SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES ACUÍFERAS TERCIARIAS Y CUATERNARIAS

PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

MARÍA SANTI

DIRECCION DE HIDRAULICA
ENTRE RIOS

"SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES ACUÍFERAS TERCIARIAS Y CUATERNARIAS"

PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

MARIA SANTI

Paraná, Entre Ríos, julio 2016

Geóloga MARÍA SANTI
DIRECCIÓN DE HIDRÁULICA DE ENTRE RÍOS

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
I - UBICACIÓN DEL AREA	8
II - GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	9
Esquema Geológico Regional	9
Formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias	9
Formación Paraná	9
Formación Ituzaingó	10
Formación Salto Chico	14
Formación El Palmar	14
III - AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
HIDRODINÁMICA	20
Red de flujo - MAPA Nº 1	20
Comparación de redes de flujo. Noreste de Entre Ríos	23
Comparación redes de flujo en el centro-este (zona arrocera) de Entre Ríos	26
HIDROQUIMICA	30
Determinaciones de campo	30
Determinaciones de laboratorio	30
Conductividad eléctrica (CE)	32
Residuo seco - MAPA Nº 2	32
Dureza- MAPA Nº 3	34
Bicarbonatos (HCO_3^-)- MAPA Nº 4	37
Sulfatos ($SO_4^=$) – MAPA Nº 5	39
Cloruros (Cl^-) - MAPA Nº 6	41
Nitratos (NO_3^-) – MAPA Nº 7	44
Calcio (Ca^{++}) - MAPA Nº 8	46
Magnesio (Mg^{++}) – MAPA Nº 9	48
Sodio (Na^+) - MAPA Nº 10	50
Potasio (K^+) – MAPA Nº 11	52
Arsénico (As)	54
Fluoruro (F^-)	54
Hierro (Fe)	55
Boro (B)	55
Representaciones gráficas	56
Diagrama de Piper	56
Aptitud de Agua para riego	58
ENSAYOS HIDRÁULICOS	60
Síntesis Regional de los Resultados	64
Acuífero Ituzaingó	64
Área de transición Ituzaingó-Paraná	65
Acuífero Paraná	65
Acuífero Salto Chico	65
Salto Chico – El Palmar	66
Acuífero El Palmar	67
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68

TABLAS

Tabla 1. Datos de campo. Máximo, promedio y mínimo. 20
Tabla 2. Determinaciones de laboratorio. Método y desviación estándar. 30
Tabla 3. Conductividad eléctrica, residuo seco y dureza. Máximo, promedio y mínimo. 31
Tabla 4. Aniones. Máximo, promedio y mínimo. 31
Tabla 5. Cationes. Máximo, promedio y mínimo. 31
Tabla 6. Hierro, arsénico, flúor y boro. Máximo y mínimo. 31
Tabla 7. Tipo de agua según diagrama de Piper. 56
Tabla 8. Aptitud de agua para riego. 58
Tabla 9. Localidades y acuíferos ensayados. 62

FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área. 8
Figura 2. Traza de perfiles hidrogeológicos. 11
Figura 3. Perfil hidrogeológico Paraná-Bovril. 12
Figura 4. Perfil hidrogeológico Victoria-Villa Clara. 13
Figura 5. Perfil hidrogeológico Durazno-La Clarita. 15
Figura 6. Perfil hidrogeológico Federal-La Criolla. 16
Figura 7. Perfil hidrogeológico Basavilbaso – Caseros. 17
Figura 8. Perfil hidrogeológico Calabacilla-Ubajay. 18
Figura 9. Distribución de los Acuíferos Paraná, Ituzaingó, Salto Chico y El Palmar. 19
Figura 10. Red de flujo subterráneo. Entre Ríos. 22
Figura 11. Red de flujo noreste de Entre Ríos – 1982. 24
Figura 12. Comparación redes de flujo noreste de Entre Ríos. 25
Figura 13. Red de flujo en época de riego.Zona arrocera. 26
Figura 14. Red de flujo en época sin riego. Zona arrocera. 27
Figura 15. Variaciones del nivel piezométrico. Zona arrocera. 28
Figura 16. Residuo seco. 33
Figura 17. Detalle residuo seco. 34
Figura 18. Dureza. 35
Figura 19. Detalle dureza. 36
Figura 20. Bicarbonatos. 38
Figura 21. Sulfatos. 40
Figura 22. Detalle sulfatos. 41
Figura 23. Cloruros. 42
Figura 24. Detalle cloruros. 43
Figura 25. Nitratos. 45
Figura 26. Calcio. 47
Figura 27. Magnesio. 49
Figura 28. Sodio. 51
Figura 29. Potasio. 53
Figura 30. Tipo de agua según diagrama de Piper. 57
Figura 31. Aptitud de agua para riego. 59
Figura 32. Sitios de ensayo. 61
Figura 33. Tipo de acuífero. 63

AGRADECIMIENTOS

A la **Dirección de Hidráulica** de Entre Ríos.

Al Técnico ***Héctor Antonio Casa*** por su inmensa disposición para trabajos todo terreno.

A la Perito Topocartógrafo ***Verónica Zandomeni*** por la edición de las imágenes.

A la Ing. ***Graciela Rezzónico*** y al Ing. ***Guillermo Bianchi*** por los trabajos compartidos.

A las Cooperativas de Agua Potable, Juntas de Gobierno y Municipios de la Provincia de Entre Ríos.

A los pobladores de las áreas rurales de la provincia, por permitirnos el ingreso a sus domicilios, aportarnos información verbal y escrita y enriquecernos con sus historias.

RESUMEN

Entre Ríos pertenece a la Provincia geológica de la Mesopotamia (Leanza,1958). Se ubica en el borde sur de la cuenca Chaco-Paranaense, la que tiene desarrollos someros hacia el sureste de la provincia y profundizaciones hacia el oeste y noroeste. La cuenca sedimentaria traspasa los límites provinciales y se desarrolla en su mayor extensión en las provincias de Santa Fe, Chaco, Córdoba, Formosa, resto del Litoral y países vecinos. Tipificada como de intraplaca y no vinculada a procesos de subducción, alberga sedimentitas continentales y marinas de edades comprendidas entre el Paleozoico Medio y el Cuaternario.

La delimitación y distribución en el subsuelo de las Formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias (Paraná, Ituzaingó, Salto Chico y El Palmar), se definió a partir del análisis de la información hidrogeológica de campo, geología de superficie y cortes litológicos de perforaciones aportados a la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, por instituciones públicas y privadas. Teniendo en cuenta la magnitud de la recopilación efectuada, el gran número de perforaciones analizadas y las descripciones estratigráficas realizadas por diversos autores, aún quedan vacíos de conocimiento, en el pasaje vertical y en los contactos laterales de las Formaciones Paraná – Ituzaingó; Ituzaingó - Salto Chico y Salto Chico – El Palmar (Santi *et al*., 2013).

