestra si ésta fuese el resultado de una mezcla entre el 4,2 % de un agua similar a la muestra 4-1DH y el 95,8 % de un agua similar a la muestra de agua del pre-SAG 2-CB-1-SPc de Meng y Maynard (2001).



Agua característica	Facies química	Fuente	Código muestra	T °C	CE $\mu\text{S/cm}$	pH	HCO ₃ mmol/L	SO ₄ mmol/L	Cl mmol/L	Na mmol/L	K mmol/L	Ca mmol/L	Mg mmol/L	Proporción agua Pre-SAG	Proporción agua SAG
Agua pre-SAG (Fm. Itararé)	NaCl	Meng y Maynard (2001)	2-CB-1-SPc			8	23,93	49,52	1029,4	1120,87	33,33	32,5	15,29		
Agua SAG	B ₁ (NaHCO ₃ , con Cl<SO ₄)	DH (2007)	4-1DH	18,3	298	9,51	2,099	0,076	0,014	2,537	0,016	0,026	0,002		
Agua mezcla real	C ₃ (NaClSO ₄ , con Cl>SO ₄)	PROINSA (2007)	4-8PR (r)	50	5990	7,31	1,017	11,458	43,352	42,950	0,486	5,260	2,497	0,04210087	0,95789913
Agua mezcla teórica			4-8PR (t)			9,45	3,018	2,158	43,352	49,620	1,419	1,393	0,646		
Mezcla teórica-mezcla real						-2,14	-2,001	9,300	0,000	-6,669	-0,933	3,867	1,851		



- Para explicar el aumento de SO_4 : no parece verosímil suponer que exista evaporitas sulfatadas en el SAG y éste se esté disolviendo. Tampoco se ha encontrado referencias en la literatura revisada a la posible existencia de sulfuros metálicos en el SAG, aunque geológicamente no sería descartable. Si existieran sulfuros y el agua cambiase de condiciones reductoras a oxidantes (por ejemplo, por la aireación generada por el bombeo) podría existir transferencia de S desde la fase sólida a la fase líquida, pero no es probable que este proceso aumente la concentración de SO_4 casi en 900 mg/L. La explicación más verosímil es que la concentración de SO_4 en el agua salina del pre-SAG a la altura del pozo de la Prefectura Municipal de Sao Joao d'Oeste sea mayor de la que tiene la muestra 2-CB-1-SPc. De hecho, otras muestras del pre-SAG recogidas por Meng y Maynard (2001) tienen concentraciones de SO_4 mucho mayores que la aquí utilizada y son incluso de tipo Na- SO_4 , no Na-Cl.

A continuación se analiza y discute la posible ocurrencia de las otras reacciones propuestas. Se descartan otras reacciones, como la interacción con silicatos, que seguramente también tienen lugar pero cuyo papel se ha visto antes es poco relevante frente a éstas. A efectos de simplificación, se supone que el aumento de sulfato (y la parte correspondiente del aumento del Ca) proceden del agua salina ascendente.

Para calcular la contribución de cada reacción a los cambios de concentración observados se han planteado las ecuaciones de balance de masa para cada componente mayoritario de la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Ecuaciones de balance de masas para el conjunto de reacciones que podrían explicar las modificaciones ocurridas entre el agua mezcla teórica de la muestra 4-8PR (calculada como se explica en el texto) y el agua mezcla real (muestra analizada).

Nº	Ecuación de balance de masa
1	$\square \text{Ca} = 4,845 \text{ mmol/L} = a\text{CaCO}_3 + b\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + c\text{CaSO}_4 + d/2\text{Na/CaX} + e/2\text{K/CaX}$
\square	$\square \text{Mg} = 1,851 \text{ mmol/L} = b\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + d/2\text{Na/MgX} + e/2\text{K/MgX}$
\square	$\square \text{C} = -2,001 \text{ mmol/L} = a\text{CaCO}_3 + 2b\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$



<input type="checkbox"/>	$\text{SO}_4 = 9,3 \text{ mmol/L} = \text{cCaSO}_4$
<input type="checkbox"/>	$\text{a} = -6,669 \text{ mmol/L} = \text{dNa}/(\text{CaX}+\text{MgX})$
<input type="checkbox"/>	$\text{b} = -0,933 \text{ mmol/L} = \text{eK}/(\text{CaX}+\text{MgX})$

En la tabla 6.5 el símbolo Δ significa variación entre el agua mezcla teórica y el agua mezcla real, calculada como “mezcla teórica – mezcla real”, y **a**, **b**, **c**,...son las cantidades (en mmol/L) de masa de cada fase reactante (mineral o intercambio) que entran (cifras positivas) o salen (cifras negativas) de la fase líquida por reacciones del agua con el medio sólido. Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene:

- **c**: según se ha discutido los 9,3 mmol/L de SO_4 procederían de la disolución de yeso por el agua salina ascendente. Aportaría otros tantos mmol/L de Ca al agua.
- **d**: es negativo, luego desaparecerían del agua 6,669 mmol/L de Na por intercambio con Ca y Mg.

Suponiendo que el intercambio sea a partes iguales (**d/2**), y puesto que un mmol de un catión monovalente se intercambia con medio mmol de un catión divalente, en las ecuaciones 1 y 2 **d/2** debe ser positivo e igual a 1,667 mmol/L.

- **e**: desaparecerían 0,933 mmol/L de K por intercambio con Ca y Mg. Haciendo el mismo razonamiento que para el intercambio con Na, en las ecuaciones 1 y 2 **c/2** debe ser igual a 0,233.

El intercambio podría no ocurrir en igual proporción con ambos cationes, o tener lugar con otros cationes, pero en cualquier caso es la reacción más probable para justificar una disminución de K.

- **b**: se puede despejar en la ecuación 2.

$$b = 1,851 - 1,667 - 0,233 = -0,049$$



El signo negativo indica que habría precipitación de dolomita, a pesar de que el resultado global de todas las reacciones en las que se ve involucrado el Mg es un aumento de éste en el agua.

En realidad es probable que el Mg no participe tanto como el Ca en las reacciones de intercambio, pues en la naturaleza suele haber un orden de selectividad, pero el ejercicio pone de manifiesto que durante la mezcla de agua dulce y salada es posible que ocurra precipitación de dolomita (o dolomitización de calcita), incluso aunque la concentración de Mg aumente en el agua mezcla real respecto a la mezcla teórica. Esto justifica la disminución de alcalinidad en el agua mezcla.

- **a:** se puede despejar en la ecuación 1.

$$a = 4,845 + 0,049 - 9,3 - 1,667 - 0,233 = -6,306$$

El signo negativo indica que tendría lugar precipitación de calcita. Se puede argumentar lo mismo que para el Mg.

Las cantidades de calcita y dolomita que precipitan no equilibran la ecuación de balance de masa del HCO_3 . Si el C sólo se modifica por reacciones de disolución y precipitación de carbonatos, es obvio que la cantidad total de [calcita + dolomita] que debe precipitar es menor a la calculada. Seguramente las hipótesis realizadas en cuanto a la igualdad en el intercambio iónico de Ca y Mg con Na y K no representen la realidad, y tampoco las realizadas respecto a la composición del agua salina profunda.

Sin embargo, aunque las cantidades de masa que cada proceso transfiere dentro y fuera del agua puedan variar localmente (y, a largo plazo, también temporalmente), queda claro que en los lugares donde hay mezclas entre aguas salinas del pre-SAG y aguas dulces bicarbonatadas sódicas del SAG puede ocurrir intercambio iónico de endurecimiento y precipitación de minerales carbonatados.

Este aspecto es relevante no sólo desde el punto de vista científico, para explicar el origen y la distribución espacial de la composición química del agua del SAG, contrastar el modelo conceptual



sobre la red de flujo (la existencia de mezclas con aguas salinas profundas significa que hay zonas donde dominan los flujos verticales frente a los horizontales) y establecer las correcciones que se deben realizar a la hora de calcular la edad del agua con ^{14}C .

Desde el punto de vista práctico de la gestión del acuífero, es muy útil conocer los procesos característicos que tienen lugar en las zonas de mezcla entre agua dulce y agua salina: permite prever la evolución que tendrá la composición del agua en caso de poner en explotación zonas del acuífero donde existen aguas salinas en equilibrio con aguas dulces. La explotación disturbará el equilibrio y ocasionará mezclas que pueden desencadenar procesos tanto de endurecimiento del agua y precipitación de carbonatos que colmaten las zonas de admisión de las captaciones, como de ablandamiento del agua y agresividad de la misma frente a distintos materiales. En ambos casos, antes o después surgirán problemas de deterioro de la calidad del agua y de mantenimiento de las instalaciones de explotación y distribución. Adicionalmente, si la explotación no se planifica adecuadamente para evitar la concentración espacial de captaciones y los bombeos intensivos y concentrados y las aguas residuales de los procesos locales no se gestionan adecuadamente, es probable que grandes zonas del acuífero donde el agua tiene ahora una calidad aceptable para los usos locales queden inutilizados por las mezclas derivadas de la explotación.



7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones del estudio hidrogeoquímico realizado se exponen organizadas en torno a tres temas:

- 1) Origen de la composición química del agua del SAG.
- 2) Distribución espacial de la composición química del agua del SAG y su relación con la red de flujo y con la estructura geológica.
- 3) Necesidades de conocimiento que aún existen y aspectos relevantes a estudiar en el futuro.

7.1 Origen de la composición química del agua del SAG

1. El estudio realizado ha confirmado el modelo conceptual ya propuesto por varios autores anteriores en cuanto a los principales procesos responsables de la composición química del agua del SAG en las zonas hasta ahora más estudiadas (sector N del acuífero y, especialmente, el estado de Sao Paulo en Brasil). No obstante, el estudio aquí realizado ha permitido comprobar que ese modelo es válido para casi todo el acuífero, con algunas particularidades para la zona situada al SO del Arco de Asunción-Río Grande. En esta última zona los procesos hidrogeoquímicos y los tipos de aguas son básicamente los mismos que en norte, pero su evolución espacial y su origen son algo distintos.
2. En todo el acuífero las aguas tienen tres tipos básicos de facies químicas, las cuales tienen una clara relación con la red de flujo (Tabla 5.1). Dentro de cada facies existen varias subfacies:
 - **Aguas de Tipo A:** son bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO_3) o cálcico-magnésicas (CaMg-HCO_3), muy poco mineralizadas (CE en general $<250 \mu\text{S/cm}$) y con pH entre 4 y 8. Su composición se debe a la disolución de CO_2 edáfico y de carbonatos sólidos del terreno en la zona de afloramiento (Fig. 7.1 a y b). En muchas de las aguas de Tipo A estudiadas hay contaminación por NO_3 y K, pero estos no suelen ir acompañados de SO_4 .



- **Aguas de Tipo B:** son bicarbonatadas sódicas (Na-HCO_3), con mineralización entre baja y media (CE entre 200 y 600 \square S/cm) y pH entre 7 y 10. Su composición se debe principalmente al intercambio iónico de Ca y Mg en solución por Na adsorbido en las superficies de intercambio de las arcillas presentes en las areniscas del SAG (y posiblemente también en las de formaciones infrayacentes). El intercambio modifica el orden de abundancia de los cationes en las aguas de la zona de recarga. Adicionalmente, el intercambio induce la disolución de minerales carbonatos al disminuir las actividades del Ca y el Mg en el agua. Esto hace que la alcalinidad del agua aumente progresivamente en toda la zona en la el proceso de intercambio iónico es dominante.

Las aguas de Tipo B se distribuyen en dos grupos, denominados aquí B_1 y B_2 . Las aguas de subtipo B_1 tienen $\text{Cl} < \text{SO}_4$ y las aguas del subtipo B_2 tienen $\text{Cl} > \text{SO}_4$. Las segundas se suelen encontrar más hacia el centro de la cuenca que las primeras, pero es frecuente encontrar alternancias a lo largo de los transectos estudiados. Puesto que en las aguas de Tipo A siempre es $\text{Cl} > \text{SO}_4$, la presencia de aguas con $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ implica una fuente de SO_4 , y dado que en las formaciones del SAG no hay evaporitas ni sulfuros, esa fuente debe estar en flujos ascendentes de aguas en contacto con yesos en las formaciones del pre-SAG. El tránsito de aguas con $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ a aguas con $\text{Cl} > \text{SO}_4$ se produce cuando las aguas se saturan en minerales sulfatados, que son menos solubles que los clorurados. La proporción de agua salina en la mezcla no tiene porqué ser relevante, basta con un 1% e incluso menos para producir los cambios observados.

Esta identificación de subfacies en las aguas de tipo Na-HCO_3 es una novedad respecto a estudios anteriores, y también la información que aportan acerca de la existencia de mezclas con aguas más salinas del pre-SAG.

- **Aguas de Tipo C:** su composición oscila entre bicarbonatadas-sulfatadas-cloruradas sódicas ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$) y cloruras-sódicas o sulfatadas-sódicas. En general se encuentran en las partes más internas de la cuenca. Tienen mineralización entre media y alta (CE entre 500 y 6000 \square S/cm) y pH entre 7 y 9. Su composición se debe a la mezcla de las aguas de tipo B con otras aguas más salinas de procedencia profunda.



Las aguas de Tipo C se distribuyen en tres grupos, denominados aquí C_1 , C_2 y C_3 . Las aguas de subtipo C_1 tienen $Cl < SO_4$ aunque domina el HCO_3 , las aguas del subtipo C_2 tienen $Cl > SO_4$ aunque domina también el HCO_3 y las aguas del subtipo C_3 son de tipo Na-Cl o bien Na- SO_4 . El tránsito de las aguas de tipo C_1 a las de tipo C_2 se produce por las razones ya explicadas para las aguas de Tipo B. Las aguas de tipo C_3 son las más salinas de todas las encontradas, y aparecen hacia el centro de la cuenca en los estados de Sao Paulo, Santa Catarina o lo largo del río Paraná entre Paraguay, Argentina y Brasil. Según el cálculo realizado en el Apartado 6.3, bastaría con algo menos de un 5% de agua con una salinidad similar a la marina producir las aguas más salinas encontradas. Además, una pequeña proporción de agua salina basta para modificar significativamente la composición del agua del SAG y para modificar los equilibrios químicos, favoreciendo procesos de intercambio iónico de endureciendo (Ca y Mg adsorbidos por Na en solución) y precipitación de carbonatos.

El estudio realizado indica que el flúor está asociado a las aguas más salinas, calientes y con una relación rNa/rCl ($r = meq/L$) más cercana a 1, lo que sugiere que la fuente de F (al menos la principal) está en las formaciones salinas del pre-SAG.

Esto es relevante no sólo desde el punto de vista científico, para explicar el origen de la distribución espacial de la composición química del agua del SAG, contrastar el modelo conceptual sobre la red de flujo (la existencia de mezclas con aguas salinas profundas significa que hay zonas donde dominan los flujos verticales frente a los horizontales) y establecer las correcciones que se deben realizar a la hora de calcular la edad del agua con ^{14}C .

Desde el punto de vista práctico de la gestión del acuífero, es muy útil conocer los procesos característicos que tienen lugar en las zonas de mezcla entre agua dulce y agua salina: permite prever la evolución que tendrá la composición del agua en caso de poner en explotación zonas del acuífero donde existen aguas salinas en equilibrio con aguas dulces. La explotación disturbará el equilibrio y ocasionará mezclas que pueden desencadenar procesos tanto de endurecimiento del agua y precipitación de carbonatos que colmaten las zonas de admisión de las captaciones, como de ablandamiento del agua y



agresividad de la misma frente a distintos materiales. En ambos casos, antes o después surgirán problemas de deterioro de la calidad del agua y de mantenimiento de las instalaciones de explotación y distribución. Adicionalmente, si la explotación no se planifica adecuadamente para evitar la concentración espacial de captaciones y los bombeos intensivos y concentrados y las aguas residuales de los procesos locales no se gestionan adecuadamente, es probable que grandes zonas del acuífero donde el agua tiene ahora una calidad aceptable para los usos locales queden inutilizados por las mezclas derivadas de la explotación.

Las aguas situadas al SO del Arco de Asunción-Río Grande son también de los tipos A, B y C. Localmente, en algunas muestras de Artigas-Quaraí aparece un tipo nuevo, el Ca-Cl o Mg-Cl. Dado su carácter restringido se atribuye a contaminación local, aunque habría que confirmarlo.

La salinidad de las aguas de Tipo C en esta zona no se debe a mezcla con aguas de formaciones del pre-SAG sino a mezcla con aguas muy salinas de las formaciones adyacentes al SAG en la zona que va desde aproximadamente el río Uruguay hacia el oeste-suroeste.

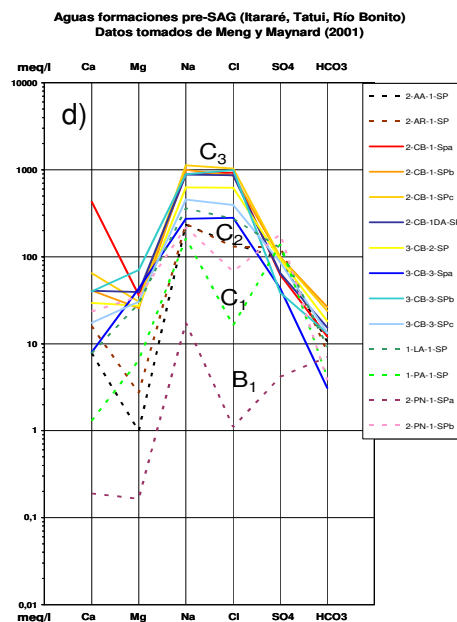
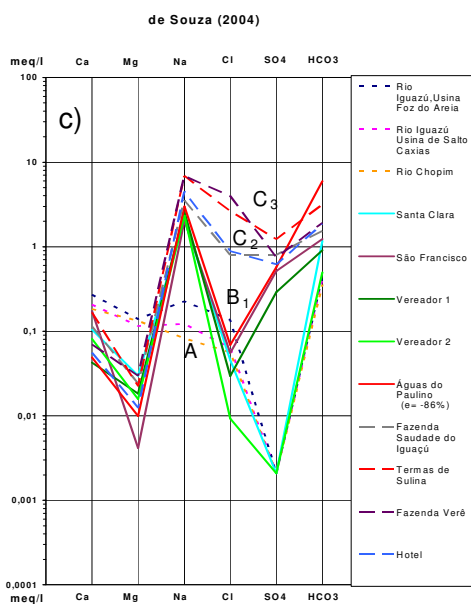
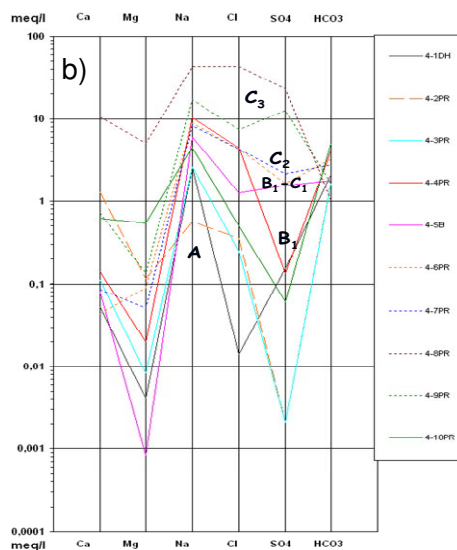
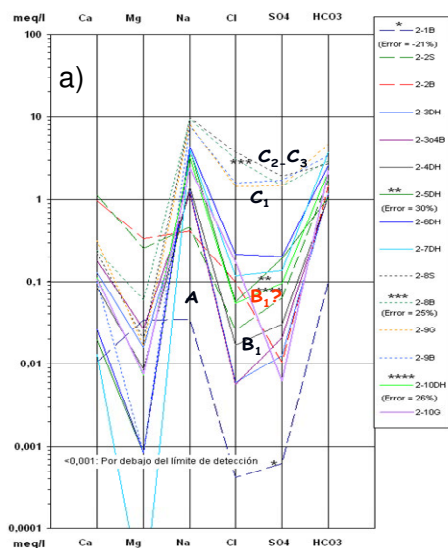


Fig. 7.1. Comparación de los tipos químicos de aguas encontrados en el SAG (a: Transecto 2, entre Sao Pedro y Naviraí; b: Transecto 4, entre Cruz Machado y Cerro Azul) y los tipos químicos de las aguas de descarga a lo largo del río Iguazú (tomado De Souza, 2004) y los de agua de formaciones del pre-SAG en el Estado de Sao Paulo (tomado de Meng y Maynard, 2001). Se observa la similitud de facies entre todas las aguas más salinas, lo que apoya la hipótesis de que buena parte de las aguas del SAG (las de Tipo B y las de Tipo C) son resultado de mezcla en distintas proporciones con flujos ascendentes de aguas salinas más profundas.



7.2. Distribución espacial de la composición química del agua del SAG y su relación con la red de flujo y con la estructura geológica

Los mapas de contenidos en SDT, Na, Cl y SO₄ muestran que la distribución espacial de los solutos está fuertemente condicionada por dos factores principalmente:

3. La existencia de flujos ascendentes de aguas salinas del pre-SAG. Destacan las zonas situadas en el límite E de Paraguay con Brasil y con Argentina, a lo largo del río Paraná, y el límite entre los estados brasileños de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, a lo largo del río Pelotas (Fig. 7.2). Pero también es clara la existencia de flujos ascendentes de agua salina en los estados de Paraná y Pelotas, hacia el centro de la cuenca. La existencia de flujos ascendentes y de descargas a los ríos Iguazú y Pelotas se conoce también por trabajos anteriores (De Souza, 2004; Machado, 2005).

La existencia de flujos ascendentes se debe a la mayor carga hidráulica de las formaciones del pre-SAG respecto a las del SAG, pero la intensidad de la manifestación espacial de esos flujos (a través de las mezclas que producen) debe estar vinculada a la estructura geológica. Los mapas 6.60 a 6.67 muestran las alineaciones de aguas salinas mencionadas en el párrafo anterior, pero hay otros lugares con aguas mezcla: las aguas de Termas de Londrina (Estado de Paraná), Presidente Prudente, Presidente Epitácio y Tres Lagoas (Estado de Sao Paulo) son mezcla de aguas de Tipo B con aguas salinas profundas, aunque en estos casos la proporción de mezcla no llega al 1%. Los mapas de SDT (Fig. 5.60), alcalinidad (Fig. 5.65) y F (Fig. 5.67) muestran claramente el aporte de aguas profundas en esas zonas.

Puntualmente también se encuentran zonas de pequeña extensión situadas en los bordes del acuífero, cerca de la zona de afloramiento, que tienen aguas salinas. En función de la ubicación de esas aguas su presencia en esos lugares se debe a distintos motivos. No obstante, la causa más generalizada es la existencia de una estructura geológica compartimentada que favorece la existencia de flujos verticales frente a los horizontales. Es el caso de las aguas de los pozos de Jardim Alegre (datos de Da Rosa Filho et al., 2005), Termas de Londrina (varios análisis históricos) y otros de ese entorno, en el Estado de Paraná.



Dado que el F está vinculado a las aguas en salinas del pre-SAG, su presencia en concentraciones superiores a unas pocas décimas de miligramo indicaría la existencia de flujos ascendentes de agua salina.

4. La existencia del arco estructural de Asunción-Río Grande. Todos los mapas de distribución espacial de solutos indican que el arco supone un umbral entre la subcuenca N y la subcuenca S. Incluso las aguas subterráneas del entorno de Uruguaiana e Itaquí no se parecen a las de la zona inmediatamente al N. Esto sugiere que el flujo entre la subcuenca N y la S es mínimo o incluso nulo.

Por tanto, no parece existir descarga del SAG por su límite SO por transferencia lateral hacia otras formaciones. Buena parte de la descarga parece ocurrir a la red hídrica superficial a través de flujos ascendentes en zonas de intensa fracturación. La distribución de los gradientes de sólidos disueltos totales (Fig. 7.2), Na, Cl, SO_4 , etc. muestra que al menos se produce descarga regional a los ríos Iguazú, Uruguay, Pelotas y Paraná.



7.3 Recomendaciones

El estudio realizado no da respuesta a lagunas dudas previas y da origen a otras nuevas. Por ello se recomienda que los estudios futuros se centren en los siguientes aspectos principales:

- Cuantificar la descarga a la red hídrica superficial.
- Determinar las posibles composiciones y edades de las aguas salinas del pre-SAG.
- Confirmar que el origen del F es único y está en las aguas del pre-SAG.
- Establecer los procesos de contaminación en zonas urbanizadas y agrícolas y elaborar planes de mAnexo, prevención y restauración.

Además, se recomienda que se prepare un plan de ordenamiento de la explotación de las aguas subterráneas del SAG que abarque todo el acuífero. La existencia de procesos naturales de mezcla con aguas salinas profundas se puede convertir en un serio problema si la explotación no se planifica adecuadamente para evitar la concentración espacial de captaciones y los bombeos intensivos y concentrados. Esto puede inducir la salinización de volúmenes de acuífero que actualmente tienen buena calidad para los usos locales, los cuales pueden quedar inutilizados por las mezclas derivadas de la explotación.

La gestión de las aguas salinas excedentes de procesos industriales o urbanos también puede ocasionar la salinización de masas de agua superficiales y subterráneas de buena calidad, por tanto es imprescindible ordenar dicha gestión y, además, prever las medidas necesarias para hacer cumplir dichas ordenanzas.

Asimismo, es importante establecer redes de observación y control de la evolución hidrodinámica e hidroquímica el acuífero. El diseño d las redes debe estar basado en los estudios realizados en este proyecto y servir tanto para completar el conocimiento aún no existente como para observar posibles cambios y tendencias no deseados en la cantidad y la calidad del agua del acuífero.

Desde el punto de vista del control hidroquímico y de la calidad del agua, es importante destacar que el mayor esfuerzo debe estar en las zonas de recarga y enfocado a la contaminación. Para las



zonas de acuífero confinado, puesto que no se han observado cambios significativos de composición a lo largo de los veinte años de los cuales se ha recopilado información, es suficiente con realizar análisis de control con periodicidad no mayor a la semestral e incluso a la anual. Esta información se puede complementar con la obtención de medidas automáticas de algún parámetro significativo como por ejemplo la conductividad eléctrica.

Por último, es importante que los parámetros químicos inestables (pH, temperatura y alcalinidad) y la conductividad eléctrica se midan siempre en campo y en laboratorio y que exista un control de calidad de los laboratorios que se contraten para realizar los análisis químicos de las aguas. Respecto a lo primero, más allá de la posible escasa representatividad de las medidas de laboratorio respecto a las condiciones reales del acuífero, se trata de la única forma de comprobar si ha habido cambios químicos relevantes en la muestra desde el momento del muestreo hasta el del análisis. Respecto a lo segundo, la confiabilidad tanto de los datos analíticos en sí mismos como de las deducciones y conclusiones que se obtengan de su estudio dependen directamente de que los análisis tengan errores de balance admisibles por las normativas internacionales y de que estén realizados en laboratorios contrastados que participan regularmente en programas internacionales de calibración.



8 BIBLIOGRAFÍA

- Appelo, C.A.J.; Willemssen, A.; Beekman, H.E. y Griffioen, J. 1990. Geochemical calculations and observations on salt water intrusions. II validation of a geochemical transport model with column experiments. *Journal of Hydrology*, **120**: 225-250
- Araújo, L.M., França, A.B., Potter, P.E., 1995. Giant Mercosul aquifer of Brazil, Argentina, Uruguay and Paraguay: hydrogeologic maps of Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones and Tacuarembó Formations. Technical Report, IX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil, 16 pp.
- Bonotto, D.M. 2006. Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guaraní aquifer, Brazil. *Journal of Hydrology*, **323**: 353-386.
- Bonotto, D.M.; Mancini, L.H.; da Silveira, E.G. y Tonetto, E.M. 1995. Isótopos de uranio como contaminantes naturais de aquíferos brasileiros. En: IAEA-International Atomic Energy Agency. Isotope Hydrology Investigations In Latin America. Viena: IAEA- International Atomic Energy Agency, 1995, **(1)**: 75-90.
- Da Rosa Filho, E. F.; Lima, A.V.; Hindi, E. Ch. y Aravena, R. 2005. Caracterização hidroquímica do aquífero Guaraní na porção centro-norte do Estado do Paraná, Brasil. *Águas Subterrâneas*, **19(1)**: 87-94.
- Da Rosa Filho, E. F.; Lima, A.V.; Hindi, E. Ch. y Bittencourt, A. 2006. Estudo sobre os tipos das águas e as condicionantes estruturais do Sistema Aquífero Guaraní no extremo Oeste do Estado do Paraná. *Águas Subterrâneas*, **20(2)**: 39-48.
- Da Silva, R.B.G. 1983. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Tesis Doctoral, Universidade de São Paulo, Brasil.
- De Santa Ana, H. B. (2004). Análise tectono-estratigráfica das seqüências permotriassica e jurocretácea da bacia Chacoparanense uruguaia ("cuenca norte"). Tesis Doctoral. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil. 274 pp.
- De Souza, A. A. (2004). Caracterização da bacia do rio Iguaçu, a jusante do município de Reserva do Iguaçu, como área de descarga do aquífero Guaraní. Tesis de Maestría. Universidade Federal de Paraná, Brasil. 85 pp.
- DH (2007). Proyecto para la Protección y el Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Informe del muestreo hidroquímico de la Subregión Operativa N. DH-Lavalín.



- Gastmans, D. (2007). Hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guaraní na porção ocidental da bacia sedimentar do Paraná. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 238 pp.
- Gallo, G. y Sinelli, O. 1980. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto (SP), *Rev. Bras. Geoc.* **10**: 129–140.
- Gastmans, D. y Chang, H.K. (2005). Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guaraní (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul. *Águas Subterrâneas*, **19(1)**: 35-48.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., y Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. Usada la versión de abril de 2008, obtenida en: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>.
- Invernizzi, A. L. y Barros de Oliveira, S. M. (2004). Hydrochemical characterization of a watershed through factor analysis. *Águas Subterrâneas*, **18**: 67-77.
- Kimmelman, A.A.; Rebouças, A.C.; Santiago, M.M.F. y Da Silva, R.B. (1987). Isotopic study of the Botucatu Aquifer System in the Brazilian portion of the Paraná Basin.
- Kimmelman, A.A., Rebouças, A.C. y Santiago, M.M.F. 1989. ^{14}C analyses of groundwater from the Botucatu aquifer system in Brazil, *Radiocarbon* **31**: 926–933.
- Kimmelman, A.A., Forster, M., Coelho, R. 1995. Environmental isotope and hydrogeochemical investigations of Bauru and Botucatu aquifers, Paraná basin, Brazil. En: IAEA (Internacional Atomic Energy Agency) (Editor), Isotope Hydrology Investigations in Latin America (Report RLA/8/014 - ARCAL XIII; Application of isotope techniques in hydrology). IAEA-TECDOC-835, Vienna, 57–74.
- Kittl, S. T. (2000). Contributions to the knowledge on the stratigraphy and hydrochemistry of the giant Guaraní Aquifer System, South America. Tesis de Maestría. Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, Germany. 90 pp.
- LEBAC (2008). Mapa Hidrogeológico do SAG. Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní. Laboratório de Estudos de Bacias, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 47 pp + Anexos.
- Machado, J. L. (2005) Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guaraní no Rio Grande do Sul. Tesis Doctoral. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 237 pp.



- Manzano, M. y Custodio, E. 1998. Origen de las aguas salobres en acuíferos costeros mediante balance de masas y simulación del transporte reactivo. Actas del 4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Montevideo (Uruguay), octubre de 1998.
- Oleaga, A. (2002). Contribución a la hidrogeología del acuífero Guaraní en el sector Uruguay. Un enfoque integral. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 120 pp.
- Parkhurst, D. L. y Appelo, C.A.J. 1999. PHREEQC (Version 2)--A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 310 p. Usada la versión 2 15.0.2697 de febrero de 2008, obtenida en: http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/.
- Pasig, R.; Rojas, C. y Geyh, M. (2002). Estudios hidrogeológicos en áreas marginales del Acuífero Guaraní, en el sector de la República del Paraguay. En: *Groundwater and human development*. Bocanegra, Martínez y Massone (Eds.). ISBN 987-544-063-9: 586-596.
- Pérez, A.; Rocha, L.; Decoud, P. y Carvajal, A. (2000). Comportamiento del Acuífero Guaraní en la ciudad de Artigas. Actas del 1st Joint World Congress on Groundwater. 1-19.
- PROINSA (2007). Proyecto para la Protección y el Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Informe de inventario y muestreo. Proyectos de Ingeniería S.A.-Lavalín 2 tomos.
- Teissedre, J.M. y Barner, U. 1981. Comportamiento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu na bacia do Paraná, *Revista Águas Subterrâneas* 4: 85–95.
- BGR (2007). Proyecto SAG-PY: Uso sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en la región Oriental del Paraguay, SEAM-BGR. Informe no publicado. Asunción-Hannover.
- Silva Busso, A. A. (1999). Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 351 pp.
- Srceck, O. e Hirata, R. Geochemical and stable isotopic evolution of the Guarani Aquifer System in the state of São Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, 10:643–655
- Szikszy, M.; Teissedre, J.M.; Barrer, U.; y Matsui, E. 1981. Geochemical and isotopic characteristics of springs and groundwater in the state of Sao Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, 54: 23-32.
- UFSM y UDELAR (2005). Caracterización de áreas de recarga y descarga del SAG en Rivera-Livramento y Quaraí-Artigas. Estudio de vulnerabilidad en el área de influencia Artigas-Quaraí. Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní.