La caracterización hidrogeológica de los cuatro acuíferos utilizados para consumo humano, animal, uso industrial y riego, se realizó a partir del levantamiento de información de campo a escala 1:100.000 (censo hidrogeológico, muestreo de agua), relevamiento geológico de superficie, y análisis litológico de perfiles de perforaciones.

Formación Paraná (Bravard, 1858) (Mioceno Medio a Superior), formada por depósitos de origen marino, compuesta por arcilitas gris verdosas, oscuras, poco micáceas, algo calcáreas, compactas, con contenido de yeso, restos carbonosos, intercalaciones tobáceas y abundante contenido fosilífero, aloja un acuífero semiconfinado. Los caudales de extracción no superan los 100 m³/h, los valores dominantes de la transmisividad se ubican en el rango de 500 - 800 m²/día. El coeficiente de almacenamiento posee valores entre 0,002 y 0,0002. Se explota en el suroeste de Entre Ríos, con limitaciones en la calidad del agua debido al exceso en las concentraciones de residuo seco, dureza, sulfatos, cloruros y sodio (Santi *et al*., 2013).

Formación Ituzaingó (De Alba, 1953) (Plioceno Medio a Superior), es un depósito fluvial del río Paraná, compuesta por arenas ocráceas, blancas, rojizas, con intercalaciones pelíticas de tonos verdosos y grises. Es un acuífero semiconfinado. Los caudales de extracción no superan los 130 m³/h, el valor medio regional de la transmisividad es de 1.000 m²/día. En relación al grado de confinamiento, donde la cubierta superpuesta (constituida en su mayor parte por Formación Hernandarias, acuitardo); tiene una potencia de 10 a 15 m, el coeficiente de almacenamiento posee valores del orden de 0,001, mientras que,

en sectores donde la potencia del acuitardo es mayor, el coeficiente es de 0,0002. Se explota en el sector noroeste con limitaciones en calidad del agua debido al exceso de sulfatos, sodio (Santi *et al*., 2013), residuo seco y dureza.

Tanto la hidroquímica como la hidráulica de los acuíferos Paraná e Ituzaingó, revelan que existe recarga diferida proveniente del acuitardo suprayacente. La descarga de ambos acuíferos se realiza al río Paraná, al predelta y Delta y a los principales ríos y arroyos del interior de la provincia (ríos Gualeguay, Gualeguaychú y sus principales afluentes, y arroyos Feliciano y Nogoyá y tributarios más sobresalientes).

Formación Salto Chico (Rimoldi, 1963) (Pleistoceno Inferior), son depósitos dejados por el río Uruguay. La Formación está compuesta por arenas cuarzosas gruesas, medianas y finas de color amarillo y rojo, arcillas verdes y estratos irregulares de rodados finos y gruesos. Es un acuífero semiconfinado y se explota en el sector oriental de la provincia. Es denominado también "acuífero arrocero" por su intensivo uso en el riego de ese cultivo. En la época de riego, entre noviembre y marzo, los niveles hidráulicos descienden hasta 8 metros en algunos sectores debido a la extracción, la que varía entre 250 y 600 m³/h por pozo. Esta situación, deja al acuífero, en algunas zonas, expuesto a un grado de mayor vulnerabilidad, al pasar de su condición de semiconfinado a libre. Los niveles hidráulicos se recuperan en épocas donde la demanda para riego es menor. La transmisividad dominante se estima dentro del rango 1500 - 2500 m²/día. El coeficiente de almacenamiento, arroja valores medios entre 0,001 y 0,004. Se destaca un mayor confinamiento en los pozos que se utilizan para riego, donde la transmisividad media supera los 2.500 m²/día. El valor obtenido de la permeabilidad vertical, del orden de 10^{-3} cm/s indica que existe una fuerte recarga proveniente del acuitardo suprayacente (en su mayoría compuesto por la Formación Hernandarias). Se explota a lo largo de la mitad oriental de Entre Ríos y la calidad del agua es muy buena para consumo humano y riego. La descarga del Salto Chico se realiza hacia los ríos Mocoretá, Uruguay (y arroyos menores), Gualeguaychú, Gualeguay y tributarios más sobresalientes de éstos (Santi *et al*., 2013).

Formación El Palmar (Iriondo, 1980) (Holoceno), son depósitos fluviales (terraza) del río Uruguay. La Formación está compuesta por arenas de cauce con lentes de gravas y cantos rodados. Es un acuífero libre. Los caudales de extracción no superan los 50 m³/h, la transmisividad dominante varia dentro del rango 500 - 1.500 m²/día, con valor medio regional de 1.000 m²/día. Se explota a lo largo del borde este de la provincia. El agua es de buena calidad. El embalse de Salto Grande favorece la recarga de los pozos en explotación ubicados en las proximidades del Lago. La recarga del Acuífero El Palmar es directa. La descarga se realiza a los arroyos menores afluentes del río Uruguay y al río Uruguay (Santi *et al*., 2013).

Los cuatro acuíferos, más allá de sus particularidades y diferencias, se vinculan entre sí conformando un sistema interconectado de sumo interés para su aprovechamiento y manejo.

I - UBICACIÓN DEL AREA

La provincia de Entre Ríos es parte de la Mesopotamia argentina. Tiene una superficie de 78.781 Km² correspondiendo a una superficie firme 66.976 Km² y 11.805 Km² a islas y tierras anegadizas. Está delimitada: al oeste por la Provincia de Santa Fe, al norte por la Provincia de Corrientes, al sur por la Provincia de Buenos Aires y al este por la República Oriental del Uruguay. Es la decimoséptima provincia más extensa del país, ocupando el 2,83% de la superficie total de la República Argentina. **(Figura 1)**.

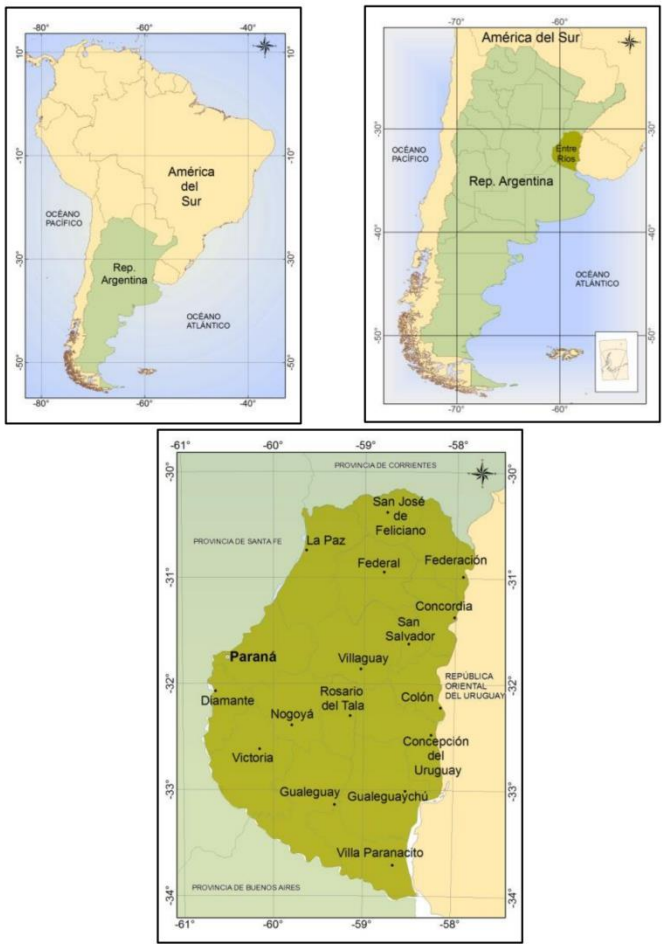


Figura 1. Ubicación del área.

II - GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Esquema Geológico Regional

Entre Ríos pertenece a la Provincia geológica de la Mesopotamia (Leanza, 1958). Se ubica en el borde sur de la cuenca Chaco-Paranaense, la que tiene desarrollos someros hacia el sureste de la provincia y profundizaciones hacia el oeste y noroeste. La cuenca sedimentaria traspasa los límites provinciales y se desarrolla en su mayor extensión en las provincias de Santa Fe, Chaco, Córdoba, Formosa, resto del Litoral y países vecinos. Tipificada como de intraplaca y no vinculada a procesos de subducción, alberga sedimentitas continentales y marinas de edades comprendidas entre el Paleozoico Medio y el Cuaternario. Una potente formación efusiva basáltica de edad Cretácica (basaltos Serra Geral con intercalaciones de areniscas), vinculada al desmembramiento, a partir del Mesozoico, del continente Gondwana, es explotada en algunas localidades de la Provincia para recreación y turismo, con bajos caudales y salinidad media a elevada. Debajo de la Formación Serra Geral, en el noreste provincial, se encuentra la Formación Misiones que aloja el denominado Acuífero Guaraní, explotado también para recreación y turismo, con grandes caudales y baja salinidad.

Formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias

Las Formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias, objeto del presente trabajo, son cuatro: Formación Paraná, Formación Ituzaingó, Formación Salto Chico y Formación El Palmar. Las tres primeras alojan acuíferos semiconfinados. La última, un acuífero libre.

Con excepción del borde Este (margen derecha del río Uruguay) y el Delta, Entre Ríos se caracteriza por presentar una cubierta superior limo arcillosa (integrada en un 90% por la Formación Hernandarias (Pleistoceno Inferior o Medio). En los sectores más elevados (Cota 119 metros IGN, altitud máxima de Entre Ríos), ésta cubierta alcanza una potencia de 70 m. Los espesores menores (4 a 6 m.), se encuentran en las proximidades de los valles de ríos y arroyos. Suprayacentes a Hernandarias, las Formaciones arenosas (algunas con elevado contenido de grava y canto rodado), alojan acuíferos semiconfinados.

La **Formación Paraná** (Bravard, 1858), depositada en el Mioceno Medio a Superior, es producto de una ingresión marina que se extendió desde el noreste de la Patagonia cubriendo parte de las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones y sectores de las Repúblicas Oriental del Uruguay y Paraguay. Está compuesta por arcilitas gris verdosas, oscuras, poco micáceas, algo calcáreas, compactas, que suelen contener yeso, restos carbonosos, intercalaciones tobáceas y abundante contenido fosilífero. Mediante análisis sedimentológicos y evidencias faunística, se determinó un ambiente de depositación nerítico proximal. Acumulaciones marinas someras y litorales distinguen a la Formación Paraná, en una faja de 70 Km. de ancho extendida a la vera del río homónimo, desde la ciudad de Corrientes hasta la localidad de Victoria en Entre Ríos (Herbst *et al.*, 1985). La Formación aloja un acuífero

semiconfinado. Los valores dominantes de la transmisividad se determinaron en el rango de 500 - 800 m²/día. Los caudales de extracción no superan los 100 m³/h. Es explotado en el suroeste de la provincia. La composición iónica del agua es bicarbonatada sódica dominante y cálcica subordinada en un 80%, el 20% restante es clorurada y/o sulfatada sódica. Posee limitaciones en la calidad del agua debido al exceso en las concentraciones de residuo seco, dureza, sulfatos, cloruros y sodio (Santi *et al*., 2013).

Formación Ituzaingó (De Alba, 1953), fue depositada por el río Paraná, entre el Plioceno Medio a Superior. Iriondo (1980), la extiende hasta el Pleistoceno Inferior. Está compuesta por arenas ocráceas, blancas, rojizas, con intercalaciones pelíticas de tonos verdosos y grises, de composición mineralógica predominantemente cuarzosa con cantidades menores de feldespatos, micas, magnetita y otros máficos. Esta unidad presenta diversos grados de compactación, desde totalmente suelta a medianamente friable y hasta sumamente dura debido a la infiltración de óxidos e hidróxidos de hierro y sílice. El espesor máximo, fue registrado en Corrientes con 150 metros, disminuyendo hacia el sur hasta llegar a 8 -10 m. en las cercanías de la ciudad de Paraná. Es un acuífero semiconfinado. El parámetro hidráulico más representativo del acuífero, es la transmisividad. Los valores dominantes, en condiciones medias, acusan una variabilidad dentro del rango 500 – 1.500 m²/día, con valor medio regional de 1.000 m²/día. Los caudales de extracción no superan los 130 m³/h. En relación al grado de confinamiento, donde la cubierta superior (Formación Hernandarias, acuitardo), es de menor potencia (10 a 15 m.) el coeficiente de almacenamiento posee valores del orden de 0,001, mientras que el almacenamiento para la región de mayor potencia de Hernandarias (50 m.) es de 0,0002. Es explotado en el sector noroeste de la provincia. La composición iónica del agua es bicarbonatada sódica dominante y cálcica subordinada en un 85%, el 15% restante es clorurada y/o sulfatada sódica. Posee limitaciones en la calidad del agua debido al exceso en las concentraciones de residuo seco, dureza, sulfatos, cloruros y sodio (Sanguinetti *et al*. 2002, Santi *et al*. 2013).

Más allá de la variación regional de los parámetros hallados para las Formaciones Paraná e Ituzaingó, se verifica, que en ambas, existe recarga diferida proveniente del acuitardo suprayacente.

Formación Paraná, si bien subyace a Ituzaingó, en parte de la provincia, ambas se contactan lateralmente, distribuyéndose en un rango hipsométrico de 37 a 40 m. IGN. El conocimiento del pasaje lateral, entre una y otra, se dificulta por falta de información de subsuelo, fundamentalmente, en el centro-oeste de la provincia. Este pasaje vertical y lateral, hidrogeológicamente es importante a la hora de determinar calidad y cantidad de agua (Santi *et al*., 2013).
.

En la **Figura 2** se grafica la traza de los perfiles hidrogeológicos utilizados para la confección de la distribución de los acuíferos terciarios y cuaternarios en la provincia de Entre Ríos.