Proyecto n° 10 del Fondo de Universidades. Centro de Ciencias Naturais e Exactas de la Universidad Federal de Santa María (Brasil) y Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República de Uruguay.

UNL, DINAMA, INA e IHLL (2005). Desarrollo Metodológico para la Evaluación de la Recarga y la Vulnerabilidad del Sistema Acuífero Guaraní en Argentina y Uruguay. Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Proyecto n° 12 del Fondo de Universidades. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina; Dirección Nacional de Medio Ambiente, Uruguay; Instituto Nacional del Agua, Argentina, e Instituto de Hidrología de Llanuras, Argentina.

UFP, USP y UDELAR (2005). Estudo do movimento das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guaraní (SAG) a través de isótopos, nos Estados do Paraná e São Paulo (Brasil) e no Uruguai. Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Proyecto n° 16. Universidade Federal do Paraná, Brasil; Universidade de São Paulo, Brasil; Facultad de Ciencias de la Universidad de la República Oriental del Uruguay.

UDELAR y UBA (2005). Vulnerabilidad y riesgo hidrogeológico en el área aflorante del SAG en Rivera, Uruguay. Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Proyecto n° 28. Facultad de Ciencias de la Universidad de la República Oriental del Uruguay; Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Vázquez-Suñé, E.1999. EASYQUIM. Programa para el cálculo de error de balance y la la representación gráfica de análisis de aguas en diagramas de Piper, Schöeller-Berkaloff y Stiff modificado. Hoja de cálculo. Universidad Politécnica de Cataluña.



ANEXOS



ANEXOS

Anexo 1. Tablas con datos hidroquímicos usados

- Tabla A1.1. Datos químicos de Bonotto (2006).
- Tabla A1.2. Datos químicos de da Rosa Filho et al. (2005)
- Tabla A1.3. Datos químicos de da Silva (1983)
- Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004)
- Tabla A1.5. Datos químicos de Gallo et al. (1980)
- Tabla A1.6. Datos químicos de Gastmans (2007)
- Tabla A1.7. Datos químicos de Gastmans y Chang (2005)
- Tabla A1.8. Datos químicos de Invernizzi et al. (2004)
- Tabla A1.9. Datos químicos de Kimmelman et al. (1995)
- Tabla A1.10. Datos químicos de Kittl (2000)
- Tabla A1.11. Datos químicos de Oleaga (2003)
- Tabla A1.12. Datos químicos de Pérez et al. (2000)
- Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007)
- Tabla A1.14. Datos químicos de Silva Busso (1999)
- Tabla A1.15. Datos químicos de Tonetto y Bonotto (2005)

Anexo 2 Tablas características muestras y pozos usados para transectos

- Tabla A2.1. Ejemplo del primer paso del proceso de selección de la información existente para definir la hidroquímica de los transectos propuestos. Los datos son del Transecto 1.
- Tabla A2.2. Ejemplo del segundo paso de selección de los análisis químicos representativos de cada transecto. Los datos son del Transecto 1
- Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos.



ANEXO 1

Tablas con datos hidroquímicos usados



Tabla A1.1. Datos químicos de Bonotto (2006). En la última columna se indica con N aquellos análisis no usados para el estudio por su elevado error de balance.

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. Pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. Carb. (mg/L CaCO ₃)	Alc. Bicarb. (mg/L CaCO ₃)	OD (mg/L)	RS 180 °C (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Aceptable (≤ 20)	
medidos en campo														medidos en laboratorio																
pozo	1	Cornélio Procopio	650	-23,17750	-50,67278	1082	NI	9,67	480	45	84,16	68,03	2,30	300	ND	ND	21,10	16,00	0,60	0,88	109,00	0,56	0,63	<0,10	41,92	4,81	3,99	18,54	S	
pozo	2	Cornélio Procopio	586	-23,17750	-50,67278	979	NI	9,24	ND	47	ND	ND	2,50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Incompleto	N
pozo	3	Maringá	406	-23,34056	-51,92194	1167	NI	8,55	1480	47	ND	78,68	0,80	1000	ND	ND	351,00	10,00	0,70	5,20	322,00	1,59	4,00	0,69	25,88	14,36	9,45	41,21		
pozo	4	Londrina	450	-23,32250	-51,16361	960	NI	9,63	470	38	95,00	47,54	2,70	550	ND	ND	34,60	34,50	0,70	1,45	105,00	0,43	0,69	<0,10	40,64	4,61	4,63	-0,44		S
pozo	5	Paraguacú Paulista	474	-22,42250	-50,56056	3663	NI	9,64	520	43	60,00	0,08	3,20	400	ND	ND	9,30	9,60	0,70	1,60	117,00	0,55	0,52	<0,10	45,77	5,13	1,76	97,72		N
pozo	6	Presidente Epitácio	258	-21,77472	-52,09083	3953	NI	8,70	760	70	27,50	154,90	2,80	600	ND	ND	81,70	56,00	0,60	6,60	178,00	1,39	1,99	<0,10	35,93	7,87	7,28	7,78	S	
pozo	7	Presidente Prudente	407	-22,11250	-51,37861	1800	NI	8,80	910	63	13,33	163,92	2,40	200	ND	ND	69,80	110,00	0,70	8,80	214,00	2,12	4,83	0,71	28,45	9,66	8,57	11,92	S	
pozo	8	Aracatuba	355	-21,21111	-50,43917	969	NI	9,45	450	42	47,50	97,53	2,50	300	ND	ND	15,40	17,00	0,50	0,80	101,00	0,46	0,77	<0,10	30,16	4,44	3,75	16,87	S	
pozo	9	Aracatuba	410	-21,21111	-50,43917	1200	NI	9,38	420	42	40,00	99,99	3,50	400	ND	ND	22,90	23,00	0,60	0,64	102,00	0,47	0,90	<0,10	30,37	4,49	3,97	12,38	S	
pozo	10	Analandia	835	-22,12667	-47,68333	86	NI	9,03	310	25	33,33	81,96	6,90	200	ND	ND	6,90	0,20	0,70	0,30	73,00	0,82	0,94	0,19	18,82	3,26	2,48	27,01	N	
pozo	11	Itirapina	775	-22,25361	-47,81806	130	NI	4,76	10	26	0,00	4,10	9,00	300	ND	ND	<0,3	<0,15	0,70	<0,02	0,30	1,42	0,48	0,20	13,26	0,07	0,09	-23,88	N	
pozo	12	Itirapina	880	-22,25361	-47,81806	129	NI	4,03	70	25	0,00	1,64	8,00	200	ND	ND	<0,3	<0,15	0,70	<0,02	0,50	0,18	0,21	0,18	7,91	0,04	0,04	-17,87	S	
pozo	13	Fernandópolis	440	-20,28167	-50,24222	1460	NI	9,26	390	59	25,00	75,40	9,00	350	ND	ND	29,20	32,00	0,60	0,54	90,40	0,68	1,42	<0,10	36,79	4,02	3,56	12,22	S	
pozo	14	Fernandópolis	480	-20,28167	-50,24222	1683	NI	9,46	430	56	31,67	66,39	5,00	150	ND	ND	34,30	38,00	0,60	0,84	100,00	0,79	1,42	<0,10	37,86	4,44	3,80	15,51	S	
pozo	15	São Carlos	835	-22,00000	-47,89389	140	NI	5,20	40	22	SD	9,02	6,00	150	ND	ND	<0,3	2,30	3,20	<0,02	1,60	1,88	3,47	2,83	28,02	0,29	0,30	-1,89	S	
pozo	16	São Carlos	805	-22,00000	-47,89389	130	NI	5,53	40	23	SD	17,21	6,50	200	ND	ND	<0,3	1,60	1,30	0,62	2,00	1,67	3,73	2,16	29,73	0,32	0,44	-33,39	N	
pozo	17	Tres Lagoas	315	-20,78861	-51,69694	4582	NI	9,00	760	46	36,67	108,19	2,30	300	ND	ND	65,20	84,00	0,50	1,45	165,00	0,06	1,09	<0,10	24,38	7,23	6,71	7,52	S	
pozo	18	Jales	433	-20,28167	-50,56056	1323	NI	8,70	370	52	30,00	80,32	1,70	300	ND	ND	23,00	24,00	1,10	0,84	87,00	0,83	1,21	<0,10	30,16	3,86	3,42	12,10	S	
pozo	19	Olimpia	499	-20,73250	-48,90917	2567	NI	9,15	350	45	56,66	77,86	3,00	250	ND	ND	5,90	9,60	1,60	0,27	82,30	0,33	0,77	<0,10	34,65	3,63	3,12	14,86	S	
pozo	20	São José do Rio Preto	490	-20,78861	-49,37889	1136	NI	9,25	370	45	54,16	89,34	2,80	300	ND	ND	8,40	13,00	0,60	0,74	89,70	0,44	0,96	<0,10	28,87	3,96	3,46	13,46	S	
pozo	21	São José do Rio Preto	467	-20,78861	-49,37889	1100	NI	9,22	370	46	54,16	92,61	2,70	400	ND	ND	7,50	14,80	0,70	0,60	90,90	0,41	0,68	<0,10	27,16	4,00	3,55	11,79	S	
pozo	22	Catanduva	496	-21,12667	-48,98472	860	NI	8,87	310	37	SD	59,01	3,50	300	ND	ND	4,90	1,40	0,60	0,34	75,80	0,29	0,82	<0,10	21,39	3,34	1,35	85,00	N	
pozo	23	Novo Horizonte	451	-21,46472	-49,24250	600	NI	9,15	380	36	57,50	83,60	3,60	400	ND	ND	11,30	11,00	0,50	1,20	95,00	0,57	0,94	0,17	25,88	4,19	3,44	19,75	S	
pozo	24	Itápolis	460	-21,57750	-48,81806	277	NI	6,43	200	29	SD	70,49	5,50	350	ND	ND	1,30	5,60	2,40	<0,02	5,20	2,91	22,10	8,06	54,97	1,41	1,63	-14,99	S	
pozo	25	Ibitinga	460	-21,73250	-48,83333	434	NI	8,70	420	35	51,66	104,91	4,60	300	ND	ND	18,30	8,20	1,00	0,58	103,00	0,58	2,27	0,49	22,03	4,61	3,79	19,44	S	
pozo	26	Lins	417	-21,66194	-49,74250	3459	NI	9,86	460	41	120,83	69,67	4,50	350	ND	ND	14,90	6,60	0,60	1,00	112,00	0,04	0,55	<0,10	37,86	4,90	4,37	11,43	S	
pozo	27	Lins	480	-21,66194	-49,74250	1042	NI	9,42	430	40	102,50	169,66	3,80	350	ND	ND	14,10	6,60	0,70	1,00	111,00	0,53	0,85	0,20	39,78	4,88	5,99	-20,32	S	
pozo	28	Bauru	510	-22,30972	-49,09083	295	NI	8,59	120	30	5,00	50,82	6,50	350	ND	ND	1,00	0,20	0,50	0,07	27,70	0,92	3,60	0,32	14,54	1,41	1,15	19,78	S	
pozo	29	Piratininga	480	-22,40833	-49,13639	140	NI	8,74	200	27	14,17	27,05	7,00	400	ND	ND	16,30	2,20	1,00	0,32	34,30	1,30	9,75	1,95	23,74	2,01	1,26	46,06	S	
pozo	30	Pedemeiras	450	-22,35222	-48,78778	298	NI	6,84	180	30	SD	85,24	5,90	200	ND	ND	0,80	0,70	0,70	<0,02	2,10	4,76	33,60	2,92	27,80	1,89	1,75	7,71	S	
pozo	31	Vanglúia	495	-22,42250	-48,78778	176	NI	6,77	110	30	SD	48,36	5,30	150	ND	ND	0,40	<0,15	0,50	0,02	2,80	2,69	16,80	2,87	28,02	1,03	0,98	4,56	S	
pozo	32	Botucatu	630	-22,87333	-48,45444	134	NI	5,36	20	27	SD	4,10	9,50	200	ND	ND	<0,3	0,70	1,60	<0,02	0,80	2,40	0,24	0,85	16,90	0,11	0,13	-16,40	S	
pozo	33	São Pedro	590	-22,53528	-47,90917	150	NI	5,89	13	32	SD	4,92	9,50	100	ND	ND	<0,3	<0,15	1,20	<0,02	0,80	0,69	0,21	0,41	9,62	0,06	0,12	-60,65	N	
pozo	34	São Simão	613	-21,47889	-47,57583	145	NI	4,91	40	27	SD	9,84	5,50	250	ND	ND	<0,3	4,10	2,70	<0,02	3,00	2,51	2,72	1,46	17,75	0,33	0,36	-7,32	S	
pozo	35	Serra Azul	600	-21,29583	-47,56056	196	NI	5,20	20	28	SD	17,21	4,60	250	ND	ND	<0,3	2,80	1,10	<0,02	1,00	1,12	2,25	1,17	16,68	0,18	0,44	-81,93	S	
pozo	36	Serrana	645	-21,21139	-47,63639	120	NI	5,53	100	28	SD	28,69	5,80	150	ND	ND	0,80	4,40	1,30	0,03	3,60	1,64	11,00	5,29	29,73	0,75	0,74	1,56	S	
pozo	37	Batalais	700	-20,87333	-47,62111	266	NI	6,78	120	31	SD	31,96	5,50	350	ND	ND	<0,3	<0,15	1,20	0,04	4,40	4,13	11,80	4,61	42,56	0,89	0,66	29,23	N	
pozo	38	Ribeirão Preto	510	-21,16889	-47,81806	222	NI	5,40	50	31	SD	11,47	4,50	200	ND	ND	0,30	2,60	3,10	0,02	1,70	5,12	5,39	1,98	21,60	0,47	0,36	27,40	N	
pozo	39	Ribeirão Preto	507	-21,16889	-47,81806	225	NI	5,61	30	31	SD	10,65	5,10	300	ND	ND	<0,3	<0,15	1,10	0,08	1,20	3,85	3,20	1,72	22,46	0,31	0,24	27,70	N	
pozo	40	Ribeirão Preto	501	-21,16889	-47,81806	208	NI	5,57	80	31	SD	14,75	4,70	150	ND	ND	1,40	4,00	2,80	<0,02	3,80	5,31	6,23	2,69	20,10	0,61	0,48	23,84	N	
pozo	41	Sertãozinho	560																											



Tabla A1.1. Datos químicos de Bonotto (2006). En la última columna se indica con N aquellos análisis no usados para el estudio por su elevado error de balance. (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. Pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. Carb. (mg/L CaCO ₃)	Alc. Bicar. (mg/L CaCO ₃)	OD (mg/L)	RS 180 °C (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Aceptable (≤ 20)
								medidos en campo										medidos en laboratorio											
pozo	50	Descalvado	672	-21,90139	-47,63639	181	NI	5,88	20	23	SD	14,75	8,80	100	ND	ND	<0,3	<0,15	1,10	0,07	1,00	1,01	2,23	0,89	14,76	0,18	0,15	21,68	N
pozo	51	Boa Esperanza do Sul	550	-21,98583	-48,43944	151	NI	6,25	6	22	SD	3,28	9,40	100	ND	ND	<0,3	<0,15	0,70	<0,02	0,30	0,50	0,22	0,25	11,12	0,04	0,08	-70,41	N
pozo	52	Bocaina	560	-22,14083	-48,51500	312	NI	6,90	270	26	SD	129,50	8,30	400	ND	ND	0,90	1,50	0,60	<0,02	4,00	2,16	43,30	6,29	37,21	2,39	2,66	-10,54	S
pozo	53	Bariri	435	-22,05639	-48,75750	145	NI	6,55	240	26	SD	102,45	8,00	150	ND	ND	1,60	<0,15	0,60	0,04	2,10	3,88	38,90	5,75	23,95	2,14	2,09	1,96	S
pozo	54	Barra Bonita	444	-22,47889	-48,57583	114	NI	6,08	150	23	SD	72,12	9,80	150	ND	ND	4,40	9,20	2,40	0,02	4,40	1,69	16,50	7,09	50,90	1,06	1,83	-53,48	N
pozo	55	Santa Cruz do Rio Pardo	440	-22,91556	-49,65139	124	NI	8,26	110	24	SD	29,51	9,00	150	ND	ND	<0,3	6,60	0,60	0,84	22,60	0,56	4,43	<0,10	23,95	1,22	0,83	37,93	N
pozo	56	Bernardino de Campos	660	-23,02806	-49,48472	509	NI	6,60	160	28	SD	83,60	7,00	300	ND	ND	0,50	<0,15	0,70	<0,02	14,50	1,09	20,10	2,14	38,71	1,66	1,69	-1,81	S
pozo	57	Sarutaiá	750	-23,26750	-49,48472	152	NI	6,39	70	23	SD	33,60	8,00	200	ND	ND	<0,3	<0,15	0,60	0,05	4,90	2,73	7,75	1,21	44,49	0,67	0,38	55,92	N
pozo	58	Aguas de Santa	560	-22,87333	-49,22722	120	NI	7,58	160	28	SD	59,01	8,50	200	ND	ND	0,50	<0,15	0,60	<0,02	7,30	3,07	25,50	0,90	39,14	1,67	1,20	32,78	N
pozo	59	Avaré	610	-23,11278	-48,90917	100	NI	5,80	60	20	SD	22,13	8,30	250	ND	ND	<0,3	<0,15	0,60	0,08	1,80	1,27	6,43	3,84	39,35	0,43	0,41	4,88	S
pozo	60	Avaré	640	-23,11278	-48,90917	150	NI	5,94	70	23	SD	57,37	6,00	300	ND	ND	<0,3	<0,15	0,50	<0,02	3,30	1,55	8,58	4,18	52,19	0,61	0,50	20,99	S
pozo	61	Agudos	590	-22,45056	-49,00000	406	NI	6,83	170	27	SD	74,58	6,30	200	ND	ND	0,50	3,50	1,30	0,54	9,60	1,75	19,20	4,05	24,60	1,42	1,65	-14,84	S
pozo	62	Jaú	440	-22,28167	-48,56056	400	NI	6,56	130	27	SD	59,01	6,00	150	ND	ND	0,50	<0,15	0,70	0,04	14,30	1,43	13,80	0,78	21,17	1,35	1,20	11,31	S
pozo	63	Abatiá	590	-23,30611	-50,32139	>135	NI	7,66	180	24	SD	36,88	8,40	350	ND	ND	1,90	3,80	1,20	0,03	9,40	1,73	20,30	6,19	52,19	1,47	0,91	47,43	N
pozo	64	Ribeirão do Pinhal	610	-23,34722	-50,33861	75	NI	4,71	10	22	SD	4,10	7,00	100	ND	ND	<0,3	0,80	1,50	<0,02	0,80	0,89	0,97	0,60	10,69	0,16	0,13	18,82	S
pozo	65	Cambará	560	-23,04250	-50,06944	220	NI	7,85	160	25	SD	44,26	7,30	200	ND	ND	1,60	1,60	0,90	0,15	14,20	0,95	21,20	1,31	38,93	1,70	0,99	53,26	N
pozo	66	Concórdia	546	-27,24167	-52,03333	657	NI	9,20	630	31	10,00	95,07	3,80	650	ND	ND	74,10	44,00	0,60	0,88	136,00	0,36	1,62	<0,10	15,40	6,00	4,74	23,50	N
pozo	67	Sao Cristóvão do Sul	1017	-27,30000	-50,43333	176	NI	6,47	120	18	SD	31,14	4,60	150	ND	ND	0,60	2,60	1,60	0,56	5,20	1,64	12,80	5,59	45,34	0,91	0,76	17,24	S
pozo	68	Feliz	0	-29,44361	-51,29722	150	NI	7,68	350	23	SD	78,68	8,60	200	ND	ND	3,20	34,50	0,90	0,56	20,70	0,46	35,80	9,31	56,68	2,70	2,66	1,70	S
pozo	69	Arroio do Meio	30	-29,39250	-51,94972	192	NI	6,48	110	22	SD	100,81	8,90	200	ND	ND	0,90	5,00	1,30	0,34	7,40	1,60	9,57	5,12	60,31	0,84	2,21	-89,89	N
pozo	70	São Francisco de Asis	115	-29,54556	-55,12500	111	NI	7,32	150	22	SD	43,44	8,30	200	ND	ND	0,40	3,70	0,80	1,40	136,00	0,36	15,20	1,86	41,28	6,68	1,07	144,88	N
pozo	71	Alegrete	102	-29,78778	-55,76972	138	NI	7,51	330	23	SD	181,13	7,80	350	ND	ND	2,20	9,20	0,70	0,64	15,90	1,15	44,00	12,60	59,46	2,92	3,97	-30,52	N
pozo	72	Uruguaiana	130	-29,94694	-56,62472	272	NI	8,65	604	25	SD	260,63	7,40	401	ND	ND	24,70	28,00	SD	0,50	80,00	2,00	45,00	11,00	ND	5,78	6,54	-12,38	S
pozo	73	Uruguaiana	130	-29,94694	-56,62472	215	NI	7,87	540	24	SD	13,11	SD	400	ND	ND	19,80	26,00	4,10	0,30	115,00	1,13	13,60	3,29	27,38	5,71	1,49	117,25	N
pozo	74	Amambai	460	-23,06389	-55,25583	150	NI	6,72	60	23	SD	18,85	6,00	100	ND	ND	<0,3	<0,15	0,70	0,02	2,20	1,10	6,48	2,97	37,86	0,45	0,36	21,17	N
pozo	75	Dourados	380	-22,21667	-54,83333	2500	NI	8,06	150	37	SD	44,26	9,20	100	ND	ND	0,60	<0,15	0,60	0,02	13,90	1,68	19,20	1,90	20,32	1,61	0,91	55,56	N
pozo	76	Maracajú	380	-21,65944	-55,16278	150	NI	8,04	120	27	SD	53,27	8,40	200	ND	ND	0,50	<0,15	0,80	<0,02	3,20	1,59	20,90	4,22	32,30	1,22	1,09	11,76	S
pozo	77	Sidrolândia	400	-20,93583	-54,96861	95	NI	6,89	70	25	SD	36,88	7,60	200	ND	ND	0,20	<0,15	0,80	<0,02	2,50	1,02	7,72	3,65	37,43	0,52	0,75	-36,68	N
pozo	78	Campo Grande	510	-20,43694	-54,65361	231	NI	6,48	250	26	SD	32,78	7,50	500	ND	ND	0,40	14,00	10,00	0,01	3,50	3,07	22,20	13,20	58,39	1,34	1,22	9,41	S

ND: no determinado

NI: no indicado



Tabla A1.2. Datos químicos de da Rosa Filho et al. (2005). En la última columna se indica con N aquellos análisis no usados para el estudio por su elevado error de balance.

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. Pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. Carb. (mg/L CaCO ₃)	Alc. Bicar. (mg/L CaCO ₃)	Dureza (mg/L CaCO3)	RS* (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Aceptable (≤ 20)
Pozo	SANEPAR P1	Cambará	457	-23,04528	-50,08024	NI	NI	7,80	182	27,2	0,00	116,00	65,50	164	0,01	0,80	1,50	0,3	18,00	1,30	25,20	0,60	46,50	2,13	1,96	7,87	S
Pozo	SANEPAR P4	Cambará	491	-23,04163	-50,06971	NI	NI	7,40	354	25,2	0,00	223,50	164,30	293	0,01	2,40	1,80	0,2	16,00	2,10	48,00	10,80	74,90	4,04	3,77	6,84	S
Pozo	SANEPAR P1	Andirá	442	-23,05360	-50,22296	NI	NI	8,30	260	34,7	11,90	146,10	36,20	193	0,01	0,40	0,40	0,4	48,00	1,90	13,70	0,50	32,60	2,86	2,83	1,09	S
Pozo	SAAE- P1	Bandeirantes	448	-23,10031	-50,24897	NI	NI	9,10	301	36,9	28,50	106,30	4,25	235	33,00	5,20	0,30	0,4	85,00	0,80	1,60	0,05	24,10	3,80	3,55	6,74	S
Pozo	Yara	Bandeirantes	ND	-23,05230	-50,43783	NI	NI	9,30	1130	31,5	57,00	175,10	2,73	766	232,00	103,50	0,00	6,1	305,00	1,30	1,00	0,05	29,10	13,35	12,84	3,88	S
Pozo	CCSI - P1	Cornélio Procopio	688	-23,18728	-50,63642	NI	NI	9,60	524	45,7	80,80	85,60	2,23	314	35,00	12,80	0,00	1,0	113,00	0,90	0,60	0,20	52,70	4,98	5,24	-5,02	S
Pozo	CCSI - P2	Cornélio Procopio	NI	-23,18728	-50,63642	NI	NI	9,20	368	42,4	39,20	84,60	4,76	242	48,00	9,80	0,00	0,0	86,00	0,80	1,80	0,05	36,00	3,85	3,97	-2,96	S
Pozo	CCSI - P3	Cornélio Procopio	NI	-23,18728	-50,63642	NI	NI	9,50	494	43,8	59,40	97,80	2,33	316	52,00	12,10	0,00	0,7	108,00	7,00	0,70	0,20	43,80	4,93	5,04	-2,37	S
Pozo	Aldeia Laranjinha	Santa Amélia	588	-23,28552	-50,40870	NI	NI	7,70	305	24,6	0,00	476,30	116,30	252	0,01	1,20	0,00	0,2	18,00	2,50	44,80	4,90	74,90	3,49	7,85	-76,93	N
Pozo	SAMAE - Matida	Abatiá	588	-23,30647	-50,32061	NI	NI	7,40	196	24,5	0,00	114,70	83,20	186	0,01	2,20	3,50	0,3	11,00	1,90	23,60	5,90	68,50	2,19	2,01	8,45	S
Pozo	Termas	Londrina	482	-23,32992	-51,08973	NI	NI	9,48	579	45,0	54,70	89,40	2,10	308	52,00	14,20	0,00	1,9	105,00	0,80	0,70	0,07	47,20	4,63	4,87	-5,18	S
Pozo	SANEPAR P2	Jardim Alegre	608	-24,17255	-51,69044	NI	NI	9,30	1544	32,0	12,00	6,10	482,00	1046	672,00	337,00	0,00	1,7	430,00	40,00	192,00	0,50	ND	29,36	24,08	19,75	S

NI: no indicado

ND: no determinado

RS*: los autores lo reportan con TDS pero en el texto dicen que es RS a 103 °C



Tabla A1.3. Datos químicos de da Silva (1983). En la última columna se indica con N aquellos análisis no usados para el estudio por su elevado error de balance.

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Profundidad ad pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T° (°C)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	STD (mg/L)	RS 105 °C (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Aceptable (≤ 20)
medidos en laboratorio																												
pozo	8	Jales	433	-20,27657	-50,55469	1323	07/05/1981	9,01	365,0	52,0	4,10	282,65	231	117,12	26,4	27	20,4	0,02	0,62	92,00	1,20	1,00	0,40	44,00	4,11	3,97	3,55	S
pozo	9	Pemandópolis	440	-20,27036	-50,20376	1460	17/10/1978	8,80	461,0	58,7	4,60	309,60	337	112,24	18,0	36	46,5	0,01	0,58	102,00	0,80	1,50	0,20	8,70	4,55	4,53	0,36	S
pozo	10	Pemandópolis	480	-20,28219	-50,22237	1683	28/10/1981	9,20	604,0	56,0	12,30	369,73	377	98,82	22,8	56	61,7	0,00	0,78	126,00	1,80	3,69	0,75	31,00	5,77	5,33	8,02	S
pozo	11	Olimpia	499	-20,68827	-48,48532	2567	08/12/1981	9,75	347,0	47,0	2,60	248,65	231	101,26	39,6	14	7,0	0,08	0,33	77,00	0,30	0,76	0,17	37,00	3,41	3,49	-2,32	S
pozo	17	São José do Rio Preto	467	-20,80752	-49,37324	1100	08/12/1981	9,70	410,0	42,0	4,70	281,97	270	117,12	39,6	13	13,0	0,08	0,62	91,00	0,50	1,60	0,17	28,00	4,06	3,91	3,82	S
pozo	18	São José do Rio Preto	490	-20,78956	-49,44260	1136	15/06/1979	9,30	237,0	42,0	8,10	141,72	118	53,68	14,4	20	5,5	0,05	0,46	43,00	1,50	3,00	0,20	24,00	2,07	1,96	5,84	S
pozo	22	Batatais	700	-20,86943	-53,53690	266	01/12/1976	9,29	84,0		8,00	66,39	61	40,26	5,4	1	0,5	0,01	0,20	12,80	4,60	3,20	0,00	1,20	0,83	0,89	-5,98	S
pozo	23	Catanduva	496	-21,14098	-48,96817	860	27/10/1981	9,50	344,0	35,0	9,00	251,27	219	104,92	46,8	5	1,3	0,02	0,50	77,00	0,30	2,41	0,73	25,00	3,54	3,45	2,54	S
pozo	24	Monte Alto	585	-21,22475	-48,48307	581	27/10/1981	8,30	173,0	36,2	58,20	130,39	222	102,48	1,2	3	0,8	0,00	0,19	16,00	2,40	20,00	1,99	13,00	1,92	1,82	5,66	S
pozo	25	Jaboticabal	540	-21,24477	-48,28916	266	27/07/1982	8,15	215,0	22,0	45,30	154,79	133	115,90	0,0	2	9,8	0,00	0,19	28,40	1,80	16,80	0,80	16,10	2,19	2,23	-1,86	S
pozo	29	Ribeirão Preto	517	-21,16195	-53,81230	67	15/03/1982	6,43	45,0	26,0	14,00	29,44	ND	23,18	0,0	0	0,5	0,09	0,15	1,00	4,00	2,80	1,90	3,00	0,44	0,40	9,16	S
pozo	34	Sertãozinho	523	-21,14073	-53,99135	115	10/02/1982	8,25	155,0	26,0	68,50	107,26	109	90,28	0,0	0	0,0	0,09	0,10	3,90	3,00	24,30	1,90	18,20	1,62	1,49	8,44	S
pozo	36	Serrana	645	-21,23930	-53,56966	75	01/04/1982	6,38	129,0	26,0	58,00	74,84		54,90	0,0	0	4,5	1,06	0,78	3,50	1,50	12,00	7,00	3,00	1,37	1,08	22,99	N
pozo	44	Novo Horizonte	451	-21,47447	-49,22795	600	27/10/1981	9,50	418,0	34,5	10,30	300,47	535	124,44	5,4	15	11,2	0,00	1,09	98,00	0,70	2,45	1,02	27,00	4,49	2,91	42,75	N
pozo	46	Jaboticabal	555	-21,25550	-48,31093	456	28/01/1977	7,59	260,0	ND	98,00	162,31	228	104,92	0,0	3	10,5	9,30	0,30	11,00	4,50	31,50	4,60	39,80	2,55	2,24	12,64	S
pozo	49	Guatapar	514	-21,49781	-48,03902	130	16/03/1982	6,58	53,0	23,0	18,00	34,14	ND	26,84	0,0	0	1,0	0,05	0,19	1,30	3,30	4,40	1,90	3,00	0,52	0,48	7,69	S
pozo	50	Guatapar	590	-21,35518	-48,22305	600	08/05/1982	8,20	181,0	32,5	62,80	135,83	117	115,90	0,0	0	0,0	0,04	0,18	15,40	2,70	18,40	4,10	10,70	2,00	1,91	4,40	S
pozo	52	São Simão	613	-21,46691	-53,56399		14/04/1982	6,30	60,0	25,0	28,00	29,28	ND	12,20	0,0	1	4,0	0,29	0,39	2,60	2,10	4,80	4,10	2,00	0,74	0,36	69,90	N
pozo	54	São Simão	663	-21,41554	-53,55817	125	14/05/1982	6,50	84,0	25,0	42,00	51,63	ND	35,38	0,0	0	4,0	0,32	0,11	1,90	1,70	10,90	3,70	2,00	0,98	0,70	32,39	N
pozo	56	Serra Azul	600	-21,30939	-53,56192	196	09/02/1982	6,30	34,0	24,5	11,20	21,75	44	17,08	0,0	0	0,0	0,12	0,00	1,30	2,30	3,33	0,69	17,40	0,34	0,28	18,27	S
pozo	59	Lins	417	-21,69287	-49,75541	3452	28/10/1981	9,80	512,0	41,2	8,51	368,33	327	103,70	87,0	13	4,7	0,00	1,02	116,00	0,60	2,37	0,63	37,00	5,23	5,06	3,35	S
pozo	61	Itápolis	460	-21,60505	-48,81545	277	01/07/1976	7,66	159,0	23,0	73,00	129,33	149	109,80	0,0	0	1,3	0,75	0,17	8,50	2,10	20,70	5,20	50,00	1,89	1,86	1,53	S
pozo	62	Ibitinga	460	-21,74152	-48,82451	434	12/02/1982	9,80	440,0	31,0	7,62	324,20	145	156,16	37,2	22	8,0	0,18	0,63	100,00	0,70	2,13	0,56	16,70	4,52	4,52	-0,03	S
pozo	65	Matão	542	-21,59842	-48,37037	300	26/03/1981	7,30	334,0	24,0	148,00	206,92	240	158,60	0,0	0	11,0	3,40	0,10	5,50	6,50	36,70	13,70	33,50	3,37	2,97	12,56	S
pozo	66	Araraquara	535	-21,72534	-48,01796	100	29/04/1982	7,85	65,0	23,0	28,00	52,01	ND	41,48	0,0	0	1,0	0,03	0,18	2,90	4,20	6,80	2,90	3,00	0,81	0,72	12,29	S
pozo	76	Sta. Rosa Vit.	780	-21,52577	-53,36913	109	21/03/1980	6,60	33,0	24,0	11,00	20,30	53	17,08	0,0	0	0,0	0,03	0,00	0,00	2,00	3,40	0,60	9,80	0,27	0,28	-3,61	S
pozo	79	Boa Esperanza do Sul	550	-21,98449	-48,45247	151	16/03/1982	6,13	6,0	22,0	2,00	4,16	ND	2,44	0,0	0	0,5	0,06	0,40	0,20	0,50	0,00	0,50	1,00	0,06	0,08	-19,42	S
pozo	80	Araraquara	602	-21,78485	-48,19455	300	26/03/1981	6,30	68,0	28,2	25,00	42,13	68	32,94	0,0	0	1,0	0,00	0,23	1,10	4,40	5,60	2,70	35,00	0,66	0,58	13,24	S
pozo	83	Ibaté	828	-21,95426	-54,00034	192	10/05/1982	6,30	75,0	23,0	24,95	37,91	ND	18,30	0,0	0	4,0	2,40	0,11	2,40	4,00	10,00	0,00	3,00	0,71	0,46	42,87	N
pozo	85	Descalvado	672	-21,91997	-53,63153	83	19/04/1982	7,48	65,0	22,0	45,00	52,95	ND	40,26	0,0	0	1,0	0,14	0,11	2,10	2,60	7,50	6,50	4,00	1,07	0,70	42,13	N