En las **Figuras 3 y 4,** se muestran dos ejemplos del contacto entre las Formaciones Paraná e Ituzaingó en los perfiles hidrogeológicos de rumbo noreste – sudoeste, Paraná - Bovril y Victoria - Villa Clara.

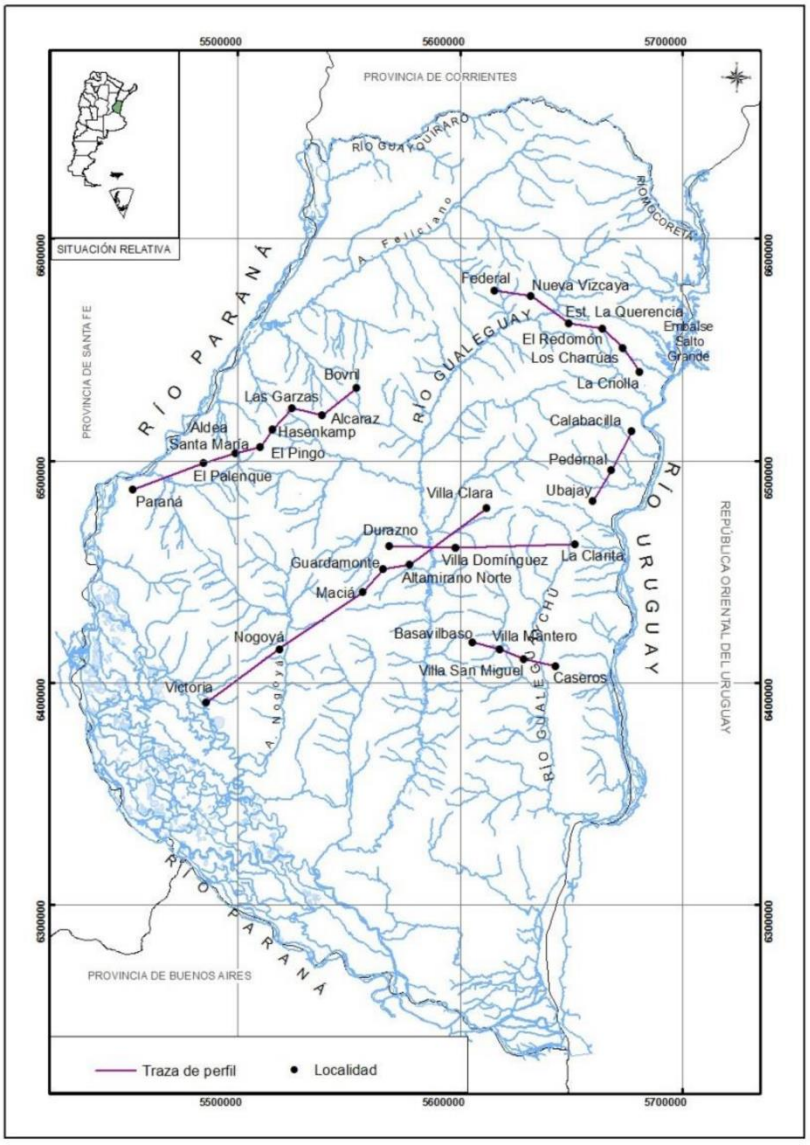


Figura 2. Traza de perfiles hidrogeológicos.

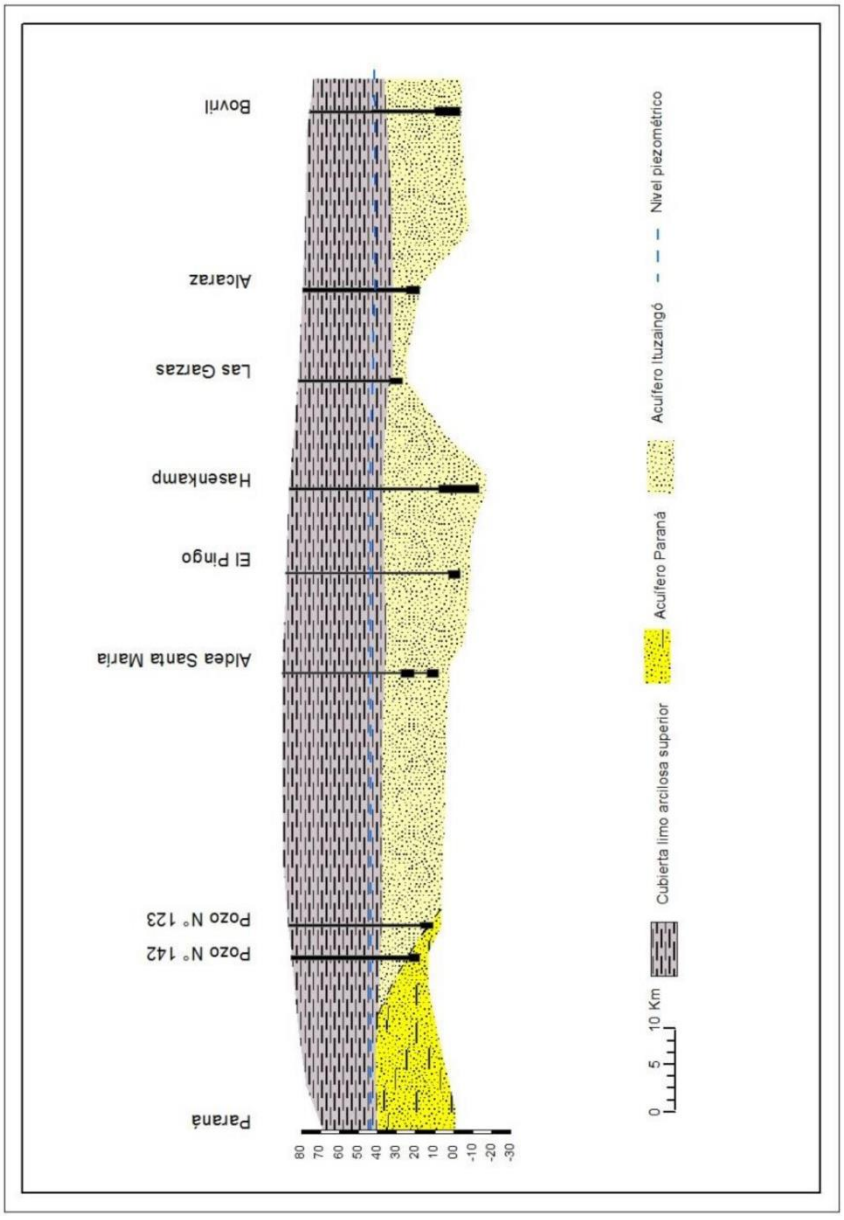


Figura 3. Perfil hidrogeológico Paraná-Bovril.