Tabla A1.3. Datos químicos de da Silva (1983). En la última columna se indica con N aquellos análisis no usados para el estudio por su elevado error de balance. (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Profundidad ad pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T° (°C)	Dureza (mg/L CaCO3)	STD (mg/L)	RS 105 °C (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Aceptable (≤ 20)
medidos en laboratorio																												
pozo	87	Presidente Prudente	407	-22,12210	-51,41403	1800	18/01/1982	8,95	1110,0	63,0	12,20	662,55	650	207,40	13,2	92	133,0	0,02	13,30	225,00	2,20	4,49	0,24	32,00	10,08	10,20	-1,19	S
pozo	89	Bariri	435	-22,07943	-48,73848	145	26/03/1981	7,02	425,0	25,4	117,00	176,38	156	152,50	0,0	0	1,0	0,00	0,10	2,90	4,10	37,60	5,60	26,00	2,57	2,53	1,51	S
pozo	90	Bocaina	560	-22,13354	-48,51666	312	15/08/1980	7,70	311,0	27,0	147,00	226,47	222	192,76	0,0	0	3,5	0,00	0,20	7,20	2,00	50,40	5,10	44,00	3,30	3,27	1,06	S
pozo	93	São Carlos	835	-22,02534	-53,88751	140	10/05/1982	5,98	77,0	23,0	27,50	32,75	ND	15,86	0,0	0	2,5	3,25	0,00	2,20	2,60	6,00	3,20	3,00	0,73	0,38	61,84	N
pozo	94	São Carlos	805	-22,02082	-53,88800	130	20/12/1972	6,53	48,0	ND	18,00	30,54	66	25,62	0,0	0	0,5	0,04	0,10	1,20	1,70	5,00	1,00	32,00	0,43	0,44	-2,77	S
pozo	98	São Carlos	715	-22,20032	-53,89457	50	18/02/1982	5,40	10,0	24,0	1,90	2,35	ND	1,22	0,0	0	0,5	0,00	0,09	0,10	0,20	0,00	0,46	8,00	0,05	0,04	19,74	S
pozo	104	Itirapina	880	-22,23323	-53,74012	129	05/02/1980	5,45	5,6	23,4	3,10	3,55	31	2,44	0,0	0	0,5	0,04	0,00	0,00	0,10	0,30	0,60	7,30	0,07	0,05	20,07	S
pozo	105	Parag.Pta.	474	-22,41847	-50,60647	3663	18/01/1982	9,35	605,0	48,0	1,70	398,67	371	118,34	86,4	10	16,4	0,00	1,91	128,00	0,60	0,48	0,12	49,00	5,61	5,59	0,42	S
pozo	109	Piratinínga	480	-22,39943	-49,11934	140	30/03/1979	9,28	173,0	ND	9,10	85,84	137	40,26	10,2	5	2,0	0,03	0,10	25,00	0,40	2,70	0,60	22,00	1,28	1,17	9,42	S
pozo	111	Bauru	510	-22,32302	-49,03544	295	20/01/1982	8,75	141,0	25,6	14,60	99,08	100	75,64	3,6	0	0,5	0,06	0,19	23,50	1,10	5,49	0,22	17,50	1,34	1,39	-3,12	S
pozo	117	Pederneiras	450	-22,35345	-48,76999	298	20/01/1982	7,30	204,0	25,0	101,00	160,69	148	126,88	0,0	10	0,4	0,08	0,10	1,80	5,20	37,00	2,10	24,00	2,23	2,31	-3,17	S
pozo	118	Pederneiras	495	-22,44654	-48,77628	176	05/09/1980	7,90	139,0	25,0	48,10	87,87	98	71,98	0,0	0	3,6	0,04	0,00	5,70	2,00	14,80	2,70	38,00	1,26	1,28	-1,64	S
pozo	120	Agudos	590	-22,48595	-48,99330	406	19/05/1981	8,10	180,0	27,2	68,50	133,34	120	111,02	0,0	3	0,9	0,04	0,10	10,80	2,10	22,30	3,10	11,20	1,89	1,91	-1,07	S
pozo	122	Barra Bonita	444	-22,49930	-48,55438	114	12/02/1982	7,10	184,0	24,0	82,80	122,90	294	100,04	0,0	0	3,0	0,80	0,23	4,80	2,40	24,30	5,37	44,00	1,93	1,75	9,66	S
pozo	126	Jau	440	-22,34688	-48,68808	400	26/03/1981	7,97	143,0	28,0	55,00	104,03	94	87,84	0,0	0	1,0	0,01	0,12	7,30	2,70	19,00	1,90	21,00	1,49	1,47	1,23	S
pozo	128	Itirapina	775	-22,25735	-53,80799	130	05/02/1980	5,85	12,0	24,4	3,60	8,46	39	6,10	0,0	0	0,5	0,04	0,00	0,30	1,40	0,80	0,40	13,90	0,12	0,11	5,95	S
pozo	135	Macatuba	500	-22,50752	-48,71408	228	20/01/1982	6,50	125,0	23,2	54,10	82,06	107	65,88	0,0	0	2,3	1,63	0,10	3,70	2,00	13,80	4,79	32,00	1,30	1,18	9,70	S
pozo	144	São Pedro	590	-22,57423	-48,00535	150	31/01/1980	6,50	14,0	22,2	7,30	10,84	30	7,32	0,0	0	1,5	0,32	0,00	0,00	0,70	1,30	1,00	12,40	0,17	0,17	-1,33	S
pozo	146	Sta. C. Pardo	440	-22,91756	-50,59871	124	20/01/1982	8,80	112,0	25,0	13,70	79,61	91	57,34	4,2	0	0,5	0,06	0,22	19,00	0,50	5,05	0,27	24,00	1,11	1,11	0,63	S
pozo	148	Aguas S. Barb	560	-22,88075	-49,23752	120	20/01/1982	8,20	143,0	27,0	52,60	106,56	109	89,06	0,0	0	0,6	0,04	0,25	9,30	2,40	20,80	0,15	35,00	1,52	1,49	1,82	S
pozo	149	Botucatu	630	-22,82839	-48,34159	134	24/02/1981	5,96	23,0	23,5	4,70	11,98	46	6,10	0,0	0	1,0	0,77	0,00	0,80	2,90	0,90	0,60	19,00	0,20	0,14	36,49	N
pozo	150	Botucatu	615	-22,87014	-48,34419	140	24/02/1981	5,94	10,0	24,0	3,60	6,90	31	3,66	0,0	0	1,2	0,38	0,00	0,30	0,80	0,80	0,40	11,40	0,11	0,10	6,29	S
pozo	154	Pirajiu	540	-23,18577	-49,38691	322	24/02/1980	7,90	195,0	26,8	57,80	135,01	158	112,24	0,0	0	1,5	0,40	0,00	17,00	1,80	21,00	1,30	54,00	1,94	1,89	2,79	S
pozo	155	B. de Campo	660	-23,01918	-49,48061	509	23/09/1982	8,25	200,0		77,60	149,88	158	124,44	0,0	0	2,2	0,10	0,14	14,50	1,60	26,60	2,70	37,00	2,22	2,11	5,20	S
pozo	157	Avaré	640	-23,21754	-48,97179	150	03/02/1981	7,73	129,0	22,5	56,30	96,69	151	85,40	0,0	0	0,5	0,04	0,14	4,40	2,20	14,50	4,90	49,00	1,38	1,42	-3,30	S
pozo	159	Avaré	760	-23,09462	-48,92776	420	19/08/1982	8,40	210,0	27,6	80,50	168,95	164	137,86	0,0	3	2,2	0,06	0,27	20,00	1,20	24,50	4,70	41,00	2,51	2,40	4,58	S
pozo	160	Sarutaia	750	-23,27072	-49,48364	152	08/07/1981	7,20	84,0	22,4	27,90	61,04	99	50,02	0,0	0	0,3	0,04	0,17	6,10	2,90	9,50	1,00	39,00	0,90	0,84	6,76	S
pozo	162	Avaré	(indesciftable)	-23,28845	-49,00932	100	26/02/1981	5,99	16,0	22,0	9,10	12,39	38	8,54	0,0	0	0,4	0,04	0,00	0,30	1,90	1,00	1,60	14,00	0,24	0,15	46,26	N
pozo	174	Tres Lagoas	315	-20,89990	-51,74779	4582	28/10/1981	9,20	778,0	45,5	11,80	479,14	471	161,04	26,4	50	86,2	0,00	1,49	160,00	0,80	4,49	0,15	23,00	7,21	7,07	2,04	S
pozo	176	Londrina	450	-23,36330	-51,18835	969	20/11/1981	9,10		48,0	26,00	####	1212	0,00	31,2	438	270,0	0,00	12,00	368,00	2,08	8,21	1,45	17,50	16,58	18,40	-10,40	S
pozo	177	C. Procópio	650	-23,18235	-50,64580	650	19/01/1982	9,80	480	45,0	3,59	326,85	229	101,26	60,6	26	13,0	0,10	0,76	101,00	0,60	1,24	0,12	44,00	4,48	4,63	-3,31	S

ND: no determinado

L: medido en laboratorio

T*: la autora dice que no se midió nada en campo, pero es improbable que la temperatura sea de laboratorio.



Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	medido en laboratorio															Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
										pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)						
Río	1 - sd	Rio_Iguazú_Usina_Fo z do Areia	641	-25,99147	-51,68021	6,11	61,2	20	15	7,11	51	26,57	0,00	<1	4,83	ND	0,05	5,20	2,30	5,43	1,68	ND	0,69	0,60	15,44	S		
Río	2 - sd	Rio_Iguazú_Usina_de Salto Caxias	267	-25,54130	-53,50960	6,40	42,6	23,3	18	7,26	40	25,36	0,00	<1	2,27	ND	0,07	2,80	1,70	4,13	1,39	ND	0,49	0,50	-3,65	S		
Río	3 - sd	Rio Chopim	371	-25,57171	-53,11538	7,36	ND	ND	ND	ND	37	21,74	0,00	<1	2,00	ND	0,03	1,90	1,50	3,64	1,60	ND	0,43	0,44	-0,11	S		
Fuente	4 - sd	Santa Clara	745	-25,63646	-51,96420	9,23	185,9	28,3	ND	ND	105	70,88	21,96	<1	1,61	ND	0,36	47,20	0,80	2,08	0,36	ND	2,21	1,98	10,86	S		
Fuente	5 - sd	São Francisco	510	-25,72718	-52,19496	9,18	190,5	28,9	ND	ND	109	75,15	17,40	24,66	1,95	ND	0,34	46,80	0,60	3,45	0,05	ND	2,23	1,91	15,54	S		
Fuente	6 - sd	Vereador 1	697	-25,38700	-51,97737	9,55	239,0	28,8	ND	ND	184	55,55	45,14	13,95	1,05	ND	0,34	59,40	0,50	0,85	0,22	ND	2,66	2,48	6,71	S		
Fuente	7 - sd	Vereador 2	681	-25,37941	-51,98320	9,54	218,0	26,7	ND	ND	160	30,19	54,65	<1	0,33	ND	0,35	53,60	0,50	1,62	0,19	ND	2,44	2,37	3,11	S		
Fuente	8 - sd	Águas do Paulino	529	-26,07380	-52,57813	9,56	250,0	31,6	ND	ND	152	361,7	37,90	27,42	2,44	ND	0,85	68,60	0,80	0,97	0,12	ND	3,06	7,33	-82,13	N		
Fuente	9 - sd	Fazenda (Saudade do Iguacu)	418	-25,65269	-52,63595	9,54	412,0	32,8	ND	ND	247	94,09	39,20	38,48	28,31	ND	0,57	81,20	0,60	2,28	0,29	ND	3,68	3,70	-0,37	S		
Fuente	10 - sd	Termas de Sulina	397	-25,67297	-52,70638	8,93	802,0	33,8	ND	ND	481	191,9	37,42	58,91	93,75	ND	1,24	158,00	1,30	3,34	0,27	ND	7,09	7,12	-0,40	S		
Fuente	11 - sd	Fazenda (Verê)	419	-25,75256	-52,92211	8,81	740,0	32,1	ND	ND	370	116,5	38,88	36,00	141,00	ND	0,36	158,00	0,90	1,40	0,36	ND	6,99	7,22	-3,17	S		
Fuente	12 - sd	Hotel	428	-25,76129	-52,94970	8,96	442,0	36,5	ND	ND	212	113	46,56	29,70	31,57	ND	0,17	103,00	0,70	1,12	0,15	ND	4,56	4,32	5,43	S		
Río	15 - sd	Rio Guaraní	329	-25,44037	-53,11308	7,13	37,5	27,1	23	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
Río	16 - sd	Rio Jordão	745	-25,63646	-51,96420	6,73	13,8	19,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
Río	17 - sd	Rio Jacutinga	329	-25,43534	-53,43761	7,73	51,0	22,9	24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
Río	18 - sd	Rio Tormenta	365	-25,39913	-53,35464	7,75	30,4	24,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
Río	19 - sd	Rio_Cavernoso_PSD 01	614	-25,41864	-52,06782	6,42	30,3	20,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
Río	20 - sd	Rio_Cavernoso_PSD 02	544	-25,49419	-52,21241	6,55	30,3	24,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				Incompleto		
arroyo	IG-043	NI	NI	NI	NI	7,00	31,9							0,22	0,29		0,01	1,16	2,74	3,07	1,33		0,38	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-044	NI	NI	NI	NI	6,80	20,4							0,22	0,22		0,01	0,99	1,51	1,70	0,66		0,22	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-045	NI	NI	NI	NI	6,80	23,8							0,23	0,13		0,01	0,94	1,97	2,29	1,01		0,29	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-046	NI	NI	NI	NI	6,90	27,0							0,01	0,01		0,01	1,14	1,06	1,83	0,82		0,24	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-049	NI	NI	NI	NI	6,90	32,3							0,01	0,01		0,01	1,09	0,92	2,47	1,12		0,29	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-050	NI	NI	NI	NI	6,90	19,8							0,01	0,01		0,01	0,89	1,14	1,16	0,41		0,16	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-051	NI	NI	NI	NI	6,90	21,9							0,01	0,01		0,01	0,94	1,22	1,47	0,52		0,19	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-052	NI	NI	NI	NI	6,70	15,5							0,02	0,21		0,05	0,57	0,70	1,32	0,59		0,16	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-053	NI	NI	NI	NI	6,90	22,0							0,02	0,01		0,01	0,61	0,44	1,57	0,78		0,18	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-054	NI	NI	NI	NI	6,60	19,5							0,03	0,75		0,01	0,72	0,67	1,69	0,76		0,20	0,04	#####	Incompleto		
arroyo	IG-055	NI	NI	NI	NI	6,60	26,6							0,05	0,18		0,01	0,80	0,58	2,73	1,21		0,29	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-056	NI	NI	NI	NI	6,70	34,2							0,06	0,33		0,01	0,88	0,62	3,59	1,63		0,37	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-057	NI	NI	NI	NI	6,80	37,2							0,05	0,40		0,01	1,00	0,62	3,69	1,70		0,38	0,03	#####	Incompleto		
arroyo	IG-058	NI	NI	NI	NI	6,70	41,0							0,18	0,53		0,01	1,07	0,72	4,09	1,77		0,42	0,04	#####	Incompleto		
arroyo	IG-059	NI	NI	NI	NI	6,80	38,4							0,01	0,01		0,01	0,94	0,38	3,14	1,50		0,33	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-067	NI	NI	NI	NI	6,90	20,1							0,01	0,01		0,01	0,56	0,48	1,32	0,63		0,15	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-068	NI	NI	NI	NI	6,20	31,8							0,19	0,58		0,01	0,70	0,68	2,70	1,33		0,29	0,04	#####	Incompleto		
arroyo	IG-070	NI	NI	NI	NI	6,80	34,3							0,01	0,01		0,01	0,91	0,45	2,47	1,15		0,27	0,02	#####	Incompleto		
arroyo	IG-071	NI	NI	NI	NI	6,90	41,4							0,04	0,02		0,01	1,07	0,44	2,68	1,31		0,30	0,02	#####	Incompleto		

NI: no indicado

ND: no determinando



Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
arroyo	IG-072	NI	NI	NI	NI	6,90	45,6							0,04	0,03		0,01	1,11	0,56	3,40	1,66		0,37	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-073	NI	NI	NI	NI	6,80	33,6							0,01	0,02		0,01	0,77	0,43	2,21	1,14		0,25	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-074	NI	NI	NI	NI	6,80	32,0							0,01	0,03		0,01	0,65	0,43	2,07	1,06		0,23	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-075	NI	NI	NI	NI	6,90	25,3							ND	0,02		0,01	0,71	0,59	1,40	0,68		0,17	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-076	NI	NI	NI	NI	6,80	40,8							0,02	0,08		0,01	0,80	0,65	2,29	1,24		0,27	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-077	NI	NI	NI	NI	6,80	54,1							0,04	0,04		0,01	1,11	0,56	3,15	1,75		0,36	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-078	NI	NI	NI	NI	6,80	53,4							0,04	0,21		0,01	1,54	0,66	2,95	1,55		0,36	0,03	####	Incompleto
arroyo	IG-079	NI	NI	NI	NI	6,90	33,8							0,03	0,04		0,01	1,01	0,60	2,08	1,09		0,25	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-080	NI	NI	NI	NI	6,80	50,0							0,01	0,06		0,01	1,58	1,04	3,52	1,85		0,42	0,02	####	Incompleto
arroyo	IG-081	NI	NI	NI	NI	6,50	58,8							0,24	0,78		0,01	1,64	0,84	4,78	2,51		0,54	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-082	NI	NI	NI	NI	6,50	59,7							0,21	0,42		0,06	1,78	0,90	5,65	2,85		0,62	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-083	NI	NI	NI	NI	6,70	64,4							0,35	0,81		0,04	1,93	1,00	6,03	3,10		0,67	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-084	NI	NI	NI	NI	6,80	63,1							0,39	1,53		0,01	1,96	1,16	5,57	2,84		0,63	0,06	####	Incompleto
arroyo	IG-085	NI	NI	NI	NI	6,70	62,1							0,34	0,95		0,01	1,75	0,94	5,21	2,75		0,59	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-086	NI	NI	NI	NI	6,50	64,7							0,48	0,60		0,01	1,73	0,84	5,70	3,01		0,63	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-087	NI	NI	NI	NI	6,70	65,2							0,51	0,60		0,01	2,37	0,83	6,23	3,20		0,70	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-089	NI	NI	NI	NI	6,60	63,2							0,56	1,31		0,01	1,89	1,25	4,86	2,51		0,56	0,06	####	Incompleto
arroyo	IG-090	NI	NI	NI	NI	6,70	34,5							0,03	0,57		0,01	0,74	0,64	2,85	1,64		0,33	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-091	NI	NI	NI	NI	6,70	55,5							0,25	0,49		0,01	1,49	0,54	5,12	2,68		0,56	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-092	NI	NI	NI	NI	6,20	49,9							0,16	0,35		0,00	0,94	0,53	4,74	2,36		0,49	0,03	####	Incompleto
arroyo	IG-093	NI	NI	NI	NI	6,90	49,9							0,33	0,58		0,01	1,00	0,93	4,62	2,55		0,51	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-094	NI	NI	NI	NI	6,80	87,2							1,00	1,18		0,01	2,62	1,25	7,70	3,75		0,84	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-095	NI	NI	NI	NI	6,90	89,0							0,52	0,90		0,01	2,81	0,95	7,47	3,80		0,83	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-096	NI	NI	NI	NI	6,90	74,8							0,31	0,87		0,01	1,77	0,89	6,64	3,49		0,72	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-097	NI	NI	NI	NI	7,00	77,2							0,44	1,01		0,01	1,89	0,78	6,32	3,24		0,68	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-098	NI	NI	NI	NI	7,00	72,0							0,26	0,91		0,01	1,70	0,88	5,51	2,97		0,62	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-099	NI	NI	NI	NI	6,70	78,4							0,50	0,78		0,01	2,17	0,83	6,67	2,49		0,65	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-100	NI	NI	NI	NI	6,80	52,2							0,06	0,93		0,01	1,34	0,56	4,58	2,36		0,50	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-101	NI	NI	NI	NI	6,90	77,5							0,52	0,81		0,01	2,23	0,80	7,26	3,71		0,79	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-102	NI	NI	NI	NI	6,70	91,7							0,82	2,11		0,38	3,47	1,54	8,56	4,36		0,98	0,10	####	Incompleto
arroyo	IG-104	NI	NI	NI	NI	6,90	98,5							0,85	1,78		0,09	4,03	1,15	9,20	4,34		1,02	0,08	####	Incompleto
arroyo	IG-105	NI	NI	NI	NI	6,90	61,0							0,01	0,95		0,01	1,86	0,67	5,91	3,04		0,64	0,05	####	Incompleto
arroyo	IG-106	NI	NI	NI	NI	6,90	62,7							0,24	0,55		0,01	1,73	0,61	5,94	3,11		0,64	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-136	NI	NI	NI	NI	6,30	33,9							0,22	0,16		0,01	0,97	0,61	3,20	1,50		0,34	0,03	####	Incompleto
arroyo	IG-142	NI	NI	NI	NI	6,83	30,5							0,19	0,45		0,06	1,10	0,80	2,41	0,97		0,27	0,04	####	Incompleto
arroyo	IG-143	NI	NI	NI	NI	6,78	20,7							0,11	0,35		0,04	0,90	1,00	1,51	0,75		0,20	0,03	####	Incompleto
arroyo	IG-144	NI	NI	NI	NI	6,72	25,5							0,24	0,56		0,08	1,70	2,30	2,03	1,09		0,32	0,04	####	Incompleto

NI: no indicado
ND: no determinando



Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
arroyo	IG-145	NI	NI	NI	NI	6,61	22,4							0,13	0,34		0,03	1,00	1,50	1,55	0,56		0,21	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-147	NI	NI	NI	NI	6,54	19,4							0,30	0,27		0,01	0,60	1,10	1,12	0,44		0,15	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-148	NI	NI	NI	NI	6,54	14,1							0,21	0,52		0,06	0,60	1,50	0,74	0,30		0,13	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-149	NI	NI	NI	NI	5,76	13,5							0,25	2,45		0,08	1,40	3,30	0,69	0,29		0,20	0,09	73,62	Incompleto
arroyo	IG-151	NI	NI	NI	NI	6,90	23,1							2,41	0,22		0,01	0,73	0,30	2,63	0,64		0,22	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-153	NI	NI	NI	NI	5,93	9,1							0,03	0,26		0,02	0,50	0,70	0,49	0,18		0,08	0,03	91,98	Incompleto
arroyo	IG-154	NI	NI	NI	NI	5,39	14,2							0,05	0,50		0,09	0,80	1,00	0,89	0,32		0,13	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-155	NI	NI	NI	NI	5,84	19,5							0,08	0,78		0,02	1,10	1,50	1,32	0,43		0,19	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-156	NI	NI	NI	NI	6,14	26,4							0,09	0,47		0,01	1,00	1,20	2,05	0,76		0,24	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-157	NI	NI	NI	NI	6,29	19,4							0,12	0,48		0,05	1,00	1,40	1,39	0,48		0,19	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-158	NI	NI	NI	NI	6,80	25,4							0,16	0,42		0,01	1,00	1,15	1,62	0,77		0,22	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-159	NI	NI	NI	NI	6,80	18,6							0,01	0,39		0,01	0,87	0,50	1,55	0,77		0,19	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-160	NI	NI	NI	NI	6,70	24,3							0,69	0,46		0,01	1,03	0,36	2,15	1,01		0,24	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-161	NI	NI	NI	NI	6,71	18,6							0,05	0,39		0,01	0,70	0,50	1,68	0,92		0,20	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-162	NI	NI	NI	NI	6,44	39,9							2,99	1,18		0,10	2,10	1,40	3,29	1,35		0,40	0,06	#####	Incompleto
arroyo	IG-163	NI	NI	NI	NI	6,48	31,5							1,16	1,47		0,04	1,80	1,30	2,88	1,17		0,35	0,06	#####	Incompleto
arroyo	IG-166	NI	NI	NI	NI	6,70	33,2							0,08	0,27		0,01	1,18	0,61	3,22	1,40		0,34	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-168	NI	NI	NI	NI	6,70	31,8							0,01	0,10		0,01	1,01	0,48	3,03	1,54		0,33	0,02	#####	Incompleto
arroyo	IG-169	NI	NI	NI	NI	6,70	44,5							0,28	0,30		0,01	2,08	0,67	3,88	1,65		0,44	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-170	NI	NI	NI	NI	6,70	36,4							0,01	0,26		0,01	1,10	0,58	3,21	1,67		0,36	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-171	NI	NI	NI	NI	6,70	37,8							0,16	0,34		0,01	1,35	0,74	3,39	1,57		0,38	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-172	NI	NI	NI	NI	6,70	33,0							0,02	0,26		0,01	1,14	0,53	3,06	1,47		0,34	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-173	NI	NI	NI	NI	6,80	40,7							0,87	0,68		0,03	2,14	0,78	3,71	1,94		0,46	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-174	NI	NI	NI	NI	6,37	29,5							0,68	1,01		0,02	1,00	2,10	2,33	1,06		0,30	0,05	#####	Incompleto
arroyo	IG-175	NI	NI	NI	NI	6,70	25,1							0,01	0,20		0,01	0,84	0,46	2,30	1,15		0,26	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-176	NI	NI	NI	NI	6,70	35,4							0,15	1,04		0,01	1,35	0,85	3,39	1,50		0,37	0,05	#####	Incompleto
arroyo	IG-177	NI	NI	NI	NI	6,50	35,7							0,08	0,48		0,01	1,20	0,58	3,19	1,58		0,36	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-178	NI	NI	NI	NI	6,60	35,0							0,43	0,46		0,01	1,03	0,62	3,14	1,72		0,36	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-179	NI	NI	NI	NI	6,50	28,1							0,06	0,15		0,01	0,80	0,51	2,35	1,17		0,26	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-180	NI	NI	NI	NI	6,50	27,0							0,22	0,16		0,01	0,81	0,44	2,13	1,11		0,24	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-182	NI	NI	NI	NI	6,60	68,2							0,33	0,66		0,03	1,53	0,86	6,02	3,14		0,65	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-183	NI	NI	NI	NI	6,70	71,8							0,34	0,51		0,01	1,79	0,65	6,05	3,26		0,67	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-184	NI	NI	NI	NI	6,70	38,5							0,14	0,77		0,05	1,04	0,50	3,13	1,75		0,36	0,05	#####	Incompleto
arroyo	IG-185	NI	NI	NI	NI	6,70	53,6							0,23	0,48		0,04	1,09	0,68	4,66	2,40		0,50	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-186	NI	NI	NI	NI	6,70	60,2							0,63	0,69		0,01	1,47	0,94	5,05	2,55		0,55	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-187	NI	NI	NI	NI	6,80	94,7							0,54	1,15		0,01	2,80	1,28	7,91	3,97		0,88	0,05	#####	Incompleto

NI: no indicado
ND: no determinando



Tabla A1.4. Datos químicos de de Souza (2004). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
						medido en campo				medido en laboratorio																
arroyo	IG-188	NI	NI	NI	NI	6,80	68,5							0,43	0,87		0,01	1,76	0,83	5,63	2,94		0,62	0,05	#####	Incompleto
arroyo	IG-189	NI	NI	NI	NI	6,90	59,9							0,28	1,28		0,01	1,65	0,81	4,98	2,51		0,55	0,06	#####	Incompleto
arroyo	IG-190	NI	NI	NI	NI	6,90	38,1							0,02	0,48		0,01	0,89	0,44	3,19	1,60		0,34	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-191	NI	NI	NI	NI	6,90	22,5							0,02	0,47		0,09	0,55	0,21	1,91	0,99		0,21	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-192	NI	NI	NI	NI	6,90	63,7							0,42	1,00		0,01	1,56	1,01	5,22	2,63		0,57	0,05	#####	Incompleto
arroyo	IG-193	NI	NI	NI	NI	6,90	45,1							0,10	0,43		0,01	1,09	0,62	3,76	1,89		0,41	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-194	NI	NI	NI	NI	7,00	29,9							0,08	0,38		0,01	0,76	0,38	2,54	1,27		0,27	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-195	NI	NI	NI	NI	6,90	37,4							0,21	0,65		0,01	1,14	0,47	2,99	1,36		0,32	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-196	NI	NI	NI	NI	6,90	60,1							0,17	0,55		0,03	1,38	0,65	4,92	2,47		0,53	0,04	#####	Incompleto
arroyo	IG-197	NI	NI	NI	NI	6,90	36,1							0,44	0,40		0,01	1,22	0,52	2,83	1,25		0,31	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-198	NI	NI	NI	NI	6,90	42,7							0,20	0,47		0,01	1,01	0,48	3,51	1,65		0,37	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-199	NI	NI	NI	NI	6,90	28,2							0,09	0,35		0,01	0,68	0,41	2,23	1,09		0,24	0,03	#####	Incompleto
arroyo	IG-201	NI	NI	NI	NI	6,80	62,6							0,26	0,55		0,01	1,47	0,71	5,15	2,61		0,55	0,04	#####	Incompleto
arroyo	PQ-008	NI	NI	NI	NI	6,60	54,2							0,16	0,44		0,04	1,64	1,22	5,83	2,61		0,61	0,04	#####	Incompleto
arroyo	PQ-010	NI	NI	NI	NI	6,75	47,4							0,12	0,33		0,01	1,20	1,00	4,50	2,25		0,49	0,03	#####	Incompleto
arroyo	PQ-011	NI	NI	NI	NI	6,80	76,6							0,37	0,30		0,03	3,04	0,98	8,15	3,82		0,88	0,03	#####	Incompleto