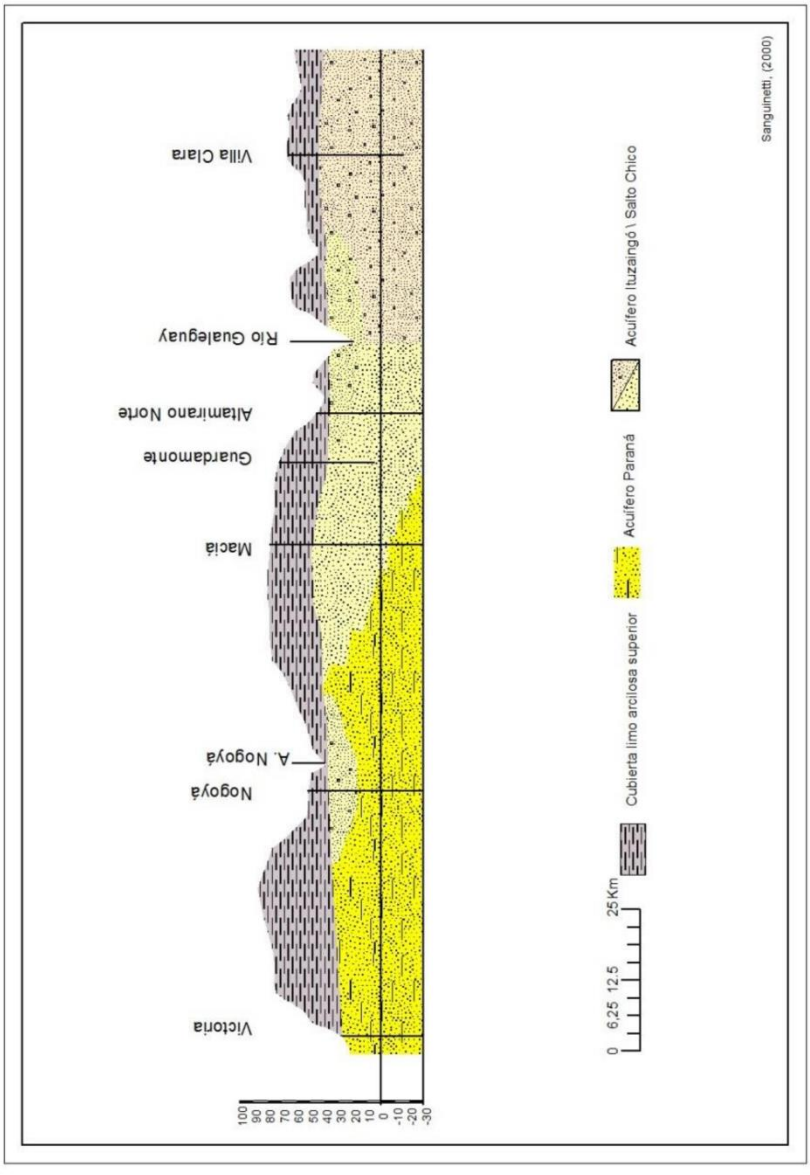


Figura 4. Perfil hidrogeológico Victoria-Villa Clara.

La **Formación Salto Chico** (Pleistoceno Inferior) (Rimoldi, 1963), depositada por el río Uruguay, está compuesta por arenas cuarzosas gruesas, medianas y finas de color amarillo y rojo, arcillas verdes y estratos irregulares de rodados finos y gruesos. Posee un estrato de 0,50 a 2 m. de arcilla arenosa blanquecina en la base. Se extiende en el subsuelo, en una franja irregular de varios Km. de ancho en el sector oriental de la provincia. Es un acuífero semiconfinado explotado en el sector oriental de la provincia. El techo del acuífero se encuentra a profundidades variables entre 20 y 40 m.

En la **Figura 5.** Perfil hidrogeológico Durazno-La Clarita, puede observarse a la izquierda del río Gualeguay, el acuífero Ituzaingó y hacia la derecha el acuífero Salto Chico. Los perfiles hidrogeológicos demuestran la conexión entre los acuíferos cuaternarios y terciarios.

Denominado también "acuífero arrocero" por su intensivo uso en el riego de ese cultivo, en la época de riego, entre noviembre y marzo, los niveles hidráulicos descienden en algunos sectores debido a la extracción (censos hidrogeológicos 1986/1987 y 2000/2001), la que varía de 250 a 600 m³/h por pozo. Esta situación deja al acuífero expuesto a un grado de mayor vulnerabilidad, al pasar de su condición de semiconfinado a libre **(Figuras 6.** Perfil hidrogeológico Federal – La Criolla **y Figura 7.** Perfil hidrogeológico Basabilvaso - Caseros). Los niveles se recuperan en épocas donde la demanda para riego es menor (Auge *et al*., 2002).

La transmisividad dominante se estima dentro del rango 1500 - 2500 m²/día. El coeficiente de almacenamiento arroja valores medios entre 0,001 y 0,004. Se destaca un mayor confinamiento en los pozos que se utilizan para riego, donde la transmisividad media supera los 2.500 m²/día. El valor obtenido de la permeabilidad vertical, del orden de 10^{-3} a 10^{-4} cm/s., es alto, indicando que existe una fuerte recarga proveniente del acuitardo suprayacente. (Formación Hernandarias). El agua, clasificada como bicarbonatada sódica dominante y bicarbonatada cálcica subordinada, es de buena calidad para diversos usos entre los que se destaca el riego (Santi *et al*., 2007, 2013).

Al este de la provincia, el río Uruguay depositó la **Formación El Palmar** (Holoceno) (Iriondo, 1980). Es una terraza constituida por arenas de cauce con grandes lentes de gravas y cantos rodados; presenta facies arenosas de inundación y de albardón. Forma una faja de 4 a 15 Km. de ancho a lo largo de la margen derecha del río Uruguay aflorando desde la provincia de Corrientes hasta la localidad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos). Contiene un acuífero libre. **(Figura 8.** Perfil hidrogeológico Calabacilla - Ubajay).

Los caudales de extracción no superan los 50 m³/h, la transmisividad dominante varia dentro del rango 500 - 1.500 m²/día, con valor medio regional de 1.000 m²/día. El embalse de Salto Grande favorece la recarga de los pozos en explotación ubicados en las proximidades del Lago. El agua es de buena calidad, clasificada como bicarbonatada sódica dominante y bicarbonatada cálcica subordinada (Santi *et al.,* 2009, 2010, 2013).