NI: no indicado

ND: no determinando



Tabla A1.5. Datos químicos de Gallo y Sinelli (1980)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	T (°C)	CE (µS/cm)	CO2 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200 (1)	Error aceptable (≤ 20)
							medido en		medido en laboratorio															
Pozo	1	Serrana	515	NI	NI	NI	6,2	25	64,7	36,8	37,4	0	1,5	0	ND	4	5	5,1	1,2	23	0,66	0,66	0,03	S
Pozo	2	Lagoinha	590	NI	NI	NI	6,85	23,5	22,8	3,1	13,8	0	1,5	0	ND	0,3	0,4	1,7	1	8,5	0,19	0,27	-33,94	N
Pozo	3	Tanquinho	513	NI	NI	NI	5,6	25	20,4	50	12,6	ND	1,5	0,1	ND	0,5	3,1	1,1	0,8	18,5	0,22			Incompleto
Pozo	4	Tanquinho	519	NI	NI	NI	5,85	25	29,2	39	17,6	0	1,5	0,3	ND	0,8	2,8	2,5	1	24	0,31	0,34	-6,75	S
Pozo	5	Botafogo	595	NI	NI	NI	6,05	23,8	27,1	21,3	15	0	2	0	ND	0,3	1,4	3,4	1,2	21,5	0,32	0,30	4,96	S
Pozo	6	Modiana	524	NI	NI	NI	6,1	25	38,6	28,2	22,6	ND	2	0,1	ND	1	2,8	4	1,3	21	0,42			Incompleto
Pozo	7	Pompolo	549	NI	NI	NI	6,2	26	69	33,7	34,6	0	1,5	0	ND	1,7	3,8	6,1	1,6	25	0,61	0,61	-0,28	S
Pozo	8	Via Café	528	NI	NI	NI	6,1	25,8	54,6	38	30,8	0	1,5	0	ND	1,6	4,2	5,1	1,7	26,5	0,57	0,55	4,42	S
Pozo	9	Sta. Teresa	531	NI	NI	NI	6,1	25	51	39,1	31,4	ND	1,5	0	ND	1,5	3	4,6	1,5	25,5	0,50			Incompleto
Pozo	10	Sta. Teresa	530	NI	NI	NI	6,15	25	81,9	42,2	38,1	0	2	0,5	ND	3,3	1,2	9,1	1,7	28,5	0,77	0,69	10,99	S
Pozo	11	Medicina	580	NI	NI	NI	6,3	26,5	100,7	45,7	59,7	0	1,5	SD	ND	2,8	4	8,6	2,2	30,5	0,84	1,02	-20,02	S
Pozo	12	Bomfin	550	NI	NI	NI	6,55	26	158	39,4	92,4	0	4	0,3	ND	5,1	4,2	18,9	5,6	29,5	1,74	1,63	6,11	S
Pozo	13	Sertãozinho	540	NI	NI	NI	7,7	26	161,1	3	99,3	0	4	0,1	ND	5,3	3,4	24	1,6	25,5	1,65	1,74	-5,49	S
Pozo	14	Barrinha	505	NI	NI	NI	8,1	31	149,6	1	93	0	4,5	0,1	ND	5,8	3	21,7	1,7	18,5	1,55	1,65	-6,18	S
Fuente	15	SD	SD	NI	NI	NI	6,4	22	108,6	45,8	72,3	0	2	0,5	ND	5,8	1,2	11,4	4,8	41	1,25	1,25	-0,14	S
Río Pardo	16	SD	SD	NI	NI	NI	7,6	25	42,4	1	27	ND	2,5	0,3	ND	2,2	2,2	4	1,5	12,5	0,48			Incompleto

NI: no indicado

ND: no determinado



Tabla A1.6. Datos químicos de Gastmans (2007).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
								medido en campo			medido en laboratorio																
pozo	ALC003	Alcinopolis	430	-18,32700	-53,70900	117	02/08/2004	6,21	124,0	26,7	ND	ND	124,39	51,60	0,32	2,01	22,21	0,12	0,50	6,80	19,90	1,80	40,72	1,34	1,27	5,48	S
pozo	AMA006	Amambai	463	-23,09700	-55,23600	160	05/08/2004	5,83	64,3	24,7	ND	ND	40,14	20,00	0,34	0,90	2,24	0,05	1,10	0,80	3,70	1,90	19,51	0,41	0,40	3,28	S
pozo	AMA007	Amambai	455	-23,10600	-55,21600	150	01/05/8104	6,54	101,1	23,3	ND	ND	102,35	56,40	0,28	1,98	3,12	0,06	3,00	1,50	9,30	4,80	46,93	1,03	1,04	-0,74	S
pozo	ARE001	Areado	390	-19,25300	-54,32800	150	17/03/2003	5,65	ND	29,5	ND	44,3	43,17	22,20	0,32	0,31	0,00	ND	0,16	5,69	2,02	1,66	23,12	0,39	0,38	2,80	S
pozo	BAI001	CorguinhoSD Baianopolis	318	-19,72900	-54,73700	100	29/07/2004	5,43	44,0	26,3	ND	ND	46,73	21,10	0,30	0,52	0,00	0,03	0,30	6,90	2,70	0,50	30,58	0,37	0,37	-0,31	S
pozo	BQR001	Boqueirao SD Jardim	391	-21,69100	-56,27700	91,7	06/08/2004	6,07	68,2	25,6	ND	ND	70,42	37,90	0,25	0,52	1,02	0,05	1,30	5,30	7,30	1,60	32,17	0,69	0,66	4,63	S
pozo	CAM004	Camapua	403	-19,53500	-54,04200	150	17/03/2003	7,89	ND	28,0	ND	192,6	140,10	103,50	0,31	0,54	0,00	ND	0,50	4,57	15,30	9,97	11,53	1,72	1,72	0,34	S
pozo	CAM016	Camapua	410	-19,52600	-54,04300	195	17/03/2003	8,08	ND	27,0	ND	289,0	218,60	167,10	0,18	0,33	0,00	ND	1,11	5,58	25,44	13,56	11,21	2,58	2,75	-6,50	S
pozo	CAM018	Camapua	392	-19,53600	-54,04100	195	30/07/2004	7,67	170,2	26,8	ND	ND	161,46	115,40	0,36	0,65	0,45	0,06	1,70	4,70	22,80	8,50	14,69	2,03	1,92	5,50	S
pozo	CAS001	Cassilandia	447	-19,12400	-51,73400	215	21/03/2003	6,02	ND	28,2	ND	42,2	38,65	21,20	0,28	0,55	0,28	ND	0,21	6,40	1,48	1,69	14,03	0,39	0,37	3,30	S
pozo	CGR152	Campo Grande	537	-20,55300	-54,60900	295	14/03/2003	7,68	ND	34,0	ND	111,1	101,30	66,70	0,30	0,61	0,28	ND	0,62	1,64	11,50	4,13	33,19	0,98	1,12	-13,07	S
pozo	CGR160	Campo Grande	547	-20,51800	-54,61900	412	14/03/2003	7,75	ND	29,9	ND	128,5	107,19	71,60	0,38	0,35	0,00	ND	0,81	1,49	13,01	4,21	32,81	1,07	1,19	-10,72	S
pozo	CGR163	Campo Grande	682	-20,39400	-54,57500	654	14/03/2003	ND	ND	36,8	ND	192,1	147,69	105,90	0,16	0,36	0,00	ND	6,17	5,04	17,18	8,11	10,20	1,92	1,75	9,48	S
pozo	CGR168	Campo Grande	525	-20,56000	-54,65100	500	15/03/2003	6,65	ND	33,6	ND	85,7	61,97	39,10	0,11	0,30	0,00	ND	0,50	1,79	7,56	3,42	19,66	0,73	0,65	10,92	S
pozo	CGR172	Campo Grande	698	-20,41700	-54,56400	642,5	14/03/2003	8,02	ND	36,0	ND	208,0	151,79	106,30	0,14	0,24	0,00	ND	6,55	4,56	18,02	7,73	17,65	1,94	1,75	10,10	S
pozo	CGR174	Campo Grande	557	-20,47000	-54,63900	600	14/03/2003	8,31	ND	36,2	ND	136,5	101,06	73,60	0,18	0,39	0,00	ND	0,63	1,77	13,81	4,45	13,32	1,13	1,22	-7,82	S
pozo	CGR176	Campo Grande	580	-20,55800	-54,57100	485	14/03/2003	7,11	ND	37,2	ND	128,8	100,79	63,60	0,13	0,30	0,00	ND	0,90	1,74	11,54	4,68	38,28	1,05	1,05	-0,76	S
pozo	CNV001	Terenos (Colonia Nova)	315	-20,33600	-54,90600	90	28/07/2004	5,89	79,8	26,3	ND	ND	103,86	49,00	0,31	1,39	4,51	0,11	4,50	1,20	8,80	3,80	64,74	0,98	0,92	6,05	S
pozo	COR001	Corguinho	295	-19,83300	-54,82900	150	18/10/2003	6,40	78,0	28,5	1,3	71,1	71,95	41,80	1,00	1,30	0,05	0,20	0,53	6,29	5,71	2,26	27,38	0,66	0,74	-12,59	S
pozo	CTR004	Costa Rica	700	-18,53300	-53,14000	105	18/03/2003	6,43	ND	26,5	ND	60,4	47,32	23,20	0,36	1,05	5,97	ND	2,91	0,73	3,00	3,49	14,09	0,58	0,51	12,54	S
pozo	CTR005	Costa Rica	595	-18,55000	-53,12700	93	18/03/2003	6,43	ND	27,5	ND	48,2	33,06	14,40	0,33	0,62	0,26	ND	1,30	1,63	2,96	2,82	18,67	0,48	0,26	57,53	N
pozo	CTR095	Costa Rica (Paraíso)	600	-19,01900	-53,01600	50,75	17/03/2003	5,94	ND	25,5	ND	27,1	26,76	13,80	0,08	0,43	0,39	ND	0,32	0,18	1,50	1,48	18,35	0,22	0,25	-13,42	S
pozo	CTR096	Costa Rica (Paraíso)	NI	-19,02900	-53,01400	NI	17/03/2003	6,48	ND	26,0	ND	48,8	30,36	13,80	0,26	0,36	0,31	ND	0,41	0,59	4,26	3,44	14,80	0,53	0,25	72,76	N
pozo	DIR001	Dais Irmaos do Buriti	290	-20,68500	-55,27400	132	29/07/2004	5,25	20,6	24,8	ND		31,15	12,90	0,28	0,65	0,00	0,05	0,80	3,30	1,50	0,60	23,93	0,24	0,24	3,32	S
pozo	DIR901	Dois Irmaos do Buriti	NI	-20,63700	-55,30100	120	15/03/2003	5,90	ND	26,4	ND	68,3	57,31	29,10	0,26	2,63	1,26	ND	3,28	3,20	3,10	2,91	24,72	0,62	0,58	7,04	S
pozo	DOU021	Dourados	395	-22,26900	-54,81200	29	23/10/2003	7,18	168,0	38,0	7,9	165,0	152,91	105,00	1,00	1,50	0,05	0,20	13,70	1,58	18,60	1,57	20,75	1,70	1,79	-5,17	S
pozo	DOU910	Dourados	442	-22,21500	-54,77900	600	04/08/2004	7,73	241,0	34,2	ND		164,61	112,20	0,43	0,66	0,00	0,09	18,30	2,00	19,80	1,60	20,17	1,97	1,87	5,30	S
pozo	DRD001	Douradina	355	-22,04400	-54,61100	155	23/10/2003	7,01	281,0	28,0	8,1	244,0	220,13	151,00	1,00	3,00	0,48	0,20	21,30	1,61	27,40	1,93	26,09	2,50	2,59	-3,63	S



Tabla A1.6. Datos químicos de Gastmans (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z origina l (m)	Lat dec	Long dec	Prof. pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	pH	CE (µS/c m)	SDT (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
pozo	ETA001	Silo Gabriel do Oeste	610	-19,39500	-54,57600	42	17/03/2003	5,51	ND	24,5	ND	8,5	11,01	4,10	0,12	0,31	0,00	ND	0,04	0,39	0,14	0,75	10,99	0,08	0,08	2,51	S
pozo	ETA002	Silo Gabriel do Oeste	645	-19,40200	-54,57600	65	17/03/2003	5,81	ND	24,3	ND	20,7	23,33	9,90	0,08	0,27	0,00	ND	0,25	0,44	0,91	1,52	21,30	0,19	0,17	11,62	S
pozo	FIG004	Figueirao	410	-18,67900	-53,63700	150	18/03/2003	6,88	ND	28,2	ND	135,6	108,43	71,50	0,29	1,24	0,92	ND	0,75	4,98	14,42	2,67	24,92	1,10	1,23	-10,93	S
pozo	FON001	Lagoa Santa (Goias)	NI	-19,18417	-51,40778	NI	21/03/2003	6,69	ND	31,0	ND	166,6	139,83	93,70	1,74	0,60	0,00	ND	11,08	7,60	15,21	3,59	13,52	1,73	1,59	8,60	S
pozo	FON003	CorguinhoSD Baianopolis	NI	-19,85361	-54,45389	NI	29/07/2004	5,89	88,5	26,2	ND		102,87	59,50	0,34	0,55	1,11	0,07	2,80	0,80	10,80	4,60	47,57	1,06	1,02	4,33	S
pozo	GO002	Aparecida do Rio Verde	552	-18,31700	-51,14800	100	10/03/2006	7,50	119,4	26,6	7,6	121,0	194,05	74,00	<3	2,60	1,24	0,07	5,10	1,30	13,90	3,80	38,71	1,26	1,37	-8,06	S
pozo	GO003	Jatai	763	-17,83200	-51,77200	130	11/03/2006	5,59	20,3	19,6	6,8	19,2	28,72	11,20	<3	<3	0,81	0,01	0,47	0,09	2,40	0,34	4,71	0,17	0,34	-67,23	N
pozo	GO004	Mineiros	826	-18,08400	-53,10600	NI	12/03/2006	6,19	68,4	21,6	5,7	11,5	40,58	7,30	5,00	<3	0,13	0,01	0,10	0,03	0,24	0,08	9,20	0,02	0,31	-171,97	N
pozo	GO005	Mineiros	782	-18,26400	-52,89300	64	12/03/2006	4,85	7,4	24,2	6,0	3,0	6,23	<3	<3	<3	0,07	0,01	0,07	0,03	0,16	0,08	9,84	0,02	0,20	-165,76	N
pozo	GO006	Jatai	660	-17,80700	-51,78800	NI	13/03/2006	8,80	317,0	33,5	8,7	332,0	428,59	173,80	39,00	<3	<0,05	0,14	67,60	0,83	1,90	0,23	19,04	3,07	3,75	-19,70	S
pozo	GO007	Jatai	657	-17,80700	-51,78800	NI	13/03/2006	8,55	409,0	30,2	8,6	455,0	473,88	180,80	185,00	<3	<0,05	0,16	97,20	1,00	3,60	0,65	17,75	4,49	6,90	-42,46	N
pozo	GO008	Jatai	659	-17,80900	-51,78700	60	13/03/2006	6,27	23,4	24,6	6,7	22,0	53,73	12,20	<3	<3	<0,05	0,06	0,57	3,00	7,80	1,00	29,73	0,57	0,35	49,26	N
pozo	GO009	Serranopolis	623	-18,38600	-52,10600	86	14/03/2006	5,01	10,2	25,0	6,4	6,8	14,77	3,90	<3	<3	0,76	0,01	0,25	0,29	0,42	0,23	10,69	0,06	0,22	-117,25	N
pozo	GO010	Apore	502	-18,97000	-51,92400	85	14/03/2006	5,55	22,4	24,7	6,8	21,0	43,79	14,60	<3	<3	<0,05	0,02	0,25	3,20	0,69	0,73	20,75	0,19	0,39	-69,40	N
pozo	GO011	Itaja	424	-19,05500	-51,54700	205	15/03/2006	6,04	54,6	25,1	7,1	58,7	92,75	33,60	<3	<3	0,24	0,04	0,70	8,20	4,50	1,10	19,89	0,56	0,70	-23,22	N
pozo	GO012	Laqoa Santa	386	-19,18200	-51,40200	NI	15/03/2006	8,03	150,8	28,1	8,1	148,0	228,91	93,50	<3	<3	0,20	0,14	13,30	2,10	16,20	1,20	15,83	1,54	1,68	-8,83	S
pozo	INC005	Inocencia	505	-19,73500	-51,92800	660	20/03/2003	7,80		33,8		201,0	152,43	129,50	0,30	0,42	0,31	ND	1,57	2,87	1,48	10,02	12,75	1,04	2,15	-69,40	N
pozo	INC005	Inocencia	505	-19,73500	-51,92800	660	22/10/2005	7,47	258,0	34,2	8,0	251,0	389,09	162,00	<3	6,90	<0,05	0,06	1,40	2,60	37,70	6,67	20,94	2,56	2,91	-12,83	S
pozo	ITA005	Itapora	365	-22,08900	-54,79500	110,5	23/10/2003	6,47	112,0	25,0	7,2	113,0	104,03	44,00	1,00	10,30	5,84	0,20	4,43	1,88	8,91	4,06	50,05	1,02	1,13	-9,89	S
pozo	ITM001	Itahum	500	-22,08600	-55,35500	80	23/10/2003	6,59	59,9	25,0	7,1	57,1	68,25	34,70	1,00	1,40	0,05	0,20	1,47	1,28	5,62	2,22	43,42	0,56	0,63	-11,69	S
pozo	JAD901	Jardim	321	-21,68000	-56,15200	102	06/08/2004	5,82	71,0	27,9	ND	ND	66,40	36,40	0,26	0,53	0,00	0,05	1,60	3,50	6,40	1,70	34,33	0,62	0,62	0,31	S
pozo	JAU001	Jauru SD Coxim	287	-18,64200	-54,36000	78,5	02/08/2004	7,42	286,0	27,4	ND	ND	259,32	189,70	0,41	0,63	0,00	0,04	11,10	5,10	33,30	11,50	16,21	3,22	3,14	2,78	S
pozo	LCA003	Laguna Garapa	427	-22,52800	-55,16600	99	04/08/2004	6,91	126,3	25,9	ND	ND	132,90	82,20	0,35	0,54	0,00	0,07	4,30	1,40	16,90	4,70	47,97	1,45	1,37	5,99	S
pozo	MAR004	Maracaju	380	-21,62200	-55,15800	150	19/03/2003	7,98	ND	27,0	ND	156,0	125,62	84,10	0,30	0,57	0,31	ND	3,34	1,61	15,64	9,68	21,47	1,77	1,41	22,65	N
pozo	MAR008	Maracaju	370	-21,61900	-55,17200	226	19/03/2003	7,51	ND	28,9	ND	148,8	137,53	73,00	0,29	0,39	0,31	ND	3,94	1,14	37,18	5,92	32,85	2,55	1,22	70,53	N
pozo	MG001	Uberaba	NI	-19,75083	-48,03556	NI	17/04/2006	7,22	186,0	29,2	7,8	143,0	232,43	92,30	<3	3,50	0,12	0,09	8,60	3,30	14,10	5,10	28,02	1,58	1,68	-5,71	S
pozo	MG002	Uberaba	NI	-19,76944	-48,07722	NI	17/04/2006	7,21	200,0	30,2	7,7	146,0	228,06	91,40	<3	3,90	0,05	0,06	5,70	3,70	14,20	5,80	25,45	1,53	1,67	-8,85	S
pozo	MT001	Alto Taraguari	901	-17,82600	-53,28100	180	13/03/2006	7,49	80,7	22,4	7,6	82,8	155,48	52,60	<3	<3	0,27	0,09	3,00	2,20	7,10	3,60	69,72	0,84	1,01	-18,97	S
pozo	NAM001	Nova America SD Carapo	410	-22,50000	-54,86500	260	04/08/2004	8,79	157,5	25,3	ND	ND	159,92	93,20	0,44	2,52	8,04	0,06	5,00	1,00	21,60	5,60	47,97	1,78	1,74	2,62	S
pozo	NAV900	Navirai	360	-23,08600	-54,23400	562	20/10/2005	8,64	307,0	26,6	8,6	255,0	363,11	145,00	<3	6,20	<0,05	0,49	55,20	0,90	2,14	0,09	18,29	2,54	2,61	-2,98	S
pozo	NIO003	Nioaque	200	-21,16100	-55,82300	45	17/10/2003	6,53	144,0	27,0	7,7	138,0	132,85	78,50	1,00	3,20	2,56	0,20	3,57	2,30	19,80	2,21	41,71	1,39	1,44	-3,77	S
pozo	PBT	Pereira Barreto(SP)	365	-20,62900	-51,09800	1042	27/07/2004	8,70	828,0	45,4	ND	ND	448,33	200,20	67,63	39,89	0,00	0,79	119,30	1,00	5,70	0,20	29,04	5,51	5,81	-5,31	S
pozo	PCO001	Camapua SD Pta. Coxo	373	-19,01600	-53,90100	121,2	30/07/2004	7,61	141,3	28,9	ND	ND	145,92	102,70	0,47	0,52	0,00	0,06	2,90	4,30	23,30	4,30	13,99	1,75	1,71	2,71	S



Tabla A1.6. Datos químicos de Gastmans (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. pozo (m)	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	pH	CE (μS/cm)	SDT (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
								medido en campo				medido en laboratorio															
pozo	PEP	Presidente Epitacio	262	-21,76100	-52,10200	1623	07/08/2004	8,34	1134,0	66,6	ND	ND	656,88	318,60	70,85	50,70	0,00	5,81	183,40	2,20	6,40	0,20	39,97	8,37	8,13	2,90	S
pozo	PIEZ	Camapua		-19,53000	-54,04361		31/07/2004	5,25	252,0	26,8	ND	ND	153,81	29,00	0,60	19,58	54,25	0,05	3,70	10,90	20,90	5,40	20,08	1,93	1,91	0,76	S
pozo	PNP005	Ponta Pora	615	-22,53100	-55,72400	150	05/08/2004	6,44	200,0	24,6	ND	ND	190,69	102,20	0,61	6,14	20,40	0,05	4,10	1,90	24,20	10,50	43,85	2,30	2,19	4,94	S
pozo	PNP026	Ponta Pora	625	-22,53300	-55,72800	615	05/08/2004	6,62	166,8	33,7	ND	ND	117,12	76,40	0,50	0,59	0,24	0,09	3,80	9,80	13,20	2,90	20,51	1,31	1,28	2,40	S
pozo	POL001	PolvoraSD Alcinopolis	343	-18,25100	-54,03900	132	02/08/2004	6,02	63,1	26,4	ND	ND	77,27	37,90	0,24	0,88	1,70	0,09	1,00	9,20	5,00	2,00	41,00	0,69	0,68	2,17	S
pozo	PRT002	Prudencio Thomaz	310	-21,65200	-54,43100	260	24/10/2003	8,36	389,0	35,5	9,1	408,0	355,36	249,00	1,00	2,50	0,32	0,84	88,20	0,70	0,77	0,02	25,67	3,89	4,18	-7,08	S
pozo	RBT006	Rio Brilhante	332	-21,79100	-54,55700	267	24/10/2003	8,30	165,0	32,0	9,0	159,0	151,81	102,00	1,00	1,80	0,05	0,20	34,90	0,82	0,72	0,01	22,03	1,58	1,74	-10,18	S
pozo	ROC010	Rochedo	NI	-20,30111	-54,76750	NI	16/03/2003	6,94	ND	27,0	ND	92,6	68,53	35,40	0,23	0,35	0,29	ND	2,22	1,11	7,10	4,33	37,41	0,84	0,60	32,96	N
pozo	RIO002	Palmeiras	NI	-20,44972	-55,42778	NI	15/03/2003	7,38	ND	28,0	ND	78,3	ND	41,30	0,22	0,80	0,00	ND	0,77	1,69	5,58	3,68	15,83	0,66	0,70	-6,69	S
pozo	RIO003	Rochedo	NI	-19,94917	-54,89417	NI	16/03/2003	7,48	ND	28,0	ND	67,4	ND	37,40	0,18	0,44	0,00	ND	0,62	1,65	4,49	3,90	25,05	0,61	0,63	-2,35	S
pozo	RIO004	Camapua	NI	-19,36861	-54,20028	NI	17/03/2003	7,39	ND	27,8	ND	36,9	ND	19,50	0,19	0,48	0,00	ND	0,27	0,69	2,48	2,17	9,13	0,33	0,34	-1,54	S
pozo	RIO005	Pontinha do Coxo	NI	-18,88944	-53,84861	NI	18/03/2003	7,08	ND	26,0	ND	28,9	ND	14,10	0,30	0,50	0,32	ND	0,35	1,81	0,08	1,26	16,94	0,17	0,26	-41,06	N
pozo	RIO001	Terenos	NI	-20,43861	-55,28750	NI	15/03/2003	6,61	ND	29,0	ND	23,7	ND	9,80	0,17	0,61	0,00	ND	0,42	4,16	0,24	0,67	24,38	0,19	0,18	5,58	S
pozo	RRP001	Ribas do Rio Pardo	360	-20,44500	-53,76000	136	27/07/2004	6,95	245,0	26,1	ND	ND	215,31	111,20	0,35	8,65	25,41	0,06	3,80	3,50	33,00	8,10	45,41	2,57	2,48	3,47	S
pozo	RRP991	Ribas do Rio Pardo	347	-20,46300	-53,76100	215	27/07/2004	7,73	232,0	31,8	ND	ND	195,80	135,90	0,49	0,80	0,25	0,21	28,00	4,00	15,30	3,80	15,21	2,40	2,26	5,70	S
pozo	RVD001	Rio Verde	NI	-17,79000	-51,10528	NI	06/03/2006	7,33	321,0	25,4	8,3	338,0	518,21	202,00	<3	5,00	30,00	0,10	18,50	2,00	36,30	9,30	28,02	3,44	4,00	-15,14	S
pozo	SID007	Sidrolandia	480	-20,93900	-54,95900	180	19/03/2003	7,91	ND	29,0	ND	180,7	140,82	99,20	0,11	0,39	0,00	ND	5,17	0,94	17,30	6,91	23,06	1,68	1,64	2,59	S
pozo	SID010	Sidrolandia	500	-20,92500	-54,96400	440	19/03/2003	7,47	ND	30,2	ND	133,1	97,32	64,30	0,30	0,37	0,30	ND	6,71	1,66	9,56	4,99	19,48	1,22	1,08	12,82	S
pozo	SID910	Sidrolandia	423	-21,21700	-54,83600	88	03/08/2004	6,21	71,6	26,4	ND	ND	65,50	36,90	0,29	0,58	0,00	0,07	1,70	1,30	5,50	2,80	35,16	0,61	0,63	-2,37	S
pozo	SUR001	S.G.D'Oeste	NI	-19,33500	-54,78694	NI	31/07/2004	6,31	23,6	21,4	ND	ND	ND	12,10	0,29	0,53	0,25	0,04	0,20	2,20	1,50	0,10	8,49	0,15	0,22	-40,46	N
pozo	TER007	Terenos	390	-20,48600	-54,86800	180	28/07/2004	7,44	113,3	28,9	ND	ND	120,71	77,40	0,33	0,47	0,00	0,06	3,80	1,70	15,30	3,80	38,01	1,29	1,29	-0,20	S
pozo	TER900	Terenos	NI	-20,33722	-55,15222	NI	18/10/2003	6,63	83,8	-27,5	7,3	87,8	87,88	51,90	1,00	1,40	0,05	0,20	0,72	5,42	12,10	0,78	30,58	0,84	0,91	-8,31	S
pozo	TLG007	Tres Lagoas	NI	-20,86300	-51,75000	NI	21/03/2003	9,20	ND	43,2	ND	841,0	522,68	204,70	64,63	82,25	0,00	ND	162,00	0,06	0,58	0,00	18,12	7,07	7,02	0,78	S
pozo	VAL001	Vista Alegre	500	-21,72400	-55,49900	198	17/10/2003	6,35	142,2	27,0	7,8	144,0	138,90	84,80	1,00	1,90	2,08	0,20	6,50	1,46	16,70	3,15	45,13	1,41	1,50	-5,76	S

NI: no indicado
ND: no determinado



Tabla A1.7. Datos químicos de Gastmans y Chang (2005).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat S	Long O	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error acceptable (≤ 20)
pozo	ALC003	ALC003	NI	18° 19' 37.3"	-53° 42' 32.4"	SANESUL/T AHAL (1998)	5,96	100,00	26,0	39,00	0,00	0,00	1,50	1,10	0,80	7,10	16,80	1,90	1,21	0,70	53,70	N
pozo	AMA002	AMA002	NI	23° 06' 27"	49° 14' 05"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,20	120,00	23,0	14,00	0,00	0,00	5,50	3,60	3,90	1,20	9,20	4,60	1,04	0,44	80,51	N
pozo	AMA006	AMA006	NI	23° 9' 35.9"	-55° 14' 12.3"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,10	30,00	22,0	8,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,90	1,80	2,00	1,20	0,28	0,19	40,92	N
pozo	BFM001	BFM001	NI	20° 03' 51"	48° 27' 07"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,50	150,00	25,5	45,00	0,00	0,00	2,00	1,40	3,80	1,10	21,60	7,30	1,87	0,82	78,60	N
pozo	CAM012	CAM012	NI	NI	NI	SANESUL/T AHAL (1998)	7,80	180,00	28,2	78,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,10	3,90	24,00	9,00	2,09	1,29	47,06	N
pozo	CAS001	CAS001	NI	19° 7' 26.2"	-51° 44' 1.3"	SANESUL/T AHAL (1998)	5,90	40,00	27,8	19,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,30	5,00	2,00	1,70	0,38	0,35	7,38	S
pozo	CGR156	CGR156	NI	20° 13' 05"	48° 37' 10"	LASTORIA (2002)	7,40	121,00	30,0	85,40	0,00	0,00	3,20	8,50	2,00	3,00	12,95	2,68	1,03	1,63	-44,79	N
pozo	CGR160	CGR160	NI	20° 30' 58.4"	-54° 36' 56.5"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,40	135,00	35,0	55,00	0,00	0,00	1,50	0,10	3,60	1,90	19,60	4,10	1,52	0,95	46,76	N
pozo	CGR163	CGR163	NI	20° 23' 37.9"	-54° 34' 29.4"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,50	167,00	35,0	76,00	0,00	0,00	1,50	0,02	4,80	3,80	23,60	5,30	1,92	1,29	39,47	N
pozo	COR001	COR001	NI	19° 49' 59.4"	-54° 49' 45.2"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,20	70,00	26,5	25,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,50	6,20	6,80	3,10	0,78	0,45	52,68	N
pozo	CTR001	CTR001	NI	18° 32' 11"	53° 07' 40"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,90	90,00	24,5	47,00	0,00	0,00	2,00	0,50	2,10	0,90	11,20	3,40	0,95	0,83	13,33	S
pozo	CTR005	CTR005	NI	18° 33' 1.9"	-53° 7' 38.5"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,50	60,00	26,0	22,00	0,00	0,00	2,00	0,20	1,90	1,00	7,20	1,20	0,57	0,42	29,73	N
pozo	CTR093	CTR093	NI	19° 01' 42"	53° 00' 51"	SANESUL/T AHAL (1998)	5,50	25,00	25,0	11,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,70	0,30	2,80	1,20	0,28	0,21	28,17	N
pozo	DIR001	DIR001	NI	20° 41' 7.7"	-55° 16' 29.2"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,30	20,00	26,8	11,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,60	2,50	1,20	1,20	0,25	0,21	17,62	S
pozo	DIR002	DIR002	NI	20° 41' 23"	49° 16' 45"	LASTORIA (2002)	5,40	39,50	27,4	2,50	0,00	0,00	1,80	16,60	3,29	1,28	0,96	0,70	0,28	0,36	-24,36	N
pozo	DOU021	DOU021	NI	22° 16' 9"	-54° 48' 44"	LASTORIA (2002)	8,40	179,00	38,0	164,00	0,00	0,00	3,20	0,00	16,00	2,00	14,77	1,60	1,62	2,78	-52,86	N
pozo	DOU021	DOU021	NI	22° 16' 9"	-54° 48' 44"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,70	147,00	37,6	67,00	0,00	0,00	1,00	0,00	14,80	1,60	19,60	1,40	1,78	1,13	44,95	N



Tabla A1.7. Datos químicos de Gastmans y Chang (2005). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat S	Long O	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
pozo	DRD002	DRD002	NI	NI	NI	SANESUL/T AHAL (1998)	6,80	177,00	27,0	75,00	0,00	0,00	2,00	0,40	36,00	1,10	10,00	1,20	2,19	1,29	51,65	N
pozo	ETA002	ETA002	NI	19° 24' 5.9"	-54° 34' 35"	SANESUL/T AHAL (1998)	4,70	11,00	23,0	2,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,20	0,10	0,80	0,70	0,11	0,08	36,79	N
pozo	FIG004	FIG004	NI	18° 40' 43.5"	-53° 38' 18.5"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,90	100,00	27,0	43,00	0,00	0,00	1,50	0,40	1,90	3,90	19,60	1,20	1,26	0,75	50,38	N
pozo	INC005	INC005	NI	19° 44' 3.3"	-51° 55' 39.8"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,50	280,00	33,0	107,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,40	2,20	39,20	5,80	2,55	1,78	35,61	N
pozo	ITA005	ITA005	NI	22° 5' 19.4"	-54° 47' 41.5"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,70	50,00	23,0	32,00	0,00	0,00	6,00	0,40	4,30	1,90	8,80	4,10	1,01	0,70	36,54	N
pozo	MAR004	MAR004	NI	21° 3' 13"	-55° 9' 54.8"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,80	108,40	26,0	57,00	0,00	0,00	1,50	0,00	3,60	1,30	21,20	3,90	1,57	0,98	46,64	N
pozo	NIO003	NIO003	NI	21° 9' 36.4"	-55° 49' 23.6"	SANESUL/T AHAL (1998)	6,50	144,00	26,5	45,00	0,00	0,00	2,00	0,00	3,90	2,20	16,00	2,90	1,26	0,79	45,71	N
pozo	PCO001	PCO001	NI	19° 0' 54.8"	-53° 54' 4.7"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,80	170,00	28,0	61,00	0,00	0,00	0,50	0,00	2,90	3,30	22,00	3,90	1,63	1,01	46,67	N
pozo	PRT002	PRT002	NI	21° 39' 5.9"	-54° 25' 51.5"	LASTORIA (2002)	9,50	398,00	35,0	300,00	0,00	1,20	3,55	ND	100,00	0,75	0,50	0,02	4,39	5,04	-13,76	S
pozo	QBC002	QBC002	NI	20° 45' 06"	49° 07' 02"	LASTORIA (2002)	6,34	361,00	31,0	171,00	0,00	ND	18,50	32,40	6,50	3,58	33,80	16,50	3,42			Incompleto
pozo	RBT006	RBT006	NI	21° 41' 27.5"	-54° 33' 24.7"	SANESUL/T AHAL (1998)	9,40	140,00	30,0	51,00	20,00	1,00	1,00	0,00	44,90	0,60	0,00	1,00	2,05	1,55	27,66	N
pozo	ROC900	ROC900	NI	NI	NI	LASTORIA (2002)	5,50	58,00	25,0	25,00	0,00	0,00	6,39	0,60	1,00	6,00	1,55	0,93	0,35	0,60	-52,30	N
pozo	SID006	SID006	NI	NI	NI	LASTORIA (2002)	7,20	72,80	28,5	91,50	0,00	0,00	4,62	ND	2,00	1,00	2,61	3,30	0,51	1,63	-104,02	N
pozo	SID007	SID007	NI	20° 56' 25.6"	-54° 57' 36.5"	SANESUL/T AHAL (1998)	8,00	180,00	27,0	73,00	0,00	0,00	0,50	0,00	4,10	1,40	25,20	3,60	1,77	1,21	37,54	N
pozo	TER004	TER004	NI	20° 26' 19"	48° 51' 43"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,80	170,00	28,0	69,00	0,00	0,00	0,50	0,00	4,80	1,10	23,60	4,60	1,80	1,15	44,22	N
pozo	TER006	TER006	NI	20° 26' 11"	48° 52' 02"	LASTORIA (2002)	7,10	254,00	28,2	78,31	0,00	0,80	9,13	27,92	9,10	0,72	46,60	11,29	3,67	2,01	58,63	N
pozo	TLG018	TLG018	NI	NI	NI	SANESUL/T AHAL (1998)	9,50	870,00	44,5	111,00	34,00	70,00	76,50	0,00	169,10	0,70	1,20	1,70	7,57	6,57	14,20	S
pozo	VAL001	VAL001	NI	21° 43' 37.3"	-55° 2' 54.2"	SANESUL/T AHAL (1998)	7,30	142,20	25,0	46,00	0,00	0,00	1,50	0,50	6,60	1,30	16,40	3,40	1,42	0,80	55,35	N

NI: no indicado
ND: no determinando



Tabla A1.8. Datos químicos de Invernizzi y de Oliveira (2004).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Dureza (mg/L CaCO3)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo			medido en laboratorio															
Pozo	1	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,11	191,2	32,6	55,00	99,60	3,10	1,97	0,183	0,10	0,062	15,60	2,40	20,92	1,21	7,250	1,89	1,79	5,34	S
Pozo	2	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,85	161,7	30,0	67,00	93,40	3,10	0,32	0,092	0,06	0,031	5,60	2,70	23,30	2,73	6,560	1,70	1,65	3,34	S
Pozo	4	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,26	212,0	25,6	14,00	112,00	5,50	1,35	0,104	0,06	0,031	44,00	0,50	4,00	0,64	7,550	2,18	2,05	5,93	S
Pozo	5	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	9,31	318,0	26,3	6,00	154,40	36,70	10,01	6,450	1,13	0,149	67,00	0,50	2,44	0,03	13,910	3,05	4,17	-31,03	N
Pozo	7	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,69	25,8	24,4	10,00	11,60	0,50	0,05	0,023	0,21	0,050	0,40	2,20	1,64	0,81	8,180	0,22	0,21	3,56	S
Pozo	8	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,95	40,6	25,0	14,00	20,10	0,50	0,04	0,041	0,38	0,050	0,90	3,10	3,90	0,97	8,390	0,39	0,36	9,68	S
Pozo	9	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,12	92,9	25,7	36,00	50,70	0,50	0,11	0,238	0,18	0,013	2,60	3,80	9,53	3,55	10,180	0,98	0,86	12,89	S
Pozo	10	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,05	73,4	26,1	27,00	38,70	0,50	0,11	0,263	0,35	0,031	2,20	4,00	7,36	2,05	9,690	0,73	0,67	9,50	S
Pozo	11	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,67	133,0	25,7	57,50	74,70	0,50	0,19	0,413	2,45	0,011	3,30	2,80	17,22	4,53	14,080	1,45	1,30	11,07	S
Pozo	12	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,08	51,8	27,2	15,50	26,60	0,50	0,08	0,018	0,07	0,050	1,50	5,80	3,40	1,11	10,940	0,47	0,46	3,48	S
Pozo	13	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,79	174,3	27,6	76,00	102,10	0,50	0,17	0,500	0,09	0,016	2,10	4,20	26,58	3,49	11,120	1,81	1,71	5,93	S
Pozo	14	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,25	183,3	38,0	21,50	89,60	6,10	1,75	0,272	0,39	0,020	30,00	1,60	7,84	0,10	7,420	1,75	1,72	1,26	S
Pozo	16	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,05	32,3	22,7	10,00	13,20	0,50	0,03	0,030	0,71	0,050	0,60	2,30	3,04	0,53	8,370	0,28	0,25	12,06	S
Pozo	17	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,62	36,8	25,1	11,50	5,90	0,50	0,46	1,360	9,00	0,050	1,40	1,50	1,83	1,06	4,740	0,28	0,31	-10,59	S
Pozo	19	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,64	250,0	27,2	135,00	134,50	4,90	0,34	0,054	0,05	0,108	2,60	4,10	35,09	5,09	9,700	2,39	2,38	0,33	S
Pozo	20	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	9,42	342,0	23,0	5,00	64,70	50,80	8,97	0,446	1,45	0,339	67,00	1,00	0,91	0,15	8,610	3,00	2,99	0,06	S
Pozo	21	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,16	25,4	24,6	9,00	10,90	0,50	0,09	0,035	0,23	0,038	0,80	2,40	1,73	0,44	13,900	0,22	0,20	7,07	S
Pozo	22	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,67	28,8	23,4	9,00	6,60	0,50	0,06	0,910	6,29	0,050	1,70	1,10	1,36	0,71	5,430	0,23	0,26	-11,29	S



Tabla A1.8. Datos químicos de Invernizzi y de Oliveira (2004). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Dureza (mg/L CaCO3)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo			medido en laboratorio															
Pozo	23	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,04	178,0	29,7	110,00	95,60	2,50	0,50	0,043	0,11	0,057	6,30	2,40	21,40	4,40	5,520	1,77	1,67	5,85	S
Pozo	24	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,17	32,1	25,1	12,00	15,40	0,50	0,05	0,023	0,07	0,066	0,80	1,50	2,63	1,11	8,660	0,30	0,28	7,21	S
Pozo	25	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	9,09	176,3	25,9	14,00	106,00	0,50	2,17	1,100	3,23	0,128	35,00	1,30	4,64	0,38	8,440	1,82	1,89	-3,84	S
Pozo	26	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,87	34,8	23,3	13,00	12,00	0,50	0,26	0,291	3,52	0,038	0,60	3,40	1,48	1,04	10,640	0,27	0,29	-4,70	S
Pozo	27	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,42	60,2	23,3	23,00	33,00	0,50	0,33	0,255	0,62	0,045	2,10	4,20	4,91	1,67	10,600	0,58	0,58	-0,41	S
Pozo	28	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,67	75,9	25,6	23,00	44,00	0,50	0,11	0,035	0,94	0,121	1,70	7,30	7,39	1,16	13,870	0,73	0,76	-5,00	S
Pozo	29	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,67	54,9	24,0	19,00	29,00	0,50	0,05	0,070	0,25	0,066	1,60	3,20	4,43	1,52	10,980	0,50	0,50	-0,92	S
Pozo	31	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,60	173,9	28,5	19,00	84,00	11,00	4,78	1,410	0,56	0,358	33,00	0,80	5,98	0,27	6,670	1,78	1,91	-7,29	S
Pozo	32	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,70	170,3	29,7	78,00	98,00	3,00	0,45	0,110	0,17	0,107	5,20	4,20	27,32	1,99	8,880	1,86	1,73	7,57	S
Pozo	33	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,90	153,6	29,0	69,00	88,00	3,00	0,33	0,055	0,04	0,077	5,30	3,80	24,38	1,62	8,660	1,68	1,56	7,68	S
Pozo	35	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,96	47,4	26,3	17,00	25,00	0,50	0,33	0,255	0,62	0,045	1,40	2,30	4,43	1,68	8,570	0,48	0,45	5,69	S
Pozo	36	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,45	28,1	24,0	12,00	21,00	0,50	0,15	0,063	0,66	0,018	1,90	2,20	2,97	1,06	9,380	0,37	0,38	-0,75	S
Pozo	37	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,82	142,2	31,5	63,00	80,00	0,50	1,18	0,219	0,08	0,173	5,40	3,30	22,03	1,51	6,720	1,54	1,37	12,06	S
Pozo	38	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,60	189,0	29,0	69,00	98,00	0,50	0,33	0,038	0,07	0,017	13,00	4,00	23,48	2,59	8,040	2,05	1,63	22,86	N
Pozo	40	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	8,11	130,3	28,6	55,00	74,00	0,50	0,16	0,048	0,28	0,057	4,00	2,60	18,85	1,95	7,110	1,34	1,24	7,85	S
Pozo	42	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	7,54	165,0	30,5	73,00	93,00	0,50	0,42	0,484	0,21	0,025	5,90	2,70	24,39	2,55	10,580	1,75	1,57	11,23	S
Pozo	44	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,98	75,0	28,3	22,00	44,00	0,50	0,06	0,125	6,29	0,129	2,30	8,50	6,33	1,33	8,050	0,74	0,85	-13,50	S
Pozo	45	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,10	71,0	30,0	20,00	39,00	0,50	0,13	0,082	0,13	0,060	2,00	7,50	5,44	1,56	8,480	0,68	0,67	1,92	S
Pozo	46	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	6,11	35,4	29,8	10,00	19,00	0,50	0,19	0,187	0,02	0,025	1,20	3,70	2,12	1,04	9,260	0,34	0,34	-0,18	S
Pozo	47	cuenca de MogiSDPardo	NI	-21	-48	oct-dic de 2003	5,73	53,3	23,3	12,00	8,00	0,50	0,07	1,400	1,55	0,050	1,60	1,80	2,48	1,40	5,380	0,35	0,22	48,49	N



Tabla A1.9. Datos químicos de Kimmelman et al. (1995).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. pozo (m)	Acuífero	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	HCO3 (mg/L)		CO2 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
									medido en campo				medido en laboratorio												
pozo	25	Avaré P-5	NI	NI	NI	NI	Bo	21/09/1989	8	210	27	164,7	200,934	22	0,5	0,4	0,1	15	0,9	7,3	1,2	1,14	2,72	-82,04	N
pozo	26	Avaré P-6	NI	NI	NI	NI	Bo	21/09/1989	8	250	26,5	142,6	173,972	18,1	0,9	2,4	0,2	12	0,3	9,2	1,3	1,10	2,43	-75,54	N
pozo	27	Avaré P-7	NI	NI	NI	NI	Bo	21/09/1989	7,8	189	27	89,2	108,824	12	1,3	1,7	<LD	7	0,5	12,3	2,3	1,12	1,54	-31,28	N
pozo	28	Presidente Prudente P-1	NI	NI	NI	NI	Bo	22/09/1989	8,8	1180	60	385,5	470,31	ND	109,3	165	<LD	230	2,1	4,7	1,8	10,44	13,24	-23,71	N
pozo	29	Presidente Epitácio	NI	NI	NI	NI	Bo	23/09/1989	8,6	820	72	506,3	617,686	9,9	80	59,7	<LD	180	1,8	0,5	0,9	7,97	11,65	-37,48	N
pozo	30	Presidente Prudente P-1a	NI	NI	NI	NI	Bo	22/09/1989	9,96	240	22	65,2	79,544	25	2,5	1,5	0,2	0,6	0,3	2,9	1,4	0,29	1,17	-119,48	N
pozo	40	Ap de Sao Manuel P-2	NI	NI	NI	NI	Bo	08/02/1990	6,6	103	24	73,2	89,304	9,9	0,1	1	5	2	0,9	10,7	1,8	0,79	1,31	-49,22	N
pozo	41	Ap de Sao Manuel P-1	NI	NI	NI	NI	Bo	08/02/1990	6,4	83	24	54,2	66,124	16,5	0,1	1	4,8	2	0,9	10,9	1,9	0,81	1,00	-20,45	S
pozo	42	Areiópolis P-5	NI	NI	NI	NI	Bo	09/02/1990	7,4	394	28,5	134,2	163,724	5,5	<LD	0,1	0,7	4,4	2,1	19	0,7	1,25	2,21	-55,47	N
pozo	43	Areiópolis P-1	NI	NI	NI	NI	Bo	09/02/1990	6	111	21	85,5	104,31	9,9	<LD	0,8	2,1	6,6	0,9	11,3	1,4	0,99	1,46	-38,22	N
pozo	44	Pratania	NI	NI	NI	NI	Bo	11/02/1990	6,2	142	22,5	97,6	119,072	15,4	0,1	1,8	9	2,9	1,7	14,7	2,9	1,14	1,80	-44,52	N
pozo	46	Presidente Prudente P-2	NI	NI	NI	NI	Bo	21/07/1990	8,8	1430	70	506,3	617,686	ND	88	208	<LD	295	3,4	2,4	0,9	13,11	15,99	-19,83	S
pozo	50	Ubirajara	490	NI	NI	168	Ba	13/07/1991	9,01	320	22	213,5	260,47	ND	*	*	<LD	63,3	0,3	36,3	5,8				Incompleto
pozo	51	Alvinlandia P-5	540	NI	NI	197	Ba	13/07/1991	7,16	350	22	201,3	245,586	3,3	*	*	<LD	24,5	1,8	32,3	5,8				Incompleto
pozo	52	Alvinlandia P-4	540	NI	NI	160	Ba	13/07/1991	7,06	360	23	311,1	379,542	9,9	*	*	<LD	16	1,5	36,2	5,5				Incompleto
pozo	53	Galia P-1	520	NI	NI	220	Ba	16/07/1991	6,06	310	21,5	176,9	215,818	3,3	*	*	20,5	17	3,1	36,3	6,7				Incompleto
pozo	54	Galia P-2	560	NI	NI	250	Ba	16/07/1991	5,84	280	22	183	223,26	3,3	*	*	<LD	18	2,6	10,4	5,4				Incompleto
pozo	55	Lucianopolis	NI	NI	NI	NI	Ba	16/07/1991	8,89	280	20,5	231	281,82	ND	*	*	<LD	73,3	0,3	21,3	4,4				Incompleto
pozo	56	Arco Iris	NI	NI	NI	NI	Ba	17/07/1991	10,1	290	21	201,3	245,586	ND	*	*	<LD	18,5	0,1	11,7	4,9				Incompleto
pozo	57	Tupá (Pq Universitario)	505	NI	NI	NI	Ba	17/07/1991	7,03	190	21,5	128,1	156,282	5,5	*	*	<LD	3,5	2,5	11,9	4,7				Incompleto
pozo	58	Tupá P-58	510	NI	NI	235	Ba	18/07/1991	6,9	170	22	115,9	141,398	11	*	*	<LD	2,7	2,8	17,8	4,5				Incompleto
pozo	59	Tupá	500	NI	NI	NI	Ba	19/07/1991	6,76	70	23	68,8	83,936	19,8	*	*	<LD	2	3,7	13,4	2				Incompleto
pozo	60	Tupá P-25	490	NI	NI	222	Ba	20/07/1991	6,87	80	22	54,9	66,978	7,7	*	*	<LD	2,6	3,3	12,5	4,5				Incompleto
pozo	61	Tupá P-26	495	NI	NI	NI	Ba	21/07/1991	6,71	160	21,5	97,6	119,072	12,2	*	*	<LD	3,8	4,1	19,5	3,4				Incompleto

Bo: Botucatu (SAG)

Ba: Bauru (Post SAG)

<LD: Inferior al límite de detección (no especificado)

*: Valores inconsistentes

NI: no indicado

ND: no determinado



Tabla A1.10. Datos químicos de Kittl (2000).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Prof. pozo (m)	Acuífero	Fecha muestreo	pH	CE	T (°C)	RS 105 °C (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
										(µS/cm)																
Pozo	1	Termas de Guaviyú	NI	-31,841650	-57,886920	NI	SAG	20/07/2000	8,36	1081	38,8	680	410	14,4	63,0	81,0	3,5	0,8	235,0	1,4	1,5	2,7	10,55	10,89	-3,20	S
Pozo	2	Termas de Daymán	NI	-31,458330	-57,908620	NI	SAG	20/07/2000	7,44	709	45	510	322	0	33,0	42,0	3,2	0,5	153,0	2,4	3,7	2,6	7,11	7,23	-1,60	S
Pozo	3	Termas de San Nicanor	NI	-31,545290	-57,801650	NI	SAG	20/07/2000	7,85	673	37,4	414	312	0	27,0	45,0	4,1	0,4	152,0	2,0	3,4	3,2	7,09	7,03	0,87	S
Pozo	4	Nicanor (Basalt)	NI	-31,457190	-57,904940	NI	SAG	20/07/2000	7,01	592	20,3	466	420	0	10,1	5,3	9,6	0,4	14,4	1,8	85,0	20,0	6,57	7,42	-12,19	S
Pozo	5	Termas de Arapey	NI	-30,949320	-57,517960	NI	SAG	20/07/2000	7,42	470	38,1	324	283	0	10,1	21,0	5,9	0,2	74,0	6,0	17,4	13,4	5,34	5,55	-3,73	S
Pozo	6	Hotel Quiroga	NI	-31,274790	-58,043360	NI	SAG	20/07/2000	7,41	830	56,2	518	283	0	57,0	85,0	4,2	0,4	163,0	3,3	6,3	7,4	8,10	8,31	-2,62	S
Pozo	7	Termas de Concordia	NI	-31,241590	-57,987250	NI	SAG	20/07/2000	7,75	553	45,6	384	327	0	10,1	25,0	2,6	0,4	125,0	2,6	3,9	5,2	6,12	6,34	-3,43	S
Pozo	8	Termas de Federación	NI	-31,005310	-57,924600	NI	SAG	21/07/2000	7,67	1020	40,6	630	234	0	78,0	180,0	5,1	0,3	188,0	5,2	13,6	9,4	9,76	10,63	-8,52	S
Pozo	10	Termas de Villa Elisa	NI	-32,132330	-58,436490	NI	SAG	21/07/2000	7,48	23600	40	16106	110	0	2860,0	8798,0	31,0	0,4	6786,0	22,0	458,0	73,0	324,51	309,74	4,66	S
Pozo	11	Termas de Colón	NI	-32,210030	-58,147340	NI	SAG	21/07/2000	8,56	1197	34,1	806	312	16,8	117,0	148,0	2,9	1,5	242,0	0,7	1,1	1,5	10,72	12,41	-14,61	S

NI: no indicado



Tabla A1.11. Datos químicos de Oleaga (2003)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error 200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
Pozo	1-1ª campaña	Daymán		-31,458330	-57,908620	2001, 1ª campaña	8,17	1190	45,5	ND	ND	NI	360,0	0	50,84	54,0	ND	ND	178,9	2,5	5,8	2,2	32,7235	8,31	8,48	-2,01	S
Pozo	2-1ª campaña	San Nicanor		-31,545290	-57,801650	2001, 1ª campaña	8,18	1110	43,6	ND	ND	NI	349,2	0	48,66	54,0	ND	ND	158,9	2,4	5,7	2,2	32,2957	7,44	8,26	-10,49	S
Pozo	3-1ª campaña	Guaviyú		-31,841650	-57,886920	2001, 1ª campaña	8,86	1640	39,2	ND	ND	NI	522,0	0	86,55	132,0	ND	ND	271,9	1,0	1,8	0,4	34,6484	11,97	14,08	-16,19	S
Pozo	4-1ª campaña	KSDBasalt o		-31,457190	-57,904940	2001, 1ª campaña	8,99	737	22,3	ND	ND	NI	288,0	17,7	40,80	74,0	ND	ND	170,9	0,9	1,6	0,2	58,389	7,55	8,25	-8,81	S
Pozo	5-1ª campaña	Hotel Quiroga		-31,274790	-58,043360	2001, 1ª campaña	8,06	1270	41,3	ND	ND	NI	320,4	0	14,40	108,0	ND	ND	179,9	3,4	8,2	3,7	33,1512	8,62	8,59	0,33	S
Pozo	6-1ª campaña	Arapey		-30,949320	-57,517960	2001, 1ª campaña	7,86	700	38,4	ND	ND	NI	313,2	0	76,90	23,0	ND	ND	75,9	6,3	37,0	11,7	25,2377	6,27	7,38	-16,26	S
Pozo	7-1ª campaña	Pintado		-30,459170	-56,431360	2001, 1ª campaña	7,57	198	21,1	ND	ND	NI	210,6	0	<LD	3,8	ND	ND	15,0	2,1	56,9	7,8	41,7064	4,19	-	-	N
Pozo	8-1ª campaña	Tranqueras		-31,190570	-55,768890	2001, 1ª campaña	5,70	163	20,4	ND	ND	NI	14,4	0	3,10	16,0	8,7	ND	6,2	2,7	11,1	4,4	34,8623	1,26	0,89	33,91	N
Pozo	9-1ª campaña	Rivera		-30,893890	-55,523170	2001, 1ª campaña	5,95	302	18,7	ND	ND	NI	14,4	0	2,97	36,0	ND	ND	4,9	6,7	35,9	12,0	30,1569	3,17	1,31	82,83	N
Pozo	10-1ª campaña	R. Cantera		-30,914530	-55,535870	2001, 1ª campaña	5,69	472	20,3	ND	ND	NI	57,6	0	5,88	45,0	ND	ND	8,1	5,2	69,0	19,1	42,1342	5,51	2,33	80,92	N
Pozo	11-1ª campaña	As. Morales		-31,272820	-55,668090	2001, 1ª campaña	6,25	120	18,1	ND	ND	NI	25,2	0	6,08	20,0	ND	ND	7,0	3,7	9,3	2,6	13,2605	1,08	1,10	-2,31	S
Pozo	12-1ª campaña	IMT		-31,739520	-56,027400	2001, 1ª campaña	6,25	108	18,2	ND	ND	NI	38,9	0	2,50	11,0	ND	ND	7,2	3,0	7,8	3,2	43,8452	1,04	1,00	4,26	S
Pozo	13-1ª campaña	Colonia Viñar		-30,467250	-57,616100	2001, 1ª campaña	8,10		35,1	ND	ND	NI	256,3	0	23,05	35,5	ND	ND	107,1	23,5	4,0	2,4	19,2491	5,66	5,68	-0,47	S
Pozo	14-1ª campaña	Ose Salto		-31,376640	-57,961960	2001, 1ª campaña	8,12	1610	48,3	ND	ND	NI	349,2	0	95,70	140,0	ND	ND	209,9	2,9	9,3	2,8	35,5039	9,90	11,66	-16,39	S
Pozo	15-1ª campaña	Artigas 02		-30,404060	-56,477620	2001, 1ª campaña	7,45	294	22,1	ND	ND	NI	201,6	0	<LD	2,5	ND	ND	9,7	1,6	56,7	9,1	61,3833	4,05	-	-	S
Pozo	16-1ª campaña	Artigas 03		-30,419350	-56,467720	2001, 1ª campaña	7,67	340	21,6	ND	ND	NI	241,2	0	1,99	3,0	ND	ND	14,7	1,5	63,2	9,0	59,2445	4,58	4,08	11,51	S
Pozo	17-1ª campaña	Granja Cornelius		-30,409970	-56,455980	2001, 1ª campaña	7,87	416	22,4	ND	ND	NI	232,2	0	10,35	12,0	ND	ND	47,0	1,6	43,6	7,0	30,7986	4,84	4,36	10,44	S
Pozo	1-2ª campaña	Daymán		-31,458330	-57,908620	2001, 2ª campaña	8,20	NI	NI	ND	ND	NI	351,4	0	165,20	62,0	ND	ND	169,9	2,6	7,2	2,1	22,6712	7,99	10,95	-31,29	N
Pozo	2-2ª campaña	San Nicanor		-31,545290	-57,801650	2001, 2ª campaña	8,20	NI	NI	ND	ND	NI	360,0	0	156,30	44,3	ND	ND	160,9	2,4	6,5	2,1	20,9601	7,55	10,41	-31,75	N
Pozo	3-2ª campaña	Guaviyú		-31,841650	-57,886920	2001, 2ª campaña	8,90	NI	NI	ND	ND	NI	515,5	0	211,30	106,4	ND	ND	283,9	1,1	2,2	0,4	22,4573	12,51	15,85	-23,52	N
Pozo	4-2ª campaña	KSDBasalt o		-31,457190	-57,904940	2001, 2ª campaña	9,00	NI	NI	ND	ND	NI	365,8	0	91,30	44,3	ND	ND	159,9	0,9	1,8	0,3	41,9203	7,09	9,15	-25,34	N
Pozo	5-2ª campaña	Hotel Quiroga		-31,274790	-58,043360	2001, 2ª campaña	8,10	NI	NI	ND	ND	NI	328,3	0	248,20	97,5	ND	ND	198,9	3,4	10,0	3,3	21,8157	9,51	13,30	-33,26	N
Pozo	6-2ª campaña	Arapey		-30,949320	-57,517960	2001, 2ª campaña	7,90	NI	NI	ND	ND	NI	302,4	0	152,80	17,7	ND	ND	81,0	6,5	26,8	10,5	18,6075	5,89	8,64	-37,81	N
Pozo	7-2ª campaña	Pintado		-30,459170	-56,431360	2001, 2ª campaña	7,60	NI	NI	ND	ND	NI	198,7	0	51,30	17,7	ND	ND	12,8	2,1	41,9	7,3	28,0181	3,31	4,82	-37,36	N
Pozo	8-2ª campaña	Tranqueras		-31,190570	-55,768890	2001, 2ª campaña	5,70	NI	NI	ND	ND	NI	20,2	0	79,70	17,7	ND	ND	6,5	2,8	13,3	4,3	22,8851	1,37	2,49	-57,83	N
Pozo	9-2ª campaña	Rivera		-30,893890	-55,523170	2001, 2ª campaña	6,00	NI	NI	ND	ND	NI	89,3	0	89,40	17,7	ND	ND	4,0	2,6	26,8	4,9	33,7929	1,98	3,83	-63,40	N
Pozo	10-2ª campaña	R. Cantera		-30,914530	-55,535870	2001, 2ª campaña	5,70	NI	NI	ND	ND	NI	74,9	0	225,90	62,0	ND	ND	9,7	4,5	51,5	18,5	32,7235	4,63	7,68	-49,47	N
Pozo	11-2ª campaña	As. Morales		-31,272820	-55,668090	2001, 2ª campaña	6,30	NI	NI	ND	ND	NI	28,8	0	84,50	8,9	ND	ND	2,1	1,2	4,8	1,2	9,83843	0,46	2,48	-137,40	N
Pozo	12-2ª campaña	IMT		-31,739520	-56,027400	2001, 2ª campaña	6,30	NI	NI	ND	ND	NI	37,0	0	106,40	17,7	ND	ND	9,7	3,2	10,4	3,4	29,3014	1,30	3,32	-87,28	N
Pozo	13-2ª campaña	Colonia Viñar		-30,467250	-57,616100	2001, 2ª campaña	8,10	NI	NI	ND	ND	NI	287,0	0	5,10	35,5	ND	ND	120,9	3,5	5,1	0,8	19,2491	5,67	5,81	-2,51	S
Pozo	18-2ª campaña	Kanarek		-31,457550	-57,905010	2001, 2ª campaña	8,20	NI	NI	ND	ND	NI	342,7	0	38,40	53,2	ND	ND	146,9	2,6	7,3	2,1	22,0295	6,99	7,92	-12,41	S
Pozo	19-2ª campaña	C. R. Salto		-31,376310	-57,975080	2001, 2ª campaña	8,10	NI	NI	ND	ND	NI	357,1	0	223,40	203,9	ND	ND	279,9	3,3	11,7	2,8	24,3822	13,07	16,25	-21,71	N
Pozo	20-2ª campaña	Almirón		-32,357720	-57,269360	2001, 2ª campaña		NI	NI	ND	ND	NI	34,6	0	191,40	3589,6	ND	ND	2099,0	5,5	260,0	6,8	15,827	104,96	105,67	-0,67	S

NI: no indicado
ND: no determinado



Tabla A1.12. Datos químicos de Pérez et al. (2000)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo					medido en laboratorio															
Pozo	410	Artigas		-30.41594	-56.45526	2000	6,61	333				200	229,36		6,1	7	3,2	0,2	43	1,6	32,8	8,6		4,26	4,15	2,66	S
Pozo	1 4 001	Artigas		-30.40392	-56.45481	2000	6,60	331				180	229,36		3	5	1,5	0,2	15	1,9	48,2	11,4		4,05	4,00	1,27	S
Pozo	1 4 002	Artigas		-30.40357	-56.47719	2000	6,50	270				180	190,32		3	1	1,5	0,2	11	2,6	36,8	8,9		3,12	3,25	-4,03	S
Pozo	1 4 003	Artigas		-30.41880	-56.46706	2000	6,65	310				190	222,04		3	1	<LD	0,2	19	2,4	44,0	9,8		3,89	3,74	4,00	S
Pozo	1 4 004	Artigas		-30.41345	-56.48382	2000	6,28	267				200	168,36		3	3	9,7	0,2	12	3,7	31,2	13,3		3,27	3,07	6,21	S
Pozo	1 4 011	Artigas		-30.41174	-56.48556	2000	5,76	106				100	65,88		3	1	<LD	0,2	6	2,1	13,4	2,9		1,22	1,18	3,50	S
Pozo	1 4 016	Artigas		-30.41618	-56.47547	2000	7,40	337				189	180,56		3	5	4,0	0,3	10	2,2	37,6	9,2		3,13	3,24	-3,62	S
Pozo	C. Egido	Artigas		-30.41872	-56.48835	2000	5,90	110				90	63,44		3	1	1,7	0,2	8	1,4	19,3	3,3		1,62	1,17	32,39	N
Pozo	Pintadito	Artigas		-30.43118	-56.45650	2000	6,46	143				110	118,08		3	1	<LD	0,2	8	2,2	15,7	5,1		1,61	2,04	-23,48	N
Pozo surgente	Artigas II	Artigas		-30.40406	-56.47762	2000	6,74	270				170	195,20		3	2	0,8	0,2	21	2,0	37,6	8,3		3,53	3,33	5,77	S
Laguna	Laguna	Artigas		-30.41555	-56.45559	2000	6,12	40,8				80	17,08		3	1	<LD	0,2	2	0,9	2,9	1,4		0,37	0,38	-2,93	N
Río	R. Cuareí	Artigas		-30.41555	-56.45526	2000	6,49	81,4				82,4	46,36		2	2	<LD	0,2	7	2,6	9,0	3,5		1,11	0,83	29,14	S
Lluvia	Lluvia	Artigas		-30.41630	-56.45526	2000	7,12	55,1				82	29,28		3	2	1,3	0,2	1,1	1,1	4,3	1,0		0,37	0,63	-51,23	N