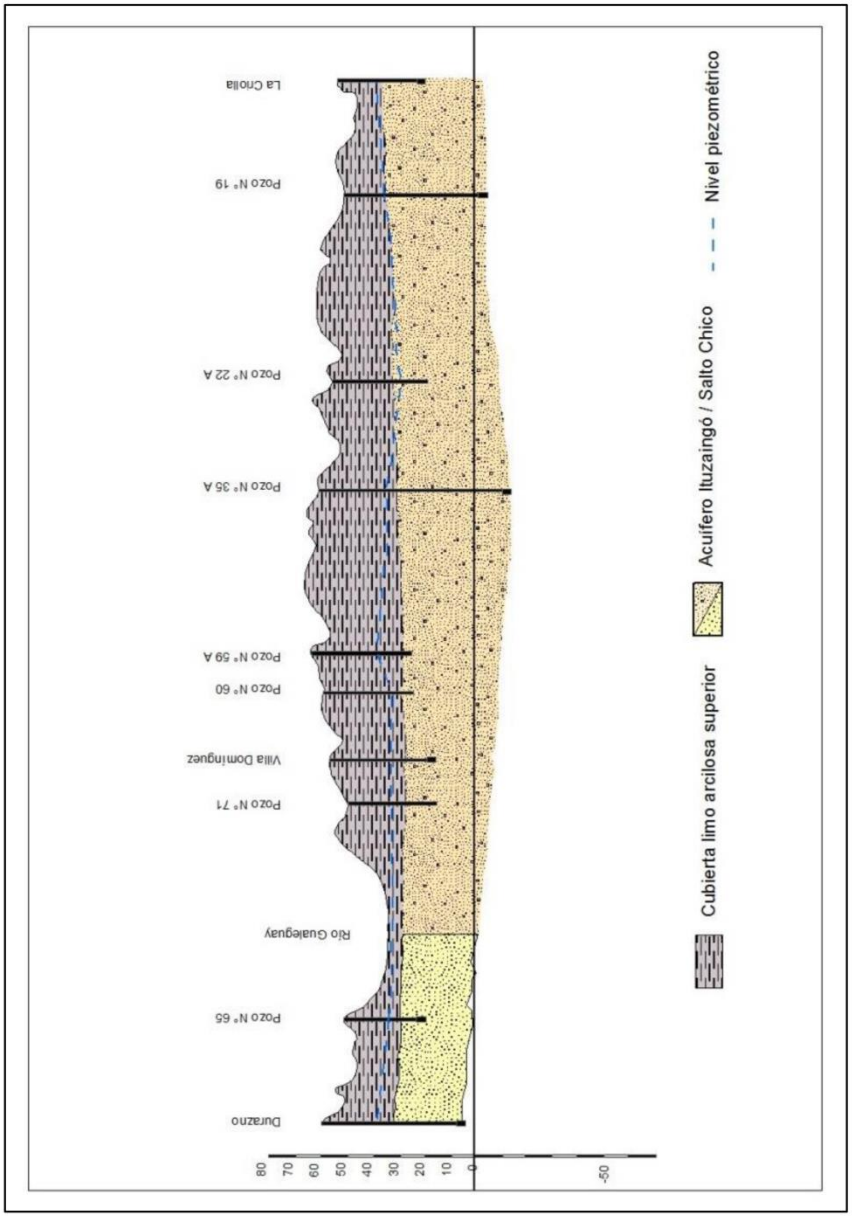


Figura 5. Perfil hidrogeológico Durazno-La Clarita.

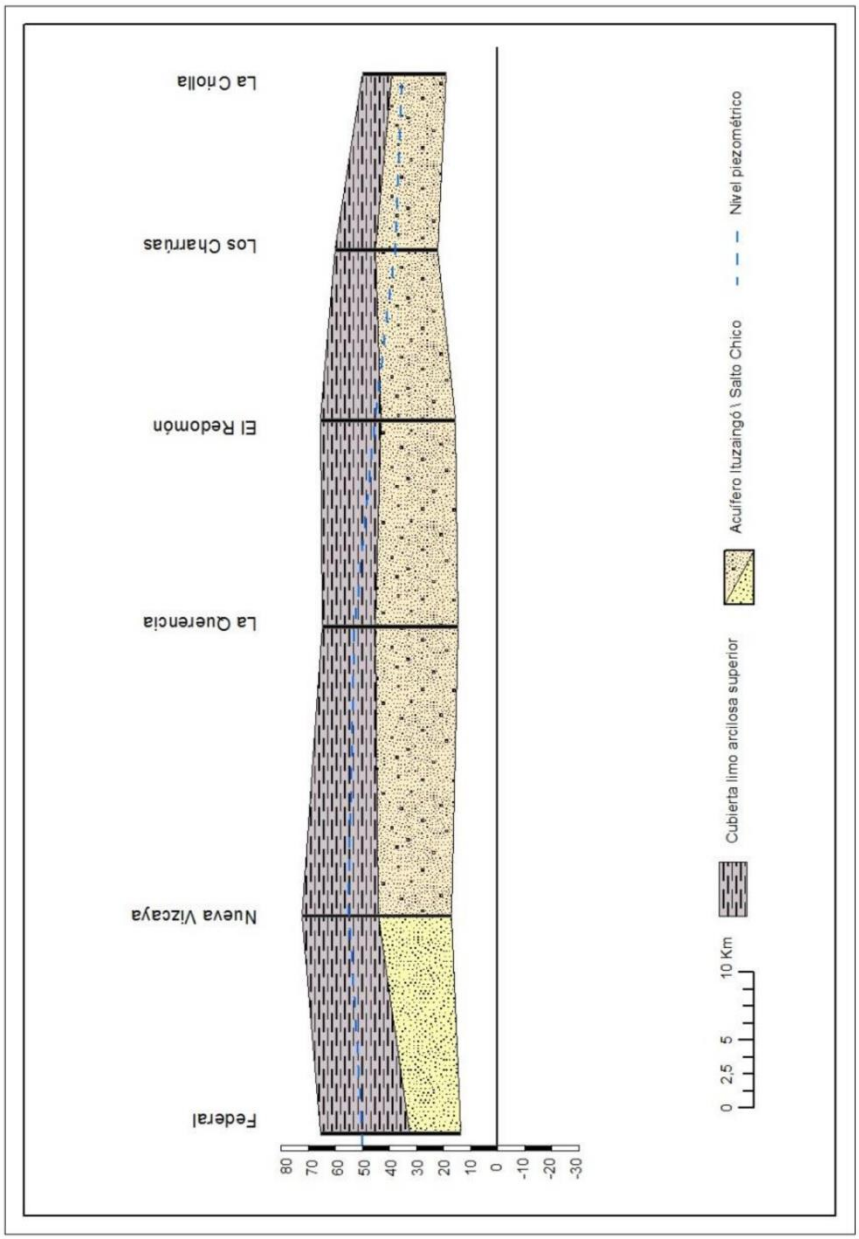


Figura 6. Perfil hidrogeológico Federal-La Criolla.