<LD: no detectado

3: cifra dividida por 10 respecto al límite de detección indicado por el autor



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error '200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY002MS	San Patricio		-26,97672	-56,82707	19/11/2003	5,38	33	22,60				12,20		0,11	0,05	0,67	0,060	0,60	2,30	1,10	0,80	21,50	0,21	0,22	-5,63	S
pozo	SAGPY005MS	Compañía San Gabriel		-26,84370	-56,83462	20/11/2003	7,45	427	21,60				268,40		1,23	3,13	1,18	0,090	8,40	3,90	71,60	6,90	39,40	4,61	4,54	1,65	S
Arroyo	Arroyo	Arroyo Tororo		-26,82338	-56,83682	20/11/2003	6,62	36	21,40				15,25		0,88	0,99	0,82	0,060	1,30	1,50	2,80	1,45		0,35	0,31	12,48	S
pozo	SAGPY010MS	San Juan BautistaSDEs sap		-26,67513	-57,15225	21/11/2003	6,22	239	24,90				76,25		6,03	7,95	20,40	0,170	16,40	5,70	12,90	5,22	18,70	1,93	1,94	-0,21	S
pozo	SAGPY018MS	Ctro.Salud San Ignacio		-26,89006	-57,01886	22/11/2003	5,50	25	22,40				12,20		0,09	0,78	2,46	0,050	1,00	1,20	1,40	0,90	20,10	0,22	0,27	-19,78	S
pozo	SAGPY065IT	Edelira SD Km 28		-26,72400	-55,34391	17/12/2003	7,17	178	22,00				85,40		0,40	1,20	9,36	0,070	9,80	0,90	17,40	5,88	46,20	1,80	1,60	12,13	S
pozo	SAGPY044IT	Cruce Km 16SDCap. Meza		-26,82360	-55,34047	17/12/2003	5,82	112	23,50				30,50		0,29	0,95	22,50	0,080	2,90	1,40	12,60	3,80	28,50	1,10	0,90	20,43	S
pozo	SAGPY043IT	Pirapó SD Centro		-26,85699	-55,54767	17/12/2003	6,64	188	22,70				100,65		1,05	0,82	5,28	0,100	7,70	1,40	21,00	6,38	48,90	1,95	1,79	8,59	S
Arroyo	Arroyo	Arroyo Pirapó SD Pirapó		-26,85728	-55,54848	17/12/2003	6,64	50	22,01						0,95	0,70	5,80	0,040	1,20	1,70	4,70	1,79		0,48	0,14	111,82	N
pozo	SAGPY067IT	San Cosme y Damian		-27,31314	-56,33932	18/12/2003	5,94	78	23,00				42,70		0,07	0,04	0,01	0,080	3,60	1,70	6,50	3,23	44,90	0,79	0,71	11,20	S
pozo	SAGPY034IT	Bella Vista		-27,03925	-55,57842	19/12/2003	7,02	216	25,30				128,10		0,05	0,99	0,60	0,060	20,40	0,90	24,20	2,00	50,40	2,28	2,14	6,45	S
pozo	SAGPY048IT	Hoenau		-27,08353	-55,64518	20/12/2003	6,47	134	22,30				67,15		0,92	0,76	2,78	0,130	5,60	1,50	12,40	5,72	59,70	1,37	1,19	14,00	S
Nacient e	Naciente	Hoenau		-27,08842	-55,64974	20/12/2003	5,68	89	22,80				30,50		0,84	0,83	5,75	0,040	2,40	1,30	7,20	3,29	37,20	0,77	0,64	18,89	S
pozo	SAGPY050IT	Jesus		-27,05534	-55,74965	20/12/2003	6,60	204	22,00				97,60		0,19	1,86	9,99	0,100	8,10	2,80	22,30	6,39	57,70	2,06	1,82	12,45	S
pozo	SAGPY056IT	KambyretaSD Villa EBY		-27,29343	-55,81422	22/12/2003	6,73	217	25,00				128,10		0,60	1,37	0,15	0,070	9,10	1,80	25,60	6,96	48,60	2,29	2,16	6,17	S
pozo	SAGPY054IT	KambyretaSD Centro		-27,35851	-55,76104	22/12/2003	6,32	175	22,40				97,60		0,13	1,62	1,88	0,070	9,70	0,90	20,60	4,60	57,60	1,85	1,68	9,67	S
pozo	SAGPY063IT	Cnel. BogadoSDOfi c. Adm.		-27,15739	-56,23127	23/12/2003	8,22	292	23,80				167,75		2,11	2,52	2,64	0,230	63,70	0,30	4,10	0,39	66,00	3,01	2,92	3,19	S
pozo	SAGPY078IT	Cnel. BogadoSDAviación		-27,16801	-56,23078	23/12/2003	8,26	558	31,50				317,20		18,20	7,92	0,79	0,550	#####	0,80	3,60	0,85	17,70	5,75	5,84	-1,64	S
pozo	SAGPY094MS	Estancia Chahã		-26,90954	-57,35578	01/03/2004	5,24	35	27,00				30,50		3,10	6,00	0,90	0,190	11,60	2,30	29,80	1,33	46,30	2,16	0,76	96,18	N
pozo	SAGPY012MS	San Cristóbal		-26,65753	-57,20043	02/03/2004	6,07	91	23,70				195,20		0,03	1,10	5,40	0,020	0,40	0,30	2,12	0,65	18,10	0,18	3,32	-178,93	N
pozo	SAGPY001MS	Santiago		-27,14030	-56,76342	02/03/2004	6,33	226	23,30				85,40		1,60	0,00	1,20	0,340	3,70	5,00	7,33	2,27	36,80	0,84	1,47	-54,35	N
pozo	SAGPY052IT	Fram		-27,09911	-56,01949	03/03/2004	5,72	57	21,40				21,35		3,30	7,40	22,20	0,080	7,40	1,10	19,90	8,85	75,50	2,07	0,99	70,77	N

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY10 5IT	Alto Verá		-26,75254	-55,76854	03/03/2004	9,08	578	26,40				189,10		1,30	0,60	5,00	0,050	1,40	2,20	4,70	2,38	34,20	0,55	3,23	-141,94	N
pozo	SAGPY10 7IT	Capitán Meza Puerto		-26,93151	-55,23619	04/03/2004	7,96	202	24,20				115,90		61,70	26,80	<LD	0,710	#####	0,30	2,02	0,38	33,10	5,17	-	-	N
pozo	SAGPY11 1IT	Yatytay		-26,67180	-55,08445	04/03/2004	6,61	48	28,50				21,35		0,40	1,20	1,10	0,140	47,00	0,30	1,68	0,38	34,20	2,17	0,42	135,40	N
Río	Río	Río Paraná		-26,93924	-55,23789	04/03/2004	5,73	31	21,60				0,00		1,40	2,80	0,30	0,060	2,50	2,70	3,35	1,63	12,80	0,48	0,12	122,05	N
Manantial	Manantial	Ma. Auxiliadora-1		-26,52930	-55,27695	05/03/2004	6,78	211	23,80				100,65		0,20	0,50	5,60	0,020	0,80	0,50	2,65	1,59	15,40	0,31	1,76	-139,93	N
pozo	SAGPY11 4IT	Ma. Auxiliadora-2		-26,53203	-55,26433	05/03/2004	6,13	134	24,80				64,05		0,90	1,60	9,20	0,070	13,80	0,70	20,90	4,53	46,30	2,04	1,27	46,63	N
pozo	SAGPY11 9IT	Kress BurgoSDKime x		-26,32141	-55,03116	06/03/2004	7,05	139	22,90				79,30		0,30	0,70	0,40	0,070	6,30	1,10	11,40	4,01	40,70	1,20	1,34	-10,56	S
pozo	SAGPY12 4IT	Mayor Otaño		-26,34859	-54,71489	06/03/2004	5,00	51	25,80				0,00		0,50	0,60	4,70	0,070	7,60	0,90	14,70	4,21	50,30	1,43	0,11	172,29	N
pozo	SAGPY12 6AP	Cruce Naranjal		-25,94960	-55,12441	07/03/2004	6,62	130	22,50				73,20		0,10	7,80	2,50	0,020	5,70	0,50	1,52	0,65	6,40	0,39	1,46	-115,80	N
pozo	SAGPY13 0AP	Iruña		-26,11187	-55,05364	08/03/2004	6,51	222	22,20				106,75		0,30	0,70	2,60	0,070	4,70	1,30	14,20	4,96	47,60	1,36	1,82	-29,32	N
pozo	SAGPY13 1AP	Raúl Peña		-26,15640	-55,27090	08/03/2004	6,18	185	22,80				91,50		0,70	1,40	12,70	0,050	9,00	1,10	28,00	6,16	42,30	2,33	1,76	27,64	N
pozo	SAGPY12 7AP	Naranjal		-25,97825	-55,19263	09/03/2004	6,91	250	27,30				106,75		0,90	2,40	12,80	0,090	21,20	1,60	12,90	3,39	38,40	1,89	2,05	-8,18	S
pozo	SAGPY13 6AP	Santa Rita		-25,79584	-55,03416	09/03/2004	7,45	234	26,80				122,00		14,60	10,50	3,20	0,160	24,00	1,20	24,50	2,82	40,30	2,53	2,66	-4,96	S
pozo	SAGPY13 7AP	Santa Rita		-25,79926	-55,09912	09/03/2004	7,39	229	23,60				140,30		5,30	3,70	2,60	0,080	18,90	1,30	22,20	5,95	26,00	2,45	2,56	-4,23	S
pozo	SAGPY14 2AP	Sta. Rosa del Monday		-25,81494	-54,90727	09/03/2004	5,93	66	3,80				27,45		0,90	0,30	<LD	0,100	17,20	0,50	27,90	3,80	49,70	2,47	-	-	N
pozo	SAGPY14 0AP	Curupayty		-25,84234	-54,97677	09/03/2004	8,02	422	27,70				176,90		0,50	1,30	7,20	0,040	3,60	1,40	5,26	2,01	21,00	0,62	3,07	-132,64	N
pozo	SAGPY08 4AP	Pto. Pde. Franco		-25,55205	-54,60773	10/03/2004	8,52	3.340	32,00				274,50		7,10	19,50	29,00	0,820	89,90	0,50	4,83	1,08	54,20	4,25	5,71	-29,24	N
pozo	SAGPY08 9AP	Minga Guasú		-25,45225	-54,80215	10/03/2004	8,53	4.500	25,00				54,90		810,00	359,00	0,20	3,660	#####	3,20	4,30	1,21	14,20	32,27	28,08	13,86	S
pozo	SAGPY14 3AP	Pto. Pde. Franco		-25,55173	-54,60719	10/03/2004	8,30	4.000	30,00				213,50		#####	630,00	0,20	#####	#####	1,70	51,60	0,13	25,50	40,98	43,73	-6,49	S
pozo	SAGPY08 1AP	Ciudad del Este-1		-25,51514	-54,61373	11/03/2004	8,08	1.263	23,50				125,05		#####	445,00	0,20	4,560	#####	3,60	9,72	3,43	12,90	39,34	37,50	4,80	S
pozo	SAGPY07 9AP	Ciudad del Este-2		-25,50667	-54,61459	11/03/2004	8,34	3.340	34,40				253,15		248,00	130,00	26,60	7,380	#####	0,90	11,50	2,06	26,50	12,07	13,80	-13,33	S
pozo	SAGPY14 4AP	Puerto Palma		-25,28303	-54,53757	11/03/2004									873,00	348,00	0,40	3,940	#####	4,30	6,60	1,51	16,30	32,48	28,20	14,08	S
pozo	SAGPY14 6AP	Minga Guasú		-25,45243	-54,80109	12/05/2004	8,36	3.360	31,20				292,80		830,00	370,00	0,10	3,860	#####	3,60	5,00	1,33	13,80	32,76	32,72	0,11	S

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)	
							medido en campo				medido en laboratorio																	
Humeda l	Humedal	Yabebyry		-27,27513	-57,05404	26/05/2004	6,41	58	16,50						1,80	4,23	0,46	0,070	3,80	2,50	3,42	1,24	10,70	0,50	0,17	99,84	N	
pozo	SAGPY14 7MS	Yabebyry		-27,38004	-57,16586	26/05/2004	5,96	104	22,70				72,10		1,70	0,82	0,35	0,040	2,20	0,90	3,88	0,93	29,40	0,39	1,25	-104,92	N	
pozo	SAGPY14 9IT	San Miguel Potrero		-27,08029	-56,21280	27/05/2004	5,20	25	22,20				30,50		0,20	1,13	6,48	0,040	0,90	0,30	1,72	1,01	20,00	0,22	0,64	-99,40	N	
pozo	SAGPY15 2IT	Gral. Artigas		-26,93209	-56,22474	27/05/2004	5,03	61	22,60				12,20		0,30	4,86	21,80	0,040	2,20	3,10	5,12	2,12	19,70	0,61	0,70	-14,04	S	
pozo	SAGPY15 8CZ	Leandro Oviedo		-26,74745	-56,27558	27/05/2004	6,81	362					237,90		4,70	3,83	0,53	0,600	16,10	1,90	33,60	19,40	45,80	4,03	4,15	-2,95	S	
pozo	SAGPY15 9CZ	Yuty		-26,61677	-56,24673	28/05/2004	7,12	387	23,50				189,10		32,50	6,77	7,13	0,370	16,10	1,60	39,50	18,00	40,20	4,20	4,10	2,29	S	
pozo	SAGPY16 0CZ	Col. 3 de mayo		-26,48045	-56,09611	28/05/2004	7,14	244	23,00				158,60		5,80	1,12	0,01	0,170	43,40	1,00	12,00	1,21	24,30	2,61	2,76	-5,56	S	
pozo	SAGPY16 2CZ	S.J. Nepomuceno		-26,11107	-55,94632	28/05/2004	8,52	467	22,90				280,60		16,10	3,87	0,01	0,220	#####	0,60	1,39	0,09	11,90	4,87	5,06	-3,65	S	
pozo	SAGPY16 4CZ	Toro Blanco		-26,24317	-55,70528	29/05/2004	8,60	492	21,70				311,10		15,50	3,72	0,04	0,300	#####	0,50	1,11	0,19	13,20	5,17	5,54	-6,97	S	
pozo	SAGPY16 7CZ	Colonia Tito Firpo		-26,05604	-55,56408	29/05/2004	6,30	112	19,80				73,20		0,50	0,85	0,74	0,100	3,60	4,60	10,90	4,36	45,30	1,18	1,25	-6,05	S	
pozo	SAGPY14 5AP	Itaipu SD CDE		-25,51730	-54,62291	30/05/2004	8,20	3.710	31,00				250,10		947,00	409,00	0,17	4,520	#####	3,30	8,41	2,53	12,60	35,97	35,59	1,07	S	
pozo	SAGPY16 9AP	Itaquyry		-25,01564	-55,14354	30/05/2004	7,60	254	22,80				183,00		1,80	0,35	0,01	0,040	28,70	3,90	24,20	2,14	62,00	2,73	3,05	-10,93	S	
pozo	SAGPY17 1AP	Colonia Yguazú		-25,45639	-55,00849	31/05/2004	5,89	46					30,50		0,10	0,53	0,01	0,040	1,60	3,50	3,20	1,94	26,80	0,48	0,52	-8,12	S	
Lago	Lago	Lago Yguazú		-25,39998	-55,00961	31/05/2004	6,37	13					73,20		0,60	0,29	0,47	0,010	0,10	0,80	0,88	0,43	7,00	0,10	1,23	-168,73	N	
pozo	SAGPY17 2GU	Yataity		-25,67362	-56,45840	15/07/2004	5,40	87	23,40				48,80		1,60	8,70	10,40	0,080	6,00	1,80	3,12	3,60	39,90	0,76	1,25	-48,88	N	
pozo	SAGPY17 3GU	Melgarejo SD Independencia		-25,71592	-56,22292	15/07/2004	7,74	503	22,40				329,40		20,10	1,89	0,05	0,200	97,70	1,30	11,10	6,92	12,20	5,41	5,88	-8,46	S	
pozo	SAGPY17 5GU	Fasardi		-25,98101	-56,02249	15/07/2004	5,51	32	22,40				36,60		0,50	1,08	1,83	0,020	1,00	3,10	1,84	0,70	25,50	0,27	0,67	-84,56	N	
pozo	SAGPY16 2CZ	S.J. Nepomuceno		-26,11107	-55,94632	16/07/2004	8,65	474	22,00				280,60		16,10	2,60	0,01	0,130	#####	0,50	1,35	0,09	11,80	4,83	5,02	-3,84	S	
pozo	SAGPY17 6GU	Eugenio A. Garay		-25,97085	-56,18507	16/07/2004	6,23	133	20,70				79,30		2,90	1,97	0,90	0,050	5,30	1,50	12,70	5,88	53,00	1,39	1,43	-3,21	S	
pozo	SAGPY17 7CA	Carayao		-25,20913	-56,30243	17/07/2004	6,96	446	22,40				256,20		26,30	3,79	0,28	0,330	13,10	3,20	46,30	25,60	30,00	5,07	4,88	3,96	S	
pozo	SAGPY18 4AP	Juan E. O'Leary		-25,41542	-55,37668	19/07/2004	7,63	273	21,40				170,80		1,20	3,33	0,16	0,020	21,00	4,60	26,20	6,42	60,90	2,87	2,92	-1,84	S	
pozo	SAGPY18 5CA	Juan E. Estigarribia		-25,37784	-55,70152	19/07/2004	4,36	9	19,00				0,00		0,05	0,04	0,20	0,020	0,20	0,70	0,21	0,19	10,40	0,05	0,01	156,43	N	
pozo	SAGPY16 1AP	Colonia Yguazú		-25,45639	-55,00849	19/07/2004	5,18	46	22,40				12,20		0,20	0,51	<LD	0,050	1,50	3,40	3,19	1,92	26,80	0,47	0,22	71,95	N	

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY16 1AP	Colonia Yquazú		-25,45639	-55,00849	19/07/2004	5,18	46	22,40				12,20		0,20	0,51	<LD	0,050	1,50	3,40	3,19	1,92	26,80	0,47	0,22	71,95	N
pozo	SAGPY14 5AP	Itaipú SD CDE		-25,51730	-54,62291	20/07/2004	7,76	3760	29,00				231,80		956,00	402,00	0,09	4,380	####	3,20	8,35	2,53	12,40	35,92	35,27	1,83	S
Río	Río	Pto. Pdte. Franco		-25,55330	-54,59581	20/07/2004	5,91	49	20,00				24,40		1,80	1,83	1,09	0,060	2,20	1,60	4,01	1,73	13,30	0,48	0,51	-6,13	S
pozo	SAGPY13 6AP	Santa Rita		-25,79664	-55,09397	20/07/2004	6,27	267	22,60				109,80		17,10	14,60	2,35	0,210	25,40	1,10	24,20	2,71	38,80	2,57	2,62	-1,97	S
pozo	SAGPY18 6IT	Tomás Romero Pereira		-26,49589	-55,28080	21/07/2004	5,08	55	21,60				12,20		0,20	0,76	8,11	0,020	1,10	0,50	5,01	2,32	17,00	0,50	0,36	33,65	N
pozo	SAGPY10 7IT	Capitán Meza Puerto		-26,93151	-55,23619	21/07/2004	8,54	526	24,20				183,00		59,60	25,50	0,02	0,700	####	0,20	2,23	0,44	32,60	4,89	5,00	-2,13	S
pozo	SAGPY07 1IT	Trinidad		-27,13430	-55,70542	21/07/2004	4,91	33	22,30				12,20		0,60	0,50	2,62	0,040	0,90	3,50	1,38	0,92	24,00	0,27	0,27	0,89	S
pozo	SAGPY03 4IT	Bella Vista		-27,03929	-55,57841	22/07/2004	6,19	215	22,40				143,20		0,80	0,98	1,28	0,050	19,90	0,80	24,10	2,00	50,90	2,26	2,42	-6,84	S
pozo	SAGPY07 8IT	Coronel Bogado		-27,16801	-56,23078	23/07/2004	8,08	560	31,90				341,60		19,30	9,14	1,03	0,560	####	0,70	3,90	0,80	17,60	5,97	6,31	-5,39	S
pozo	SAGPY14 7MS	Yabebyry SD San Ignacio		-27,38004	-57,16586	23/07/2004	5,60	100	23,10				61,00		1,90	0,75	0,01	0,040	1,80	0,70	3,34	0,80	29,20	0,33	1,06	-105,46	N
Río	Río	Yataity		-25,63530	-56,48013	09/08/2004	7,13	56	16,20				48,80		1,40	0,95	1,87	0,060	1,60	1,90	5,42	1,96	18,20	0,55	0,89	-47,06	N
Manantial	Manantial	Maria Auxiliadora		-26,52930	-55,27695	10/08/2004	5,68	31	18,80				30,50		0,30	0,53	2,77	0,020	0,60	0,40	2,53	1,48	15,10	0,28	0,57	-66,30	N
pozo	SAGPY06 2IT	Carmen del Paraná		-27,22238	-56,15316	10/08/2004	7,25	1529	31,40				353,80		121,00	210,00	21,00	0,300	####	2,00	48,40	3,26	24,20	15,00	14,59	2,77	S
pozo	SAGPY21 2KN	La Paloma Kanindeyu		-24,12954	-54,61569	02/12/2005	5,97	92	28,80				51,85		0,21	0,90	1,00	0,110	3,60	1,40	8,14	3,57	47,10	0,89	0,90	-0,95	S
Arroyo	Arroyo	Itabó SD Mbaracayu Alto Paraná		-25,03255	-54,83050	30/11/2005	6,50	18					12,20		0,17	0,80	1,20	0,030	0,60	0,40	1,52	0,71		0,17	0,25	-36,51	N
pozo	SAGPY19 8AP	Mbaracayu Alto Paraná		-25,03192	-54,83028	30/11/2005	10,10	288	22,40				158,60		8,43	2,50	<LD	0,620	64,80	0,10	0,57	0,01	37,40	2,85	2,88	-1,03	S
pozo	SAGPY20 1AP	San Alberto Alto Paraná		-24,97894	-54,91511	01/12/2005	6,80	500	25,80				64,05		0,32	0,50	<LD	0,090	7,40	0,90	8,63	3,20	41,70	1,04	1,08	-3,39	S
pozo	SAGPY20 5AP	Colonia 8 de Diciembre Alto Paraná		-24,78162	-54,69429	01/12/2005	6,50	135	27,70				61,00		0,69	0,10	<LD	0,070	9,70	0,40	10,80	0,18	29,40	0,99	1,02	-3,40	S

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). Continuación.

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY20 7KN	Colonia Los Laureles Alto Paraná		-24,56694	-54,95504	01/12/2005	4,50	37	24,10				0,00		0,06	0,10	3,61	0,020	0,40	0,10	0,85	0,40	9,00	0,10	0,06	40,36	N
pozo	SAGPY21 0KN	Katuete SD Pozo 1 Kanindeyu		-24,24402	-54,76253	02/12/2005	8,77	326	25,90				106,75		0,86	0,30	0,06	0,160	32,60	0,60	3,36	1,14	37,50	1,69	1,79	-5,24	S
pozo	SAGPY20 8KN	Colonia Nueva Esperanza Alto Paraná		-24,50490	-54,85290	01/12/2005	6,00	74	24,70				45,75		0,39	0,60	<LD	0,120	4,20	2,20	7,04	2,19	34,40	0,77	0,78	-1,32	S
pozo	SAGPY19 3AP	Hernandarias Alto Paraná		-25,43395	-54,64201	29/11/2005	8,53	165	25,0				91,50		0,46	0,20	<LD	0,100	32,80	0,10	0,75	0,04	34,50	1,47	1,52	-3,41	S
pozo	SAGPY21 5KN	Salto del Guairá Kanindeyu		-24,06993	-54,30770	03/12/2005	8,50	371	24,30				158,60		25,70	13,30	6,66	0,500	82,90	0,60	1,96	0,50	36,10	3,76	3,64	3,11	S
Río	Río	Río Paraná SD Salto del Guairá Kanindeyu		-24,06465	-54,29770	03/12/2005	6,00	38	26,80				21,35		0,93	1,40	0,73	0,060	1,70	1,20	2,96	1,16	13,40	0,35	0,42	-19,61	S
pozo	SAGPY22 1KN	Corpus Christi Kanindeyu		-24,08044	-54,93700	03/12/2005	9,50	567	28,90				280,60		43,00	8,80	0,07	0,860	#####	0,20	0,37	0,02		5,55	5,79	-4,29	S
pozo	SAGPY22 5KN	Curuguaty Kanindeyu		-24,47028	-55,68663	03/12/2005	7,50	237	24,00				158,60		0,91	0,10	0,13	0,050	7,70	3,50	34,10	5,68	56,40	2,60	2,63	-1,14	S
pozo	SAGPY22 8CA	Cecilio Báez Caaguazú		-25,06929	-56,24229	14/12/2005	6,90	162	27,00				91,50		1,94	2,30	0,05	0,190	7,30	5,00	12,60	7,60	46,80	1,70	1,62	5,11	S
pozo	SAGPY23 2CA	San Joaquín Caaguazú		-25,02797	-56,03941	14/12/2005	5,24	28	25,40				0,00		0,09	1,30	4,78	0,020	1,50	0,80	1,64	0,72	10,50	0,23	0,12	64,20	N
pozo	SAGPY23 3CA	Yhu Caaguazú		-25,05922	-55,91569	15/12/2005	5,20	54	25,40				0,00		0,31	3,00	5,67	0,030	1,90	1,70	0,89	0,77	13,30	0,23	0,18	23,91	N
pozo	SAGPY23 7KN	Villa Ygatimi Kanindeyu		-24,12419	-55,64312	16/12/2005	9,05	796	26,60				442,25		7,66	2,00	0,56	0,450	#####	0,90	0,82	0,29	13,30	7,35	7,50	-2,02	S
pozo	SAGPY23 9KN	Ype Yhu Kanindeyu		-23,88759	-55,44040	16/12/2005	6,21	154	26,10				48,80		0,20	<LD	0,04	0,030	1,10	0,90	7,40	1,23	14,70	0,54	#####	#####	N
pozo	SAGPY24 3AM	Capitán Bado Amambay		-23,26677	-55,53690	17/12/2005	5,35	315	25,30				12,20		3,36	23,40	51,50	0,100	20,30	6,20	4,70	1,82	8,10	1,43	1,77	-21,25	N
pozo	SAGPY24 5AM	Capitán Bado Amambay		-23,28376	-55,61396	17/12/2005	7,03	204	24,80				91,50		0,40	2,00	<LD	0,070	5,80	1,20	16,10	5,40	52,60	1,53	#####	#####	S

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptabl e (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY24 6SP	Santa Rosa del Aguaray San Pedro		-23,76010	-56,49469	17/12/2005	5,31	114	25,60				6,10		0,07	0,10	0,65	0,030	0,50	0,80	0,42	0,24	20,10	0,08	0,12	-33,50	N
pozo	SAGPY24 7SP	Nueva Germania San Pedro		-23,90839	-56,70487	17/12/2005	5,20	113	24,60				6,10		0,85	3,50	14,70	0,150	3,00	1,60	2,96	1,36	88,00	0,43	0,46	-6,72	S
pozo	SAGPY25 1SP	Villa Mercedes San Pedro		-23,97788	-56,92636	18/12/2005	5,75	55	27,00				36,60		2,16	0,25	0,02	0,150	4,40	2,80	4,22	1,02	90,30	0,56	0,66	-16,81	S
pozo	SAGPY25 3SP	San Pedro del Ycuamandiyú San Pedro		-24,09136	-57,07668	18/12/2005	6,63	471	26,30				219,60		30,60	23,30	2,93	0,170	17,60	5,40	75,20	3,09	72,90	4,92	4,95	-0,66	S
pozo	SAGPY26 2SP	Colonia Naranjito San Pedro		-24,00944	-56,27913	18/12/2005	5,30	47	25,70				18,30		0,51	2,80	2,91	0,060	3,10	5,00	1,12	1,13	36,70	0,41	0,44	-6,56	S
pozo	SAGPY26 6SP	Cruce Liberación San Pedro		-24,20003	-56,43527	19/12/2005	4,70	21	23,70				0,00		0,13	2,00	3,44	0,020	1,00	1,00	1,29	0,43	23,00	0,17	0,12	37,51	N
pozo	SAGPY26 9SP	Choré San Pedro		-24,18843	-56,57553	19/12/2005	5,47	57	26,40				24,40		0,56	3,70	8,40	0,050	4,10	2,40	3,63	1,15	41,30	0,52	0,65	-23,63	N
pozo	SAGPY27 9SP	Guayaiví San Pedro		-24,53787	-56,40500	19/12/2005	4,75	38	24,70				0,00		0,05	1,40	10,40	0,030	1,40	1,30	2,02	0,92	22,20	0,27	0,21	25,40	N
pozo	SAGPY28 1SP	San Estanislao San Pedro		-24,66673	-56,44288	19/12/2005	8,63	454	28,80				280,60		11,40	1,50	0,17	1,070	#####	0,70	1,14	0,20	15,50	4,79	4,94	-3,12	S
pozo	SAGPY28 7AM	Cerro Corá Amambay		-22,65188	-56,02585	05/01/2006	5,83	19	24,40				12,20		0,11	0,20	0,50	0,020	0,60	3,40	1,01	0,23	20,40	0,18	0,22	-17,31	S
pozo	SAGPY29 1AM	Bella Vista Norte Amambay		-22,12183	-56,49484	06/01/2006	5,87	86	25,50				45,75		0,53	2,50	10,40	0,080	7,10	1,20	5,20	2,80		0,83	1,00	-18,94	S
pozo	SAGPY29 2AM	Junto esc. María Auxiliadora Amambay		-22,47206	-56,29155	06/01/2006	5,50	17	27,10				9,15		0,08	0,20	0,41	0,030	0,80	3,40	0,24	0,26	20,70	0,16	0,17	-6,46	S
pozo	SAGPY29 5AM	Pedro Juan Caballero Amambay		-22,54605	-55,74202	07/01/2006	6,10	254	24,40				82,35		0,56	12,30	53,00	0,030	4,50	1,60	24,00	12,00	40,50	2,42	2,56	-5,63	S

<LD: no detectado



Tabla A1.13. Datos químicos de BGR (2007). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	SAGPY29 6AM	Zanja Pytá Amambay		-22,62675	-55,62806	07/01/2006	7,11	86	23,20				48,80		0,39	0,30	0,09	0,080	2,40	1,80	11,60	2,22	34,50	0,91	0,82	10,47	S
pozo	SAGPY29 9AM	Cerro CoráSDí Amambay		-22,51734	-55,81032	07/01/2006	7,65	399	30,00				253,15		3,37	2,20	0,10	0,390	36,30	0,40	51,10	4,29	64,20	4,50	4,30	4,37	S
pozo	SAGPY30 2SP	Tacuatí San Pedro		-23,45360	-56,73704	08/01/2006	5,23	108	31,60				18,30		7,34	6,40	22,80	0,170	8,50	6,70	3,37	3,06	93,80	0,96	1,01	-4,93	S
pozo	SAGPY30 3CN	San Antonio SD Azotey Concepción		-23,33885	-56,49158	08/01/2006	5,53	39	29,50				9,15		0,13	2,70	5,14	0,040	1,80	4,60	2,00	0,49	36,30	0,34	0,31	6,91	S
pozo	SAGPY30 5CN	Yby Jahú Concepción		-22,96065	-56,53662	08/01/2006	7,57	287	26,40				213,50		2,10	7,00	1,22	0,240	39,80	2,90	15,00	6,52	48,90	3,09	3,77	-19,87	S
pozo	SAGPY30 8SP	Laguna Blanca San Pedro		-23,81327	-56,28205	09/01/2006	5,35	9	33,50				0,00		0,23	0,50	0,09	0,030	0,30	0,50	0,41	0,21	6,50	0,06	0,02	97,54	N
pozo	SAGPY30 9PH	Villa Hayes Presidente Hayes		-25,04153	-57,54732	11/01/2006	6,95	983	26,30				405,65		45,60	132,00	2,26	0,300	73,40	12,00	84,40	31,90	30,60	10,34	11,37	-9,46	S

<LD: no detectado



Tabla A1.14. Datos químicos de Silva Busso (1999)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestero	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO3)	pH	STD (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO3 (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error °200	Error acceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
Pozo	Guaviyú	Guaviyú	33	-31.84165	-57.88692	30/09/1942	ND	ND	ND			200	410		124	81			ND	ND	29,1	6,72	12	-	-	-	N
Pozo	Guaviraví	Guaviraví	67	-31.32667	-64.98234	07/06/1959	ND	700	20			180	230		13,9	14,2			ND	ND	40	19		-	-	-	N
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	31/08/1988		7,7	720	46		180	238		ND	51			ND	ND	ND	ND		-	-	-	N
Pozo	Almirón	Almirón	86	-32.35772	-57.26936	01/10/1988		7,3	8900	34		190	44		1300	1380			1290	0	88,2	2,4		60,69	66,68	-9,40	S
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	01/01/1992		7,5	ND	48		200	274		140	140			215	3,65	19,7	4,5		10,80	11,35	-5,02	S
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	24/07/1992		7,8	720	46		100	303		52	43		0,9	150	3,4	7,5	2,3	95	7,17	7,31	-1,88	S
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	27/10/1993		7,87	720	46		189	258,9		ND	22,3		1,2	72	5,85	ND	10		-	-	-	N
Pozo	Federación	Federación	43	-32.43585	-56.25355	04/04/1995		7,9	640	43,1		90	360,1		50	37,4			120	1,3	13	27		8,12	8,00	1,54	N
Pozo	Federación	Federación	43	-32.43585	-56.25355	27/12/1995		7,9	640	43,2		110	190		30,9	32,4			127	1,29	13	3		6,45	4,67	32,01	N
Pozo	Arapey	Arapey	49	-30.94932	-57.51796	04/04/1996		7,8	680	39		170	350		25,9	36,5			121	1,22	17	27		8,36	7,31	13,51	S
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	05/04/1996		7,6	720	46		80	230		31,4	20			100,5	1,25	21	3,1		5,71	4,99	13,44	N
Pozo	Guaviyú	Guaviyú	33	-31.84165	-57.88692	06/04/1996		7,9	1143	38		82,4	549		70	88,1			290,7	8,2	1,2	1,2		13,01	12,94	0,52	S
Pozo	Concordia	Concordia	38	-32.48905	-56.53239	01/10/1996		7,6	720	47,1		82	191,2		26,4	57,6			130	1,2	15	2,8		6,66	5,31	22,66	N
Pozo	Colón	Colón	19	-32.61542	-57.67752	05/03/1997		8,46	1236	34,1			301		64	120,7			312	3,9	4	6		14,36	9,67	39,05	N
Pozo	Va. Elisa	Va. Elisa	45	-32.86274	-57.59082	28/04/1997		7,9	20086	38,2			95		4213	4948			4835	19	302	1		225,89	228,71	-1,24	S
Pozo	Colón	Colón	19	-32.61542	-57.67752	28/04/1997		8,4	1309	34,1			316		75,1	136			266	2,4	3	4		12,11	10,58	13,49	S
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	30/08/1997		7,68	759	42,5			359,9		46	42,6			167,9	4,36	2	2,16		7,69	8,06	-4,69	S
Pozo	Arapey	Arapey	49	-30.94932	-57.51796	03/09/1997		8,19	536	39			195		9,5	14,7			71	7,5	16	10		4,90	3,81	25,10	N
Pozo	Concordia	Concordia	38	-32.48905	-56.53239	01/11/1997		8,8	801	44,8			260		34,5	32,5		0,84	118	3,5	8,7	1		5,74	5,94	-3,49	S
Pozo	Va. Elisa	Va. Elisa	45	-32.86274	-57.59082	16/08/1998		7,9	21500	38,2			89,3		4080	5440		0,01	5120	38	224	55	9,6	239,31	239,70	-0,17	S
Pozo	Colón	Colón	19	-32.61542	-57.67752	16/08/1998		8,72	1549	34,1			302		159	131		3,8	310	2	4	1	12	13,81	12,15	12,77	S
Pozo	Guleguaychú	Guleguaychú	7	-32.97737	-58.59156	03/05/1999		8,11	20290	24,3			36		2332	5733		1,23	4267	29	366	38,5	28	207,73	210,73	-1,43	S
Pozo	Federación	Federación	43	-32.43585	-56.25355	03/05/1999		7,88	1114	43			218		86	176		0,585	200	8,2	25,7	5,6	29	10,65	10,35	2,93	S
Pozo	Concordia	Concordia	38	-32.48905	-56.53239	03/05/1999		8,8	592	44,5			256		16	36		0,822	123	4,7	9,9	1,2	32	6,06	5,59	8,14	S
Pozo	Colón	Colón	19	-32.61542	-57.67752	03/05/1999		8,77	1357	33,8			302		116	129		1,81	290	3,7	6,6	0,5	40	13,07	11,10	16,37	S
Pozo	Concep. Urg.	Concep. Urg.	20	-32.73381	-57.9654	04/05/1999		8,05	17450	29			309		706	4930		1,05	3670	24,9	314,8	33,1	34	178,67	158,70	11,84	S
Pozo	Arapey	Arapey	49	-30.94932	-57.51796	28/06/1999		8,19	533	42			205		13	16,4		0,434	77	8	26,3	9,1	90	5,62	4,12	30,83	N
Pozo	Daymán	Daymán	20	-31.45833	-57.90862	28/06/1999		8,39	738	42,3			258		49	41,5		1,031	153	4,5	9,9	1,2	111	7,36	6,47	12,83	S
Pozo	Guaviyú	Guaviyú	33	-31.84165	-57.88692	28/06/1999		9	1133	37,2			348		87	40		1,457	245	3,3	3,9	0,5	104	10,97	8,72	22,87	N
Pozo	Nicanor	Nicanor	45	-32.3408	-56.87353	28/06/1999		8,74	729	44			224		45	76,2		0,794	145	4,2	7,9	2,2	97	6,99	6,80	2,76	S

ND: No determinado



Tabla A1.15. Datos químicos de Tonetto y Bonotto (2005)

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestreo	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	1	Itirapina	730	-22,176940	-47,899170	noviembre 1998 y 1999	5,90		SD			<10	0,80		1	0,39	0,9	0,06	0,01	1,10	0,28	0,08	13,4	0,05	0,06	-24,08	N
pozo	2	Itirapina	870	-22,205830	-47,819440	noviembre 1998 y 1999	4,70		26,0			<10	0,20		1	0,39	0,9	0,12	8,44	0,32	0,49	0,04	13,1	0,40	0,06	151,24	N
pozo	3	Itirapina	840	-22,241390	-47,819440	noviembre 1998 y 1999	4,69		27,0			120	0,50		1	0,82	0,8	0,26	0,01	1,05	0,59	0,43	11,8	0,09	0,08	15,76	S
pozo	4	Río Claro	590	-22,375000	-47,645000	noviembre 1998 y 1999	7,62		26,0			170	6,85		1	3,95	1,1	0,19	46,04	<LD	1,07	0,05	17,8	2,06	0,27	153,31	N
pozo	5	Araras	670	-22,303060	-47,466110	noviembre 1998 y 1999	6,52		26,0			250	6,60		17	16,91	2,3	3,32	0,59	1,10	0,19	0,27	37,6	0,09	1,15	-172,33	N
pozo	6	Leme	700	-22,248610	-47,474720	noviembre 1998 y 1999	6,52		23,0			240	5,55		1	2,03	1,9	1,73	1,55	1,76	0,02	0,34	64,4	0,14	0,29	-69,11	N
pozo	7	Leme	700	-22,248610	-47,474720	noviembre 1998 y 1999	6,58		25,5			230	4,65		1	1,61	1,7	1,87	28,35	4,17	0,10	0,32	59,8	1,37	0,27	134,53	N
pozo	8	Itirapina	815	-22,241390	-47,830280	noviembre 1998 y 1999	4,73		SD			100	0,65		1	0,81	0,7	0,12	0,01	0,24	0,90	0,12	11,6	0,06	0,07	-15,69	S
pozo	9	Itirapina	762	-22,224720	-47,858330	noviembre 1998 y 1999	6,69		26,0			<10	0,85		1	0,69	0,8	0,26	0,01	4,48	0,07	0,89	36,6	0,19	0,08	81,43	N
pozo	10	Itirapina	SD	-22,205830	-47,785000	noviembre 1998 y 1999	4,74		25,0			60	0,20		1	0,46	0,6	0,08	200,00	0,33	0,33	0,15	12,6	8,73	0,05	197,68	N
pozo	11	Itirapina	88	-22,205830	-47,796390	noviembre 1998 y 1999	5,50		SD			100	0,25		1	0,72	0,9	0,22	2,51	0,29	1,27	0,19	27,9	0,20	0,07	93,17	N
pozo	12	Itirapina	635	-22,253610	-47,841110	noviembre 1998 y 1999	6,85		25,0			130	0,50		2	0,85	0,5	0,4	0,41	4,25	0,08	0,54	36,7	0,17	0,10	51,85	S
pozo	13	Itirapina	635	-22,238330	-47,871110	noviembre 1998 y 1999	7,10		25,0			210	0,60		1	0,64	0,4	0,14	0,36	2,04	0,07	0,53	41,6	0,11	0,06	59,09	N
pozo	14	Itirapina	660	-22,235000	-47,871110	noviembre 1998 y 1999	5,14		SD			100	0,55		1	0,77	0,5	0,56	0,01	2,00	0,44	0,09	14,1	0,08	0,09	-9,51	S
pozo	15	Ipeúna	730	-22,409170	-47,772220	noviembre 1998 y 1999	6,74		SD			40	4,20		1	1,91	2,0	0,9	0,07	0,33	0,63	0,56	29,2	0,09	0,22	-85,87	N
pozo	16	Ipeúna	780	-22,409170	-47,759170	noviembre 1998 y 1999	5,69		SD			100	5,50		1	3,1	2,9	1	200,00	0,42	0,37	0,32	28,1	8,75	0,30	186,84	N
pozo	17	Ipeúna	780	-22,409170	-47,759170	noviembre 1998 y 1999	6,00		SD			200	0,35		1	0,82	0,8	0,82	22,25	0,38	0,70	0,32	27,6	1,04	0,11	163,04	N
pozo	18	Ipeúna	685	-22,409170	-47,759170	noviembre 1998 y 1999	7,17		27,0			180	2,70		1	0,3	0,9	0,1	0,01	0,98	0,01	0,64	54,0	0,08	0,09	-17,04	S
pozo	19	Río Claro	640	-22,320280	-47,583060	noviembre 1998 y 1999	SD		26,5			100	0,30		1	1,91	0,5	0,09	36,13	0,33	1,45	0,04	14,3	1,66	0,09	178,86	N
pozo	20	Río Claro	665	-22,255280	-47,582500	noviembre 1998 y 1999	4,29		24,0			170	0,30		1	2,86	6,8	0,08	200,00	4,78	<LD	0,69	12,8	-	0,22	-	N
pozo	21	Leme	620	-22,221110	-47,429440	noviembre 1998 y 1999	8,85		SD			300	5,30		18	5,24	1,5	130,71	0,06	3,50	0,02	0,98	59,2	0,17	7,51	-190,96	N
pozo	22	Leme	590	-22,172220	-47,425000	noviembre 1998 y 1999	8,79		SD			700	7,65		310	72,39	3,4	113,53	200,00	4,10	0,16	0,73	27,6	8,87	14,65	-49,18	N
pozo	23	Leme	590	-22,172220	-47,425000	noviembre 1998 y 1999	8,66		SD			660	7,80		270	66,77	1,0	103,34	0,01	5,23	<LD	0,95	31,1	-	13,09	-	N

ND: no determinado
<LD: no detectado



Tabla A1.15. Datos químicos de Tonetto y Bonotto (2005). (Continuación).

Tipo de punto	Código en fuente	Localidad	Z original (m)	Lat dec	Long dec	Fecha muestero	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	Alc. (mg/L CaCO ₃)	pH	STD (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error *200	Error aceptable (≤ 20)
							medido en campo				medido en laboratorio																
pozo	24	Leme	540	-22,172220	-47,425000	noviembre 1998 y 1999	8,56		SD			500	5,40		220	64,12	4,9	64,12	200,00	3,42	0,03	0,65	27,7	8,84	9,93	-11,65	S
pozo	25	Leme	620	-22,208060	-47,446670	noviembre 1998 y 1999	9,40		SD			200	4,50		2	0,88	0,9	13,07	0,01	3,44	0,80	0,10	42,3	0,14	0,84	-144,19	N
pozo	26	Río Claro	600	-22,479170	-47,617220	noviembre 1998 y 1999	SD		26,0			320	8,35		15	9,02	0,6	25,23	95,27	0,32	0,89	0,03	16,0	4,20	2,04	69,13	N
pozo	27	Río Claro	550	-22,354440	-47,621110	noviembre 1998 y 1999	8,13		SD			200	5,80		13	0,85	0,8	12,47	ND	0,36	0,08	<LD	59,3	-	1,06	-	N
pozo	28	Río Claro	555	-22,344170	-47,642780	noviembre 1998 y 1999	9,03		SD			660	7,54		250	138,15	1,1	137	200,00	0,40	0,34	0,88	17,9	8,80	16,45	-60,65	N
pozo	29	Santa Gertrudes	SD	-22,448330	-47,569440	noviembre 1998 y 1999	9,51		27,0			350	8,05		230	3,01	0,7	3,01	36,13	0,40	1,40	0,05	15,7	1,66	5,18	-103,11	N
pozo	30	Río Claro	560	-22,445000	-47,608890	noviembre 1998 y 1999	8,57		24,6			300	8,60		59	6,03	1,5	30,45	197,12	0,40	<LD	0,98	16,8	-	3,17	-	N
pozo	31	Río Claro	610	-22,396110	-47,608330	noviembre 1998 y 1999	9,36		30,6			200	7,75		37	1,61	1,2	42,32	1,21	0,38	1,93	0,13	31,2	0,17	3,19	-179,82	N
pozo	32	Río Claro	610	-22,391940	-47,625560	noviembre 1998 y 1999	7,16		SD			100	2,55		1	2,43	1,1	0,55	28,35	3,50	0,01	0,62	43,6	1,37	0,18	154,16	N
pozo	33	Santa Gertrudes	SD	-22,455280	-47,556670	noviembre 1998 y 1999	9,44		26,0			300	7,70		57	4,8	1,1	9,4	0,03	0,36	1,32	0,04	23,5	0,08	1,96	-184,36	N
pozo	34	Santa Gertrudes	SD	-22,455280	-47,556670	noviembre 1998 y 1999	9,47		25,0			340	7,55		37	2,41	0,8	3,65	ND	0,35	1,04	0,04	20,8	-	1,17	-	N
pozo	35	Santa Gertrudes	615	-22,456940	-47,569440	noviembre 1998 y 1999	9,46		27,0			380	8,05		65	2,86	0,6	0,06	8,44	0,51	1,44	0,03	15,8	0,45	1,58	-110,63	N
pozo	36	Cordeirópolis	630	-22,473890	-47,481110	noviembre 1998 y 1999	SD		25,0			320	2,40		17	0,97	0,7	4,43	ND	0,46	0,03	0,72	15,8	-	0,67	-	N
pozo	37	Cordeirópolis	640	-22,473890	-47,481110	noviembre 1998 y 1999	8,50		24,0			330	5,20		51	2,95	0,6	1	0,17	0,50	1,27	0,04	29,1	0,09	1,29	-174,79	N
pozo	38	Araras	610	-22,354440	-47,416670	noviembre 1998 y 1999	6,53		25,0			300	4,10		14	8,85	3,7	0,9	0,01	4,93	0,04	0,41	47,9	0,16	0,72	-126,03	N
pozo	39	Araras	650	-22,359440	-47,416670	noviembre 1998 y 1999	9,33		27,5			300	6,70		28	0,57	0,6	6,46	5,20	0,28	0,62	0,39	24,8	0,30	1,06	-112,53	N
pozo	40	Araras	650	-22,359440	-47,416670	noviembre 1998 y 1999	9,07		26,0			1300	5,30		19	0,67	0,5	2,3	0,01	0,28	0,34	0,58	18,8	0,07	0,63	-158,85	N
pozo	41	Río Claro	575	-22,545560	-47,608330	noviembre 1998 y 1999	SD		25,0			550	10,40		1	0,72	2,3	10,33	28,35	1,18	1,38	0,08	28,1	1,34	0,79	51,25	N
manantial	S1	Río Claro	SD	-22,354440	-47,642780	noviembre 1998 y 1999	5,20		25,0			30	0,23		1	0,67	0,8	0,05	0,11	0,20	1,59	0,11	9,2	0,10	0,06	50,09	N
manantial	S2	Río Claro	SD	-22,354440	-47,642780	noviembre 1998 y 1999	5,00		24,0			<10	0,20		1	1,99	0,8	0,06	ND	0,24	1,60	0,11	13,6	-	0,10	-	N

ND: no determinado
<LD: no detectado



ANEXO 2

Características de los pozos y de las muestras usados para describir los transectos



Descripción de proceso de búsqueda y selección de análisis químicos a lo largo de los transectos

El proceso de búsqueda comenzó a partir de la lectura de los trabajos antecedentes recopilados y de la identificación de muestras con datos analíticos que podían ser ubicadas en o cerca de alguno de los transectos definidos. Un ejemplo de la selección preliminar se muestra en la Tabla A2.1, correspondiente al Transecto 1 (en aras de la brevedad no se incluyen las tablas correspondientes a los otros transectos). Una vez seleccionadas las muestras con datos químicos que podían razonablemente corresponder a uno (o más) de los transectos, se procedió a unificar las coordenadas de los pozos en los cuales se habían obtenido las muestras.

Al unificar las coordenadas de todos los pozos en un único sistema (WGS84) se comprobó la existencia de diferencias apreciables en la ubicación de un mismo pozo muestreado en distintos estudios antecedentes. Por lo tanto, las coordenadas de los pozos han sido usadas como confirmatorias de otros datos asociados a los pozos y en segundo orden de prioridad.

Con la información de DH (2007), PROINSA (2007) y trabajos antecedentes se elaboró una base de datos la cual fue analizada con el fin de seleccionar los resultados fisicoquímicos que presentaran error analítico en el balance iónico aceptable ($\leq 20\%$ con la expresión indicada en el Capítulo 4). En algunas localidades donde se cuenta con un único análisis hidroquímico y el error que éste presenta es ligeramente superior al límite considerado aceptable, dicho análisis se ha utilizado para los estudios realizados con el fin de no perder esa información espacial. Por lo tanto, para cada localidad se cuenta con la información hidroquímica de las campañas de DH (2007) o de PROINSA (2007) cuando los errores de balance iónico son aceptables y, además, con información histórica cuando ha sido posible relacionar los pozos muestreados en esos estudios anteriores con los muestreados en el presente proyecto, y esas muestras cumplen el criterio de calidad analítico.

En las localidades donde no existía un pozo muestreado en el presente proyecto pero sí en trabajos anteriores, se han seleccionado los análisis que cumplían los requisitos de calidad requeridos y, además, tenían información geológica y de correspondencia hidrogeológica suficiente como para atribuir las al SAG.

Aunque para el estudio químico de los transectos (apartados 5.1, 5.2 y 5.3 de la memoria) esas muestras se han identificado tal como se describe en el Apartado 4.2 de la memoria (NºTransecto-



NºPunto-LetraFuente-LetraNºorden), en las tablas recopilatorias se ha mantenido la identificación utilizada por cada autor en el trabajo original. Un ejemplo de la segunda fase del proceso de selección de análisis se puede ver en la Tabla A2.2, correspondiente al Transecto 1.

Los análisis finalmente utilizados que proceden de estudios antecedentes pertenecen a Bonotto (2006), da Silva (1983), Gastmans (2007), Kittl (2000), Oleaga (2003) y Silva Busso (1999). Los trabajos de Kimmelmenn et al. (1987) y Kimmelmenn et al. (1989) analizan datos isotópicos y de Flúor por lo que, si bien tienen información en las localidades identificadas en las lineaciones, los datos no son utilizados para este estudio.

Finalmente se ha trabajado con un total de 133 análisis distribuidos en los 8 transectos. Los datos químicos completos y otros adicionales del conjunto de análisis finalmente manejados para definir cada transecto se recogen en la Tabla A2.3.



Tabla A2.1. Ejemplo del primer paso del proceso de selección de la información existente para definir la hidroquímica de los transectos propuestos. Los datos son del Transecto 1.

Transecto 01. Santa Rosa do Viterbo a Naviraí								
Muestreado por	Código	Nº muestra	Localidad	Nº del punto en transecto	Localidad ubicada	Existen análisis químicos en estudios anteriores en esa localidad?	Observación	Nuevo Nº punto para transecto
DH	SRV001	211811	Santa Rosa do Viterbo (SP)	1	si	No		1
No se muestreó			São Simão (SP)	2	si	Dos en da Silva (1983) y otro en Bonotto (2005)		2
No se muestreó			Serra Azul (SP)	3	si	Uno en da Silva (1983) y en Bonotto (2005)	Se desechan ambos, el de da Silva (1983) está incompleto y el de Bonotto (2005) tiene error de 44%	
DH	100-003	218523	Ribeirão Preto (SP)	4	si	Uno en da Silva (1983) y Bonotto (2005)		3
DH	100-080	164581	Ribeirão Preto (SP)	5	si	Uno en da Silva (1983) y Bonotto (2005)		4
DH	100-212	201924	Sertãozinho (SP)	6	si	Uno en da Silva (1983), en Bonotto (2005) y en Gallo et al. (1980)		5
No se muestreó			Pitangueiras (SP)	7	no	No	Se elimina este punto	
DH	BEB-001	201899	Bebedouro (SP)	8	si	No		6
No se muestreó			Pirangi (SP)	9	No está bajo esa localidad	No	Se elimina este punto	
DH	CAT-001	205147	Catanduva (SP)	10	si	Uno en da Silva (1983) y en Bonotto (2005)		7
DH	JRP-003	205671	São José do Rio Preto (SP)	11	si	Dos en da Silva (1983) y dos en Bonotto (2005), en Kimmelman et al. (1987) y Kimmelman et al (1989)		8
No se muestreó			Mirasol (SP)	12	no	No	Se elimina este punto	
DH	AUR-001	205141	Auriflama (SP)	13	si	No		9
DH	PBA-001	207802	Perreira Barreto (SP)	14	si	Uno en Gastmans (2007)		10
No se muestreó			Três Lagoas (MS)	15	si	En Silva (1983), en Gastmans (2007) y en Bonotto (2005)		11
DH	NVI-001	220964	Naviraí (MS)	16	si	En Gastmans (2007)		12



Tabla A2.2. Ejemplo del segundo paso de selección de los análisis químicos representativos de cada transecto. Los datos son del Transecto 1.

Punto 1	Sólo existe un pozo de DH (2007) y su error es aceptable por lo cual se utiliza los resultados hidroquímicos de la muestra de agua de este pozo.
Punto 2	No fue muestreado por DH (2007), existen dos pozos en da Silva (1983) y uno de Bonotto (1995) asociado a esa localidad. Los tres tienen error > 20%. Según las coordenadas, los tres pozos son distintos pero uno de da Silva (1983) y el de Bonotto (2005) tienen profundidades similares (125m y 145m respectivamente). Se utiliza el pozo de Bonotto (2005) por ser el de menor error de balance iónico y para no perder ese punto del Transecto 1 (muestra 1-1DH).
Punto 3	El pozo 100-003 fue muestreado por DH (2007). Se han recogido tres análisis hidroquímicos con errores aceptables, uno correspondiente al año 2006 y dos muestras del 2007 tomadas antes y después de un ensayo de bombeo. El pozo 100-003 tiene una profundidad de 202 m En la información antecedente se encontraron 4 pozos en Ribeirão Preto. 3 de los 4 análisis tienen un error de balance iónico no aceptable y el restante es incompleto (faltan sulfatos y cloruros), además de que el pozo tiene 67 m de profundidad. Por lo tanto sólo se utilizan los tres resultados de DH para el estudio (muestras 1-3DHa, 1-3DHB y 1-3DHC).
Punto 4	Corresponde a un pozo muestreado por DH (2007) y su error de balance iónico es aceptable. Se ubica en Ribeirão Preto y tiene una profundidad de 372,5 m, por lo que tampoco corresponde a ninguno de los 4 pozos de trabajos antecedentes mencionados para el Punto 3. Se utiliza el análisis hidroquímico de DH (2007) (muestra 1-4DH)..
Punto 5	Sólo existe un pozo muestreado por DH (2007) y el error de balance iónico es aceptable. No se han encontrado análisis químicos en estudios anteriores en esta localidad. Se utiliza el resultado hidroquímico de DH (2007) (muestra 1-5DH).
Punto 6	Sólo hay un pozo muestreado por DH (2007), su error es aceptable y no se encontraron otros análisis químicos anteriores en esta localidad. Se utilizan los datos proporcionados por DH (muestra 1-6DH)..
Punto 7	Fue muestreado por DH (2007) y existen dos análisis químicos anteriores en esa localidad. Los tres informan de la misma profundidad. El de Bonotto (2005) tiene un error en el balance iónico mayor al 20%, por lo que es descartado. El de da Silva (1983) tiene un error aceptable y además las coordenadas coinciden aceptablemente con las informadas por DH (2007). Por lo tanto, se utilizan para este punto los resultados de DH y de da Silva (1983) (muestras 1-7DH y 1-7S)..
Punto 8	Muestreado por DH, siendo el error de balance iónico aceptable. Se encontraron 4 antecedentes en esa localidad (São José do Rio Preto), dos en da Silva (1983) y dos en Bonotto (2005). El pozo muestreado por DH tiene una profundidad de 1189 m. Los dos pozos de da Silva tienen uno 1100 m y otro 1136 m. Aunque las profundidades de los pozos de Bonotto son distintas, sus coordenadas coinciden con las de da Silva, por lo que se asume que corresponden a pozos cercanos y éstas fueron aproximadas. Todos los errores de balance iónico son aceptables, por lo que se han utilizado todos los análisis (muestras 1-8DH, 1-8Sa, 1-8Sb, 1-8Ba, 1-8Bb).
Punto 9	Muestreado sólo por DH y su error es aceptable (muestra 1-9DH).
Punto 10	Muestreado por DH. El análisis químico tiene un error de balance iónico muy importante debido a que el Na se reporta como “no detectable”. Este pozo fue muestreado también por Gastmans (2007), coinciden la profundidad de ambos pozos y las coordenadas. Por tanto, no se utiliza el análisis de DH y sí el de Gastmans (2007) (muestra 1-10G).
Punto 11	No fue muestreado por DH (2007). Se encontraron 3 análisis químicos antecedentes correspondientes a da Silva (1983), Bonotto (2005) y Gastmans (2007). Si bien las coordenadas tiene diferencias mayores al kilómetro, las profundidades de los pozos coinciden razonablemente (4582 m, 4582 m y 4561 m respectivamente). Los tres análisis tienen error de balance iónico aceptable, por lo que se han utilizado todos en el estudio (muestras 1-11S, 1-11B y 1-11G).
Punto 12	Pozo muestreado por DH (2007). Además hay un análisis químico en Gastmans (2007) de la misma localidad. No se cuenta con el dato de profundidad del muestreado por DH, mientras que el pozo de Gastmans (2007) tiene 562 m. Las coordenadas de ambos coinciden aceptablemente. El error de balance del análisis de DH está en el límite aceptable (20,45 %) y el de Gastmans (2007) es de -1.81 %. Se han utilizado ambos en el estudio (muestras 1-12DH y 1-12G).



Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos.

Código en este estudio	Fuente	Código en fuente	Ubicación	Profundidad perforación (m)	Fecha muestreo	CE $\mu\text{S/cm}$	pH	T °C	Alc. Tot. mg/L CaCO ₃ (1)	HCO ₃ mg/L (2)	CO ₃ mg/L (2)	SO ₄ mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	F mg/L	SiO ₂ mg/L	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error (*200) (3)	Com.
Transecto 1																								
1-1DH	DH (2007)	SRV-001	Sta Rosa do Viterbo	Surgente	24/05/2007	54	5,84	26,1	17,90	21,84	0,00	0,00	2,19	1,830	0,818	0,527	4,66	2,29	0,0442	17,88	0,471	0,452	4,13	
1-2B	Bonotto (2006)	34	São Simão	145	NI	40	4,91	27	9,84	12,00	0,00	0,03	4,10	2,700	3	2,51	2,72	1,46	0,002	17,75	0,451	0,356	23,39	(5)
1-3DHa	DH (2007)	100-003 (antes E. bomb)	Ribeirão Preto	202		93	6,07	25,8	28,52	34,79	0,00	0,27	5,79	5,570	4,15	4,67	8,72	2,17	0,0623	22,67	0,915	0,832	9,43	
1-3DHb	DH (2007)	100-003 (desp E. bomb)	Ribeirão Preto	202	13/07/2007	95	6,1	26,1	24,89	30,36	0,00	0,43	4,30	4,074	4,36	0,001	8,86	2,03	0,0659	28,36	0,800	0,697	13,75	
1-3DHc	DH (2007)	100-003	Ribeirão Preto	202	18/10/2006	112	5,95	26	26,60	32,45	0,00	0,54	6,63	5,564	4,7	5,11	9,37	2,32	0,049	25,90	0,995	0,822	18,98	
1-4DH	DH (2007)	100-080	Ribeirão Preto	372,5	17/10/2006	60	6,06	27,3	27,11	33,07	0,00	0,03	1,58	1,443	1,27	3,78	6,86	1,25	0,0673	26,40	0,598	0,614	-2,68	
1-5DH	DH (2007)	100-212	Sertãozinho	353	27/03/2007	152	7,69	30	78,26	95,48	0,00	0,28	0,09	0,022	3,52	3,64	23	1,61	0,0838	27,00	1,529	1,578	-3,19	
1-6DH	DH (2007)	BEB-001	Bebedouro	No surgente	26/04/2007	280	9,5	43,7	134,53	125,00	34,37	2,99	1,46	0,172	68,7	0,506	1,37	0,02	0,0955	30,88	3,073	2,802	9,22	
1-7DH	DH (2007)	CAT-001	Catanduva	860 (no surgente)	09/04/2007	336	9,54	35,2	167,26	152,30	43,58	5,77	1,21	0,197	74,7	0,51	0,583	0,017	0,4371	25,00	3,294	3,526	-6,79	
1-7S	da Silva (1983)	23	Catanduva	860	27/10/1981	344	9,5	35	164,00	200,08		5,00	1,30	0,020	77	0,3	2,41	0,73	0,5	25,00	3,539	3,447	2,62	
1-8DH	DH (2007)	JRP-003	São J. Rio Preto	1189 (no surgente)	18/04/2007	464	9,54	37,9	175,44	159,82	42,97	8,14	12,68	0,003	106	1,03	1,33	0,153	0,005	35,05	4,718	4,036	15,58	
1-8Sa	da Silva (1983)	17	São José do Rio Preto	1100	08/12/1981	410	9,7	42	162,00	197,64	*	13,00	13,00	0,080	91	0,5	1,6	0,17	0,62	28,00	4,067	3,911	3,91	
1-8Sb	da Silva (1983)	18	São José do Rio Preto	1136	15/06/1979	237	9,3	42	68,00	82,96	*	20,00	5,50	0,050	43	1,5	3	0,2	0,46	24,00	2,076	1,957	5,92	
1-8Ba	Bonotto (2006)	20	São José do Rio Preto	1136	NI	370	9,25	45	197,68	241,17	*	8,40	13,00	0,600	89,7	0,44	0,96	0,01	0,74	28,87	3,963	4,543	-13,63	
1-8Bb	Bonotto (2006)	21	São José do Rio Preto	1100	NI	370	9,22	46	200,96	245,17	*	7,50	14,80	0,700	90,9	0,41	0,68	0,01	0,6	27,16	4,001	4,635	-14,69	
1-9DH	DH (2007)	AUR-001	Auriflama	1245	19/04/2007	601	8,96	50,4	115,60	129,38	9,20	80,52	39,72	0,000	125	1,09	1,76	0,025	0,5964	31,77	5,557	5,140	7,81	
1-10G	Gastmans (2007)	PBT	Pereira Barreto(SP)	1042	27/07/2004	828	8,7	45,4	164,10	200,20	*	67,63	39,89	0,000	119,3	1	5,7	0,2	0,79	29,04	5,519	5,856	-5,94	
1-11S	da Silva (1983)	174	Tres Lagoas	4582	28/10/1981	778	9,2	45,5	176,00	214,72	*	50,00	86,20	0,000	160	0,8	4,49	0,15	1,49	23,00	7,220	7,068	2,12	
1-11G	Gastmans (2007)	TLG007	Tres Lagoas	4561	21/03/2003	841	9,2	43,2	167,79	204,70	*	64,63	82,25	0,000	162	0,06	0,58	0,1	1,45	18,12	7,088	7,095	-0,10	
1-11B	Bonotto (2006)	17	Tres Lagoas	4582	NI	760	9	46	181,53	221,47	*	65,20	84,00	0,500	165	0,06	1,09	0,01	1,45	24,38	7,237	7,440	-2,76	
1-12DH	DH (2007)	NVI-001	Navirai	No hay ficha	17/07/2007	264	8,97	30,6	126,51	116,00	14,31	4,58	1,90	0,025	73,1	1,4	2,24	0,088	0,5733	16,32	3,336	2,710	20,71	(6)
1-12G	Gastmans (2007)	NAV900	Navirai	562	20/10/2005	307	8,64	26,6	118,85	145,00	*	0,30	6,20	0,005	55,2	0,9	2,14	0,09	0,49	18,29	2,540	2,584	-1,73	
Transecto 2																								
2-1B	Bonotto (2006)	33	São Pedro	150		13	5,89	32	4,92	6,00		0,03	0,02	1,200	0,8	0,69	0,21	0,41	0	9,62	0,097	0,119	-20,47	
2-2S	da Silva (1983)	120	Agudos	406	19/05/1981	180	8,1	27,2	91,00	111,02		3,00	0,90	0,040	10,8	2,1	22,3	3,1	0,1	11,20	1,894	1,914	-1,05	
2-2B	Bonotto (2006)	61	Agudos	406	NI	170	6,83	27	74,59	91,00		0,50	3,50	1,300	9,6	1,75	19,2	4,05	0,54	24,60	1,756	1,650	6,20	
2-3DH	DH (2007)	BAU-004	Bauru	287	02/04/2007	182	9,14	26,1	73,14	78,23	11,05	0,61	0,21	0,027	29,6	1,09	2,6	0,192	0,0665	18,00	1,462	1,485	-1,60	
2-3o4B	Bonotto (2006)	28	Bauru	295	NI	120	8,59	30	60,82	74,20		1,00	0,20	0,500	27,7	0,92	3,6	0,32	0,07	14,54	1,435	1,255	13,43	
2-4DH	DH (2007)	BAU-021	Bauru	209	02/04/2007	164	9,55	27,2	87,47	78,39	22,71	1,46	0,59	0,078	32,6	2,17	1,69	0,103	0,1025	20,00	1,567	1,803	-14,00	
2-5DH	DH (2007)	MAR-002	Marília	1007	10/04/2007	503	10,03	42,2	213,81	126,69	114,17	9,26	1,96	0,002	93,6	0,73	0,394	0,01	0,3763	67,00	4,112	4,544	-9,98	
2-6DH	DH (2007)	PPA-001	Tupã	NI	11/04/2007	626	9,65	44	271,10	231,00	84,09	9,90	7,67	0,121	100	0,86	0,516	0,01	1,951	53,00	4,400	5,949	-29,93	(7)
2-7DH	DH (2007)	TUP-001	Tupã	1205	10/04/2007	468	8,55	52,3	206,65	243,76	71,19	6,62	4,15	0,002	90,3	0,68	0,259	0,0001	1,2081	39,00	3,960	4,452	-11,69	
2-8S	da Silva (1983)	87	Presidente Prudente	1800	18/01/1982	1110	8,95	63	192,00	234,24	*	92,00	133,00	0,020	225	2,2	4,49	0,24	13,3	32,00	10,092	10,203	-1,10	
2-8B	Bonotto (2006)	7	Presidente Prudente	1800	NI	910	8,8	63	190,60	232,53	*	69,80	110,00	0,700	214	2,12	4,83	0,71	8,8	28,45	9,667	8,839	8,94	
2-9G	Gastmans (2007)	PEP	Presidente Epitácio	1623	07/08/2004	1134	8,34	66,6	261,15	318,60	*	70,85	50,70	0,000	183,4	2,2	6,4	0,2	5,81	39,97	8,374	8,433	-0,71	
2-9B	Bonotto (2006)	6	Presidente Epitácio	3953	NI	760	8,7	70	209,92	256,10	*	81,70	56,00	0,600	178	1,39	1,99	0,01	6,6	35,93	7,882	7,835	0,60	
2-10DH	DH (2007)	NVI-001	Navirai	No hay ficha	17/07/2007	264	8,97	30,6	126,51	116,00	14,31	4,58	1,90	0,025	73,1	1,4	2,24	0,088	0,5733	16,32	3,336	2,710	20,71	(6)
2-10G	Gastmans (2007)	NAV900	Navirai	562	20/10/2005	307	8,64	26,6	118,85	145,00	*	0,30	6,20	0,005	55,2	0,9	2,14	0,09	0,49	18,29	2,540	2,584	-1,73	



Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos. Continuación.