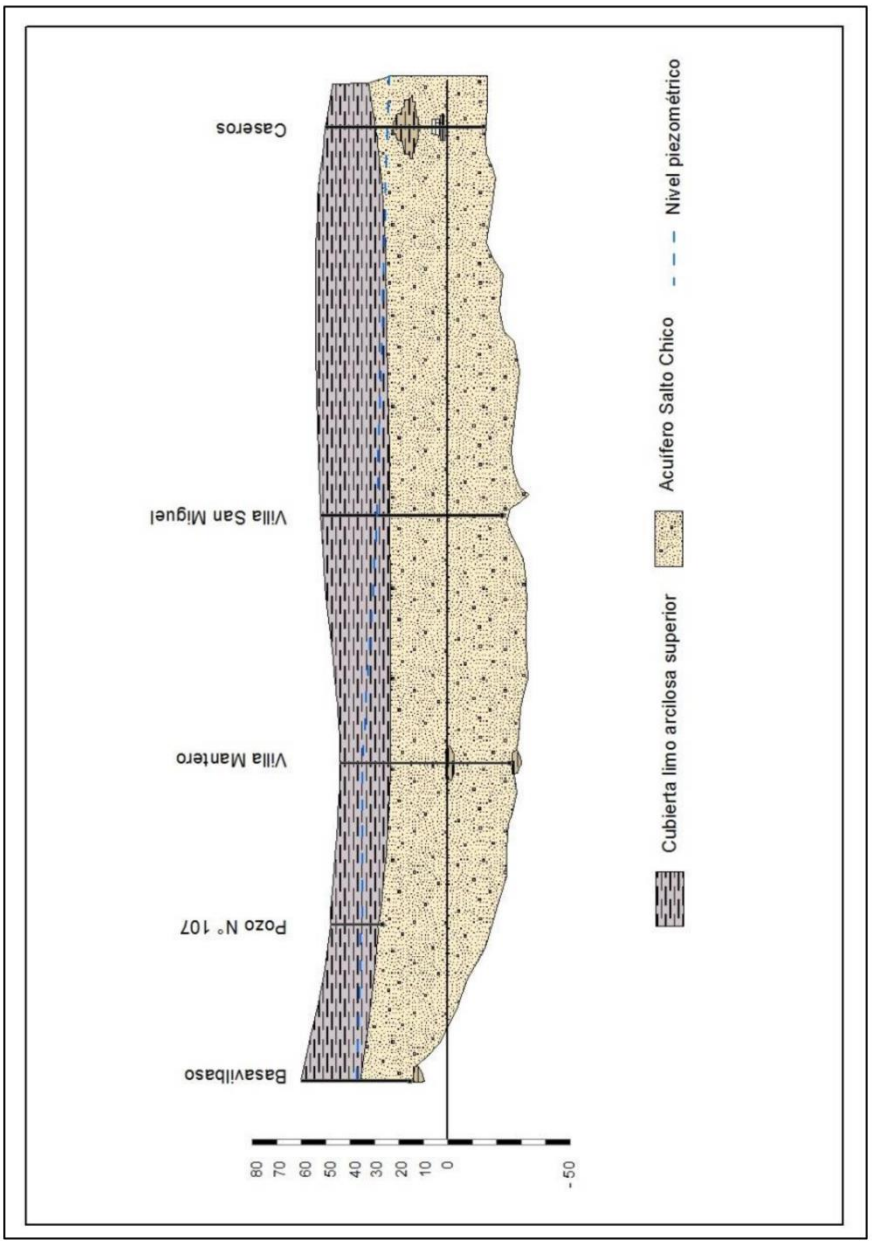


Figura 7. Perfil hidrogeológico Basavilbaso – Caseros.

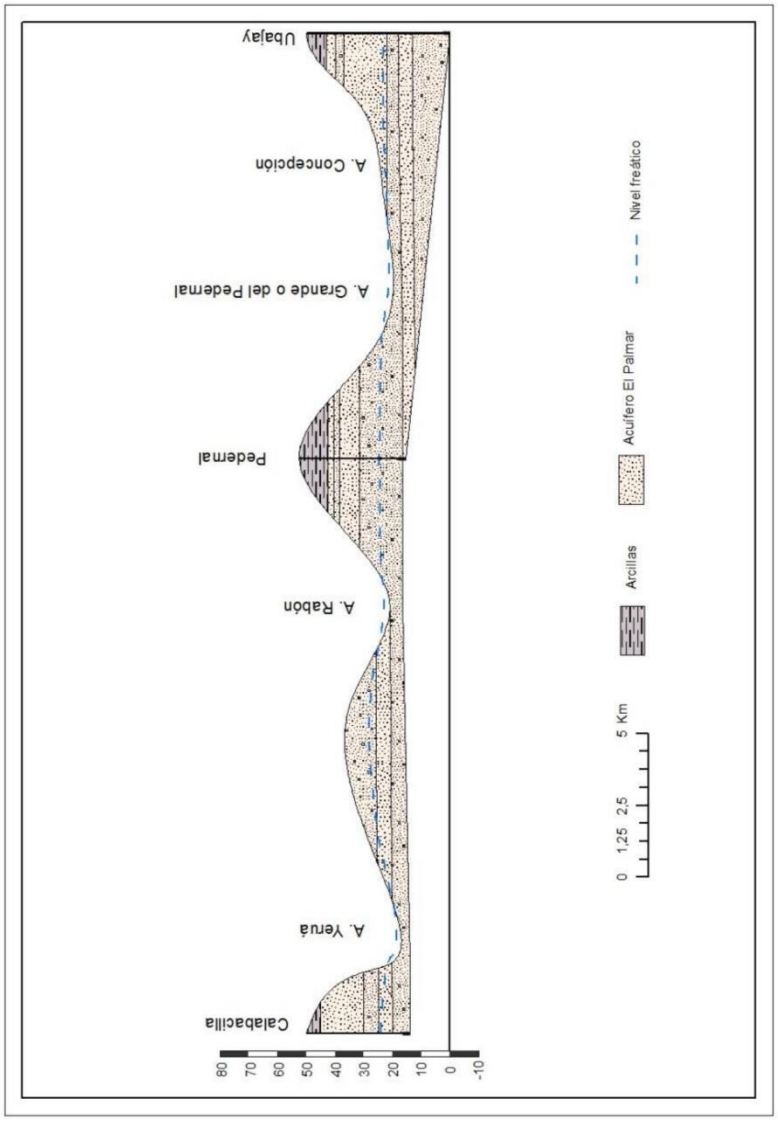


Figura 8. Perfil hidrogeológico Calabacilla-Ubajay.