Código en este estudio	Fuente	Código en fuente		Profundidad perforación (m)	Fecha muestreo	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	T °C	Alcalinidad tot mg/L CaCO_3 (1)	HCO ₃ mg/L (2)	CO ₃ mg/L (2)	SO ₄ mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	F mg/L	SiO ₂ mg/L	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error (*200) (3)	Com.
Transecto 3																								
3-1DH	DH (2007)	SAP-009	Sto. Antônio da Platina	No hay ficha	06/06/2007	116	7,71	23,4	61,18	74,64	0,00	0,55	3,19	0,261	4,82	1,23	10,5	5,08	0,113	40,74	1,184	1,335	-11,97	
3-2R	da Rosa Filho et al. (2005)	SAMAE - Matida	Abatiá	NI	NI	196	7,4	24,5	94,02	114,70		0,01	2,20	3,500	11	1,9	23,6	5,9	0,3	68,50	2,193	2,015	8,47	
3-3B	Bonotto (2006)	64	Ribeirão do Pinhal	75	NI	10	4,71	22	4,10	5,00		0,03	0,80	1,500	0,8	0,89	0,97	0,6	0,002	10,69	0,155	0,129	18,28	
3-4DH	DH (2007)	LON-001	Londrina	No hay ficha	06/06/2007	526	9,73	45,2	160,74	128,13	57,24	37,93	18,53	0,005	71	1,67	3,07	0,539	1,5221	44,73	3,330	4,607	-32,17	(7)
3-4S	da Silva (1983)	176	Londrina	969	20/11/1981	550	9,1	48	52,00	63,44	*	438,00	270,00	0,000	368	2,08	8,21	1,45	12	17,50	16,597	18,402	-10,32	
3-4R	da Rosa Filho et al. (2005)	Termas de Londrina	Londrina	NI, pero dice Termas	NI	579	9,48	45	164,45	200,62	*	52,00	14,20	0,000	105	0,8	0,7	0,07	1,9	47,20	4,630	4,872	-5,09	
	DH (2007)	NVI-001	Naviraí	No hay ficha	17/07/2007	264	8,97	30,6	126,51	116,00	14,31	4,58	1,90	0,025	73,1	1,4	2,24	0,088	0,5733	16,32	3,336	2,710	20,71	(6)
3-5G	Gastmans (2007)	NAV900	Naviraí	562	20/10/2005	307	8,64	26,6	118,85	145,00	*	0,30	6,20	0,005	55,2	0,9	2,14	0,09	0,49	18,29	2,540	2,584	-1,73	
Transecto 4																								
4-1DH	DH (2007)	CMA-001	Cruz Machado	No hay ficha	31/05/2007	298	9,51	18,3	144,14	109,28	31,11	7,33	0,50	0,000	58,3	0,627	1,05	0,047	0,3078	15,00	2,609	3,066	-16,08	
4-2PR	PROINSA (2007)	S-222-BR-MA	Montealegre-CASAN	200	24/08/2007	196,4	6,91	20	86,25	105,23		0,10	12,70	1,020	13	1,3	25,3	1,4	1,3	2,78	1,979	2,170	-9,18	
4-3PR	PROINSA (2007)	S-224-BR-TT	Treze Tilias	750	27/08/2007	362	9,78	29,5	153,84	187,69	*	0,10	8,70	0,060	59	0,44	2,2	0,1	0,62	0,21	2,697	3,358	-21,82	(7)
4-4PR	PROINSA (2007)	S-231-BR-PC	Pte. Castello Branco - Prefeitura Municipal	702	29/08/2007	1215	8,88	35,2	234,52	286,11	*	6,50	155,60	1,940	240	1,3	2,8	0,24	1,6	3,42	10,637	9,324	13,15	
4-5B	Bonotto (2006)	66	Concórdia	657	NI	630	9,2	31	115,08	140,40	*	74,10	44,00	0,600	136	0,36	1,62	0,01	0,88	15,40	6,009	5,141	15,58	
4-6PR	PROINSA (2007)	S-230-BR-ITA	ITA - CASAN	508	30/08/2007	1112	8,83	29	179,48	218,97	*	79,00	150,00	0,040	204	1,1	0,87	1,1	8,8	18,82	9,039	9,925	-9,34	
4-7PR	PROINSA (2007)	S-235-BR-ACH	Aguas de Chapecó - Termas Hidroeste	186	01/09/2007	1175	8,81	34,5	155,09	189,21	*	102,00	150,00	0,001	188	1,5	1,7	0,61	9,2	19,68	8,355	9,936	-17,30	
4-8PR	PROINSA (2007)	S-236-BR-SJ	Sao Joao d'Oeste - Prefeitura Municipal	1372	02/09/2007	5990	7,31	50	54,62	66,63		1100,00	1539,00	3,600	987	19	210,4	60,7	3,8	8,13	58,952	67,619	-13,69	
4-9PR	PROINSA (2007)	S-279-AR-MS	Oberá - Cooperativa del Agua	1300	11/12/2007	2300	8,36	48,2	88,63	108,12	*	610,00	263,00	0,630	397	3,3	14,3	1,64	1,9	1,90	18,210	21,999	-18,85	
4-10PR	PROINSA (2007)	S-278-AR-MS	Cerro Azul - Cooperativa del Agua	537	11/12/2007	622	9,1	31,5	311,38	379,88	*	2,90	17,70	1,200	102	0,51	12,4	6,5	0,1	0,21	5,607	6,811	-19,40	
Transecto 5																								
5-1G	Gastmans (2007)	NIO003	Nioaque	45	17/10/2003	144	6,53	27	64,34	78,50		1,00	3,20	2,560	3,57	2,3	19,8	2,21	0,2	41,71	1,386	1,450	-4,49	
5-2DH	DH (2007)	MCJ-003	Maracajú	No hay ficha	18/07/2007	130	7,39	26,8	69,48	84,76	0,00	0,13	0,29	0,303	2,99	1,13	16,6	3,05	0,0354	28,80	1,240	1,407	-12,62	
5-2B	Bonotto (2006)	76	Maracajú	150	NI	120	8,04	27	53,28	65,00	*	0,50	0,02	0,800	3,2	1,59	20,9	4,22	0,002	32,30	1,572	1,089	36,28	(7)
5-3DH	DH (2007)	DOU-003	Dourados	No hay ficha	05/07/2007	174	7,8	36	96,44	117,66	0,00	0,15	0,13	0,030	23	1,98	16,3	0,863	0,101	20,00	1,938	1,941	-0,20	
5-3Ga	Gastmans (2007)	DOU021	Dourados	4161	23/10/2003	168	7,18	38	86,07	105,00		1,00	1,50	0,050	13,7	1,58	18,6	1,57	0,2	20,75	1,696	1,796	-5,72	
5-3Gb	Gastmans (2007)	DOU910	Dourados	600	04/08/2004	241	7,73	34,2	91,97	112,20		0,43	0,66	0,000	18,3	2	19,8	1,6	0,09	20,17	1,969	1,872	5,08	
5-4DH	DH (2007)	NVI-001	Naviraí	No hay ficha	17/07/2007	264	8,97	30,6	126,51	116,00	14,31	4,58	1,90	0,025	73,1	1,4	2,24	0,088	0,5733	16,32	3,336	2,710	20,71	(6)
5-4G	Gastmans (2007)	NAV900	Naviraí	562	20/10/2005	307	8,64	26,6	118,85	145,00	*	0,30	6,20	0,005	55,2	0,9	2,14	0,09	0,49	18,29	2,540	2,584	-1,73	



Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos. Continuación.

Código en este estudio	Fuente	Código en fuente		Profundidad perforación (m)	Fecha muestreo	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	T °C	Alcalinidad tot mg/L CaCO_3 (1)	HCO ₃ mg/L (2)	CO ₃ mg/L (2)	SO ₄ mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	F mg/L	SiO ₂ mg/L	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error (*200) (3)	Com.	
Transecto 6																									
6-1Ga	Gastmans (2007)	GO003	Jataí	130	11/03/2006	20,3	5,59	19,6	9,18	11,20		0,30	0,30	0,810	0,47	0,091	2,4	0,34	0,01	4,71	0,171	0,212	-21,50	(7)	
6-1Gb	Gastmans (2007)	GO006	Jataí	NI	13/03/2006	317	8,8	33,5	142,46	173,80	*	39,00	0,30	0,005	67,6	0,83	1,9	0,23	0,14	19,04	3,077	3,678	-17,79		
6-2G	Gastmans (2007)	GO011	Itajá	205	15/03/2006	54,6	6,04	25,1	27,54	33,60		0,30	0,30	0,240	0,7	8,2	4,5	1,1	0,04	19,89	0,556	0,571	-2,80		
6-3DH	DH (2007)	INC-001	Inocência	No hay ficha	10/08/2007	242	7,85	33,5	131,70	160,67	0,00	0,17	0,09	0,009	2,17	2,78	34,8	6,05	0,077	20,00	2,403	2,644	-9,54		
6-3G	Gastmans (2007)	INC005	Inocencia	660	22/10/2005	258	7,47	34,2	132,79	162,00		0,30	6,90	0,005	1,4	2,6	37,7	6,67	0,06	20,94	2,561	2,860	-11,00		
6-4DH	DH (2007)	NVI-001		No hay ficha	17/07/2007	264	8,97	30,6	126,51	116,00	14,31	4,58	1,90	0,025	73,1	1,4	2,24	0,088	0,5733	16,32	3,336	2,710	20,71		
6-4G	Gastmans (2007)	NAV900	Navirai	562	20/10/2005	307	8,64	26,6	118,85	145,00	*	0,30	6,20	0,005	55,2	0,9	2,14	0,09	0,49	18,29	2,540	2,584	-1,73		
6-5PY	SEAM y BGR (2005)	SAGPY208KN	Colonia Nueva Esperanza Alto Paraná	No inventariado	01/12/2005	74	6	24,7	37,50	45,75		0,39	0,60	0,005	4,2	2,2	7,04	2,19	0,12	34,40	0,771	0,781	-1,31		
6-6PY	SEAM y BGR (2005)	SAGPY193AP	Hernandarias Alto Paraná	No inventariado	29/11/2005	165	8,53	25,0	75,00	91,50	*	0,46	0,20	0,005	32,8	0,1	0,75	0,04	0,1	34,50	1,471	1,521	-3,34		
6-7PR	PROINSA (2007)	S-134-PY-AP	MINGA GUAZU	871 (surgente)	25/02/2007	3470	8,96	31,4	231,16	282,02	*	1627,80	472,60	0,360	1080	3,7	6,9	0,8	3,96	5,77	47,503	52,063	-9,16		
6-7PY	SEAM y BGR (2005)	SAGPY146AP	Minga Guasú	871	12/05/2004	3360	8,36	31,2	240,00	292,80	*	830,00	370,00	0,100	743	3,6	5	1,33	3,86	13,80	32,784	32,719	0,20		
6-8DH	DH (2007)	FIG-001	Foz do Iguaçu	No hay ficha	29/05/2007	3223	8,25	31,2	213,62	256,23	8,71	917,00	285,00	0,000	654	6,09	8,94	4,82	3,5	16,00	29,459	31,589	-6,98		
6-9PY	SEAM y BGR (2005)	SAGPY081AP	Ciudad del Este-1	518	11/03/2004	1263	8,08	23,5	102,50	125,05	26,50	1088,00	445,00	0,200	885	3,6	9,72	3,43	4,56	12,90	39,372	37,495	4,88		
6-10PR	PROINSA (2007)	S-133-PY-AP	Ciudad del Este 2	230	25/02/2007	1572	8,19	23,5	119,08	145,28	*	250,00	212,90	22,500	275	1,5	18,6	2,1	4,09	14,76	13,108	14,165	-7,75		
6-10PY	SEAM y BGR (2005)	SAGPY079AP	Ciudad del Este 2	230	11/03/2004	3340	8,34	34,4	207,50	253,15	*	248,00	130,00	26,600	260	0,9	11,5	2,06	7,38	26,50	12,082	13,796	-13,25		
6-11PR	PROINSA (2007)	S-279-AR-MS	Oberá - Cooperativa del Agua	1300	11/12/2007	2300	8,36	48,2	88,63	108,12	*	610,00	263,00	0,630	397	3,3	14,3	1,64	1,9	1,90	18,210	21,999	-18,85		
6-12PR	PROINSA (2007)	S-278-AR-MS	Cerro Azul - Cooperativa del Agua	537	11/12/2007	622	9,1	31,5	311,38	379,88	*	2,90	17,70	1,200	102	0,51	12,4	6,5	0,1	0,21	5,607	6,811	-19,40		
Transecto 7																									
7-1PRa	PROINSA (2007)	S-081-UY-Rivera	Rivera	96	14/11/2006	58	5,75	19,5	15,21	18,56		3,55	16,72	6,350	2	2,1	4,5	5,1	0,08	28,92	0,785	0,956	-19,56		
7-1PRb	PROINSA (2007)	S-066-UY-Rivera	Rivera	175	15/11/2006	221	7,07	22,0	119,08	145,28		4,54	20,30	0,690	7,6	1,6	27,3	15,6	0,07	94,96	3,021	3,063	-1,39		
7-1PRc	PROINSA (2007)	S-067-UY-Rivera	Rivera	81	16/11/2006	174	6,69	21,2	96,73	118,02		6,15	19,55	1,120	8,1	0,8	20,7	14,2	0,07	104,59	2,577	2,635	-2,25		
7-1PRd	PROINSA (2007)	S-068-UY-Rivera	Rivera	132	17/11/2006	164	6,53	20,0	80,72	98,48		9,15	19,26	0,640	7,8	1,4	17,9	14,1	0,07	203,40	2,431	2,362	2,88		
7-1PRe	PROINSA (2007)	S-069-UY-Rivera	Rivera	65	18/11/2006	142	6,34	20,2	57,04	69,59		3,62	28,11	6,510	6,1	0,9	16,2	13	0,07	112,93	2,168	2,117	2,41		
7-1PRf	PROINSA (2007)	S-082-UY-Rivera	Rivera	NI	20/11/2006	186	6,47	19,4	66,55	81,19		4,11	15,62	17,160	4,1	2,4	20,7	12,2	0,1	47,05	2,279	2,139	6,35		
7-1PRg	PROINSA (2007)	S-083-UY-Rivera	Rivera	130	21/11/2006	142	6,05	19,8	32,42	39,56		3,94	16,08	20,470	2,9	3,1	13,2	10,1	0,08	34,20	1,697	1,518	11,13		
7-1PRh	PROINSA (2007)	S-084-UY-Rivera	Rivera	120	22/11/2006	295	7,71	21,7	154,11	188,01		4,13	16,89	0,600	8	1,4	39,3	18,3	0,13	59,52	3,855	3,660	5,18		
7-1PRI	PROINSA (2007)	S-086-UY-Rivera	Pozo aserradero Urufor-Rivera	78	23/11/2006	33	5,98	22,8	13,61	16,60		2,70	78,20	6,200	1,1	2	31	7,8	0,07	1,28	2,291	2,635	-13,96		
7-2PRa	PROINSA (2007)	S-070-BR-Santana	Santana	NI	24/11/2006	145	6,19	20,2	44,03	53,72		5,30	17,47	12,400	4	2	13,7	10,3	0,07	94,19	1,758	1,687	4,13		
7-2PRb	PROINSA (2007)	S-071-BR-Santana	Santana	NI	25/11/2006	184	6,72	20,4	75,25	91,81		0,10	15,96	8,800	4,9	2,2	23,9	7,8	0,07	80,68	2,106	2,102	0,20		
7-2PRc	PROINSA (2007)	S-073-BR-Santana	Santana	NI	27/11/2006	229	6,68	20,1	86,06	104,99		0,10	14,92	17,200	5	1,9	29,9	8,8	0,07	101,85	2,485	2,425	2,48		
7-2PRd	PROINSA (2007)	S-074-BR-Santana	Santana	NI	28/11/2006	227	6,85	20,6	97,67	119,16		0,10	15,62	7,400	6,2	3,1	30	8,1	0,07	40,94	2,516	2,518	-0,11		
7-2PRE	PROINSA (2007)	S-079-BR-Santana	Vica do Sabino-Santana	NI	01/12/2006	237	5,3	19,8	10,41	12,70		3,46	98,00	9,800	6,2	4,2	19,6	18,03	0,06	1,20	2,841	3,202	-11,94		
7-3O	Oleaga (2003)	286	Granja Cornelius	400	* campaña 200	416	7,87	22,4	190,16	232,00		10,35	12,00	3,200	47	1,6	43,6	7	0,2	30,80	4,842	4,419	9,14		
7-3PRa	PROINSA (2007)	S-057-UY-Artigas	Artigas		24/10/2006	352	7,62	22,0	180,13	219,75		0,10	21,52	2,100	15	1,6	44,3	18	0,23	81,34	4,390	4,257	3,08		
7-3PRb	PROINSA (2007)	S-056(bis)-UY-Artigas	ARTIGAS		24/10/2006	301	7,23	22,5	156,11	190,45		0,10	25,86	4,000	10	1,8	40,1	15,5	0,22	90,96	3,762	3,929	-4,34		
7-3PRc	PROINSA (2007)	S-058-UY-Artigas	Artigas		24/10/2006	280	7,28	23,0	141,10	172,14		0,10	28,46	3,300	10	1,5	36,1	14,7	0,21	78,75	3,488	3,690	-5,62		
7-3PRd	PROINSA (2007)	S-059-UY-Artigas	ARTIGAS	400	24/10/2006	353	7,58	22,5	180,13	219,75		5,97	18,39	3,200	22	1,6	31	13	0,15	67,56	3,618	4,304	-17,32		
7-4PRa	PROINSA (2007)	S-063-BR-QUA	Quarai		25/10/2006	235	7,05	22,5	149,10	181,91		0,10	16,61	1,250	10	2,3	26,8	13,3	0,32	100,20	2,929	3,489	-17,47		
7-4PRb	PROINSA (2007)	S-064-BR-QUA	Quarai		25/10/2006	273	7,32	22,0	133,09	162,37		7,40	22,15	1,310	13	2,3	33,9	14,2	1,08	121,40	3,488	3,518	-0,85		
7-4PRc	PROINSA (2007)	S-062-BR-QUA	Quarai	144	25/10/2006	293	7,76	23,0	148,10	180,69		4,40	21,29	0,750	10	2,3	39,9	11,8	0,42	93,02	3,460	3,688	-6,37		
7-5PR	PROINSA (2007)	S-272-BR-IT	Itaqui - CORSAN - ITQ 2	84	12/11/2007	54,6	5,05	23,0	2,63	3,20		2,90	12,20	3,900	4,1	0,8	2,4	1,2	0,001	0,21	0,418	0,520	-21,74	(5)	
7-6PR	PROINSA (2007)	S-273-BR-UG	Uruguiana - Central termica AES, P 1A	252	11/11/2007	764	8,4	25,0	273,91	334,18	*	48,10	13,20	14,100	70	2	48,4	15,8	0,001	0,21	6,818	7,080	-3,77		



Tabla A2.3. Química y otra información relevante de las muestras usadas en el estudio de los transectos. Continuación.

Código en este estudio	Fuente	Código en fuente		Profundidad perforación (m)	Fecha muestreo	CE µS/cm	pH	T °C	Alcalinidad tot mg/L CaCO ₃ (1)	HCO ₃ mg/L (2)	CO ₃ mg/L (2)	SO ₄ mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	F mg/L	SiO ₂ mg/L	Σ Cat meq/L	Σ Ani meq/L	Error (*200) (3)	Com.
Transecto 8																								
8-1PRa	PROinsa (2007)	S-081-UY-Rivera	Rivera	96	14/11/2006	58,00	5,75	19,5	15,21	18,56		3,55	16,72	6,350	2,00	2,10	4,50	5,10	0,08	28,92	0,785	0,956	-19,56	
8-1PRb	PROinsa (2007)	S-066-UY-Rivera	Rivera	175	14/11/2006	221,00	7,07	22,0	119,08	145,28		4,54	20,30	0,690	7,60	1,60	27,30	15,60	0,07	94,96	3,021	3,063	-1,39	
8-1PRc	PROinsa (2007)	S-067-UY-Rivera	Rivera	81	14/11/2006	174,00	6,69	21,2	96,73	118,02		6,15	19,55	1,120	8,10	0,80	20,70	14,20	0,07	104,59	2,577	2,635	-2,25	
8-1PRd	PROinsa (2007)	S-068-UY-Rivera	Rivera	132	14/11/2006	164,00	6,53	20,0	80,72	98,48		9,15	19,26	0,640	7,80	1,40	17,90	14,10	0,07	203,40	2,431	2,362	2,88	
8-1PRe	PROinsa (2007)	S-069-UY-Rivera	Rivera	65	14/11/2006	142,00	6,34	20,2	57,04	69,59		3,62	28,11	6,510	6,10	0,90	16,20	13,00	0,07	112,93	2,168	2,117	2,41	
8-1PRf	PROinsa (2007)	S-082-UY-Rivera	Rivera	NI	15/11/2006	186,00	6,47	19,4	66,55	81,19		4,11	15,62	17,160	4,10	2,40	20,70	12,20	0,10	47,05	2,279	2,139	6,35	
8-1PRg	PROinsa (2007)	S-083-UY-Rivera	Rivera	130	15/11/2006	142,00	6,05	19,8	32,42	39,56		3,94	16,08	20,470	2,90	3,10	13,20	10,10	0,08	34,20	1,697	1,518	11,13	
8-1PRh	PROinsa (2007)	S-084-UY-Rivera	Rivera	120	15/11/2006	295,00	7,71	21,7	154,11	188,01		4,13	16,89	0,600	8,00	1,40	39,30	18,30	0,13	59,52	3,855	3,660	5,18	
8-1PRI	PROinsa (2007)	S-086-UY-Rivera	Pozo aserradero Urufor-Rivera	78	21/11/2006	33,00	5,98	22,8	13,61	16,60		2,70	78,20	6,200	1,10	2,00	31,00	7,80	0,07	1,28	2,291	2,635	-13,96	
8-2PRa	PROinsa (2007)	S-070-BR-Santana	Santana	NI	07/11/2006	145,00	6,19	20,2	44,03	53,72		5,30	17,47	12,400	4,00	2,00	13,70	10,30	0,07	94,19	1,758	1,687	4,13	
8-2PRb	PROinsa (2007)	S-071-BR-Santana	Santana	NI	07/11/2006	184,00	6,72	20,4	75,25	91,81		0,10	15,96	8,800	4,90	2,20	23,90	7,80	0,07	80,68	2,106	2,102	0,20	
8-2PRc	PROinsa (2007)	S-073-BR-Santana	Santana	NI	08/11/2006	229,00	6,68	20,1	86,06	104,99		0,10	14,92	17,200	5,00	1,90	29,90	8,80	0,07	101,85	2,485	2,425	2,48	
8-2PRd	PROinsa (2007)	S-074-BR-Santana	Santana	NI	08/11/2006	227,00	6,85	20,6	97,67	119,16		0,10	15,62	7,400	6,20	3,10	30,00	8,10	0,07	40,94	2,516	2,518	-0,11	
8-2PRe	PROinsa (2007)	S-079-BR-Santana	Vica do Sabino-Santana	NI	22/11/2006	237,00	5,30	19,8	10,41	12,70		3,46	98,00	9,800	6,20	4,20	19,60	18,03	0,06	1,20	2,841	3,202	-11,94	
8-3O	Oleaga (2003)	Granja Cornelius	Granja Cornelius	400	primera campai	416	7,87	22,4	190,16	232,00		10,35	12,00	3,200	47,0	1,6	43,6	7,0	#####	30,80	4,842	4,419	9,14	
8-3PRa	PROinsa (2007)	S-057-UY-Artigas	Artigas	121	24/10/2006	352,00	7,62	22,0	180,13	219,75		0,10	21,52	2,100	15,00	1,60	44,30	18,00	0,23	81,34	4,390	4,257	3,08	
8-3PRb	PROinsa (2007)	S-056(bis)-UY-Artigas	Artigas	115	24/10/2006	301,00	7,23	22,5	156,11	190,45		0,10	25,86	4,000	10,00	1,80	40,10	15,50	0,22	90,96	3,762	3,929	-4,34	
8-3PRc	PROinsa (2007)	S-058-UY-Artigas	Artigas	156	24/10/2006	280,00	7,28	23,0	141,10	172,14		0,10	28,46	3,300	10,00	1,50	36,10	14,70	0,21	78,75	3,488	3,690	-5,62	
8-3PRd	PROinsa (2007)	S-059-UY-Artigas	Artigas	400	24/10/2006	353,00	7,58	22,5	180,13	219,75		5,97	18,39	3,200	22,00	1,60	31,00	13,00	0,15	67,56	3,618	4,304	-17,32	
8-4PRa	PROinsa (2007)	S-063-BR-QUA	Quaraí	102	25/10/2006	235,00	7,05	22,5	149,10	181,91		0,10	16,61	1,250	10,00	2,30	26,80	13,30	0,32	100,20	2,929	3,489	-17,47	
8-4PRb	PROinsa (2007)	S-064-BR-QUA	Quaraí	120	25/10/2006	273,00	7,32	22,0	133,09	162,37		7,40	22,15	1,310	13,00	2,30	33,90	14,20	1,08	121,40	3,488	3,518	-0,85	
8-4PRc	PROinsa (2007)	S-062-BR-QUA	Quaraí	144	25/10/2006	293,00	7,76	23,0	148,10	180,69		4,40	21,29	0,750	10,00	2,30	39,90	11,80	0,42	93,02	3,460	3,688	-6,37	
8-5O	Oleaga (2003)	Arapey	Arapey	NI	20/07/2000	700	7,86	38,4	256,72	313,20		76,90	23,00	5,900	75,9	6,3	37,0	11,7	0,2	25,24	6,277	7,490	-17,62	
8-6O	Oleaga (2003)	Guaviyú	Guaviyú	NI	primera campai	1640	8,86	39,2	427,87	522,00	*	86,55	132,00	3,500	271,9	1,0	1,8	0,4	0,8	34,65	11,981	14,177	-16,80	
8-6PR	PROinsa (2007)	S-052-UY-PDU	Guaviyú	1109	04/04/1996	1.198,00	9,10	40,0	368,26	449,27	*	74,40	47,03	2,000	#####	1,10	2,00	5,00	0,13	51,76	12,463	10,279	19,21	
8-7O	Oleaga (2003)	Daymán	Daymán		20/07/2000	1190	8,17	45,5	295,08	360,00	*	50,84	54,00	3,200	178,9	2,5	5,8	2,2	0,5	32,72	8,320	8,560	-2,84	
8-7SBa	Silva Busso (1999)	Daymán	Daymán	2206	06/04/1996	720	7,8	46	248,36	303,00		52,00	43,00	3,200	150	3,4	7,5	2,3	0,9	95,00	7,179	7,361	-2,51	
8-7SBb	Silva Busso (1999)	Daymán	Daymán	2206	primera campai	738	8,39	42,3	211,48	258,00	*	49,00	41,50	3,200	153	4,5	9,9	1,2	1,031	111,00	7,367	6,525	12,12	
8-7PR	PROinsa (2007)	S-034-UY-SALTO	Salto	2206	20/07/2000	766,00	8,43	45,0	260,18	317,42	*	42,50	19,26	3,200	#####	3,00	4,70	11,30	8,25	73,36	8,335	7,117	15,76	

Je Componentes Principales

Il: No indicado

ncentración significativa de CO₃; calcularlo con PHREEQC

l total nosuele coincidir conal suma de HCO₃ + CO₃. Para Piper y Schoeller se han usado los valores de HCO₃ y CO₃ medidos independientemente.

linidad medida en laboratorio.

lados a partir de la alcalinidad.

iva: ,edido en campo

os no usados enPiper y Schöeller

r se usa por ser única en su zona

a por representar bien su facies química

usa para ilustrar el efecto del error