La delimitación y distribución de las Formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias en Entre Ríos, definida a partir del análisis y procesamiento de información hidrogeológica de campo, geología de superficie y cortes litológicos de perforaciones, puede observarse en planta en la **Figura 9.**

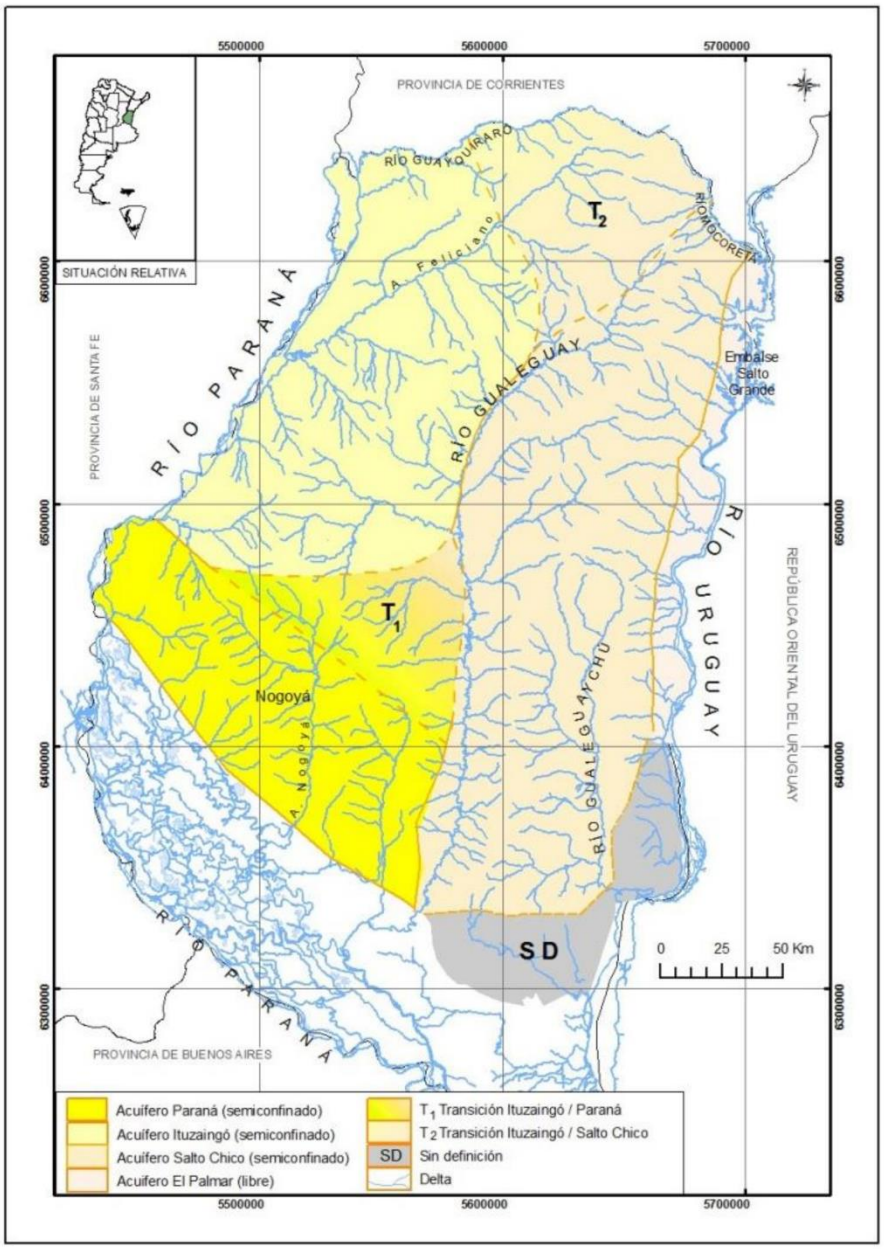


Figura 9. Distribución de los Acuíferos Paraná, Ituzaingó, Salto Chico y El Palmar (Santi *et al*., 2010, 2013).

III - AGUAS SUBTERRÁNEAS

HIDRODINÁMICA

Red de flujo - MAPA Nº 1

La red de flujo, herramienta para comprender la dinámica subterránea, identificando los ámbitos de recarga, circulación y descarga se confeccionó con la información de fuentes censadas para una escala regional de 1:200.000.

En la **Tabla 1** se observan el máximo, el promedio y el mínimo de los datos de campo.

	Cota topográfica IGN (m)	Profundidad del nivel hidráulico (m)	Cota hidráulica IGN (m)
Máximo	119,30	54,80	65,50
Promedio	53,75	19,84	34
Mínimo	5	1,05	1,50

Tabla 1. Datos de campo. Máximo, promedio y mínimo.

En virtud de la escala de trabajo, de los gradientes hidráulicos, del acotamiento y de la distribución de los pozos, se eligió una equidistancia de 5 m entre curvas, con la que se logró una adecuada definición de la morfología piezométrica **(Figura 10 – MAPA Nº 1).**

La cartografía básica se realizó en AutoCAD (Sistema Campo Inchauspe – Proyección Gauss – Krüger), situando los pozos de acuerdo a las coordenadas XY tomadas en el terreno.

La coordenada Z (cota topográfica) se calculó mediante el método de interpolación entre curvas de nivel. La equidistancia entre curvas en las cartas IGN de la provincia de Entre Ríos es de 5 m para las hojas IGN escala 1:100.000 y de 2,5 m para las hojas IGN escala 1:50.000, utilizándose, con preferencia, de existir, estas últimas para obtener una mejor aproximación.

La reducción de los mapas originales a las figuras presentadas en esta Síntesis, se realizó mediante el pasaje de la información de AutoCAD a Arc Gis (Sistema de Información Geográfica).

En la red se integraron los niveles piezométricos de los tres acuíferos semiconfinados y del acuífero libre situado en el borde este de la provincia. Como fuese mencionado precedentemente, los cuatro acuíferos conforman un sistema interconectado. Las curvas equipotenciales de los acuíferos semiconfinados se representaron con línea continua y la del único acuífero libre con línea discontinua.

Las isolíneas de cota hidráulica más elevadas se encuentran en el noreste de la provincia (65-60 m IGN). Las isolíneas de menor cota hidráulica se encuentran: al oeste, lindantes con el río Paraná, entre la localidad de La Paz hasta Paraná (5-10–15 m IGN); al este, lindando con el río Uruguay, desde el sur Concordia hasta Gualeguaychú (5-10-15 m IGN); y al sur, paralela al predelta y Delta la isolínea de cota hidráulica 10 m IGN.

En la Red de flujo, se trazaron las divisorias de aguas subterráneas, más sobresalientes. Existen divisorias menores que no han sido señaladas a los fines de que se visualice mejor la descarga a nivel regional. Estas divisorias de aguas subterráneas, más sobresalientes, coinciden en general con las divisorias de las grandes cuencas hidrográficas de Entre Ríos.

El escurrimiento subterráneo, se realiza en tres sentidos: norte-sur, este-oeste y oeste-este; siendo el predelta, el Delta, el río Paraná, el río Uruguay y el río Mocoretá, las principales vías de descarga En el interior de la provincia, se destacan como descarga subterránea, los ríos Gualeguay, Gualeguaychú y algunos de sus tributarios; como así también los arroyos Feliciano y Nogoyá, y sus afluentes más caudalosos.

La recarga de los Acuíferos semiconfinados, Paraná, Ituzaingó y Salto Chico se realiza in situ, a través del acuitardo superpuesto (compuesto por la Formación Hernandarias, como la más sobresaliente).

La recarga del Acuífero El Palmar, acuífero libre, es directa.

Para toda la región investigada, se visualiza una fuerte influencia de las geoformas y la geología de la región, en la definición del sistema subterráneo. Es esto, lo que determina que las redes de flujo superficial y subterráneo, tengan un comportamiento similar.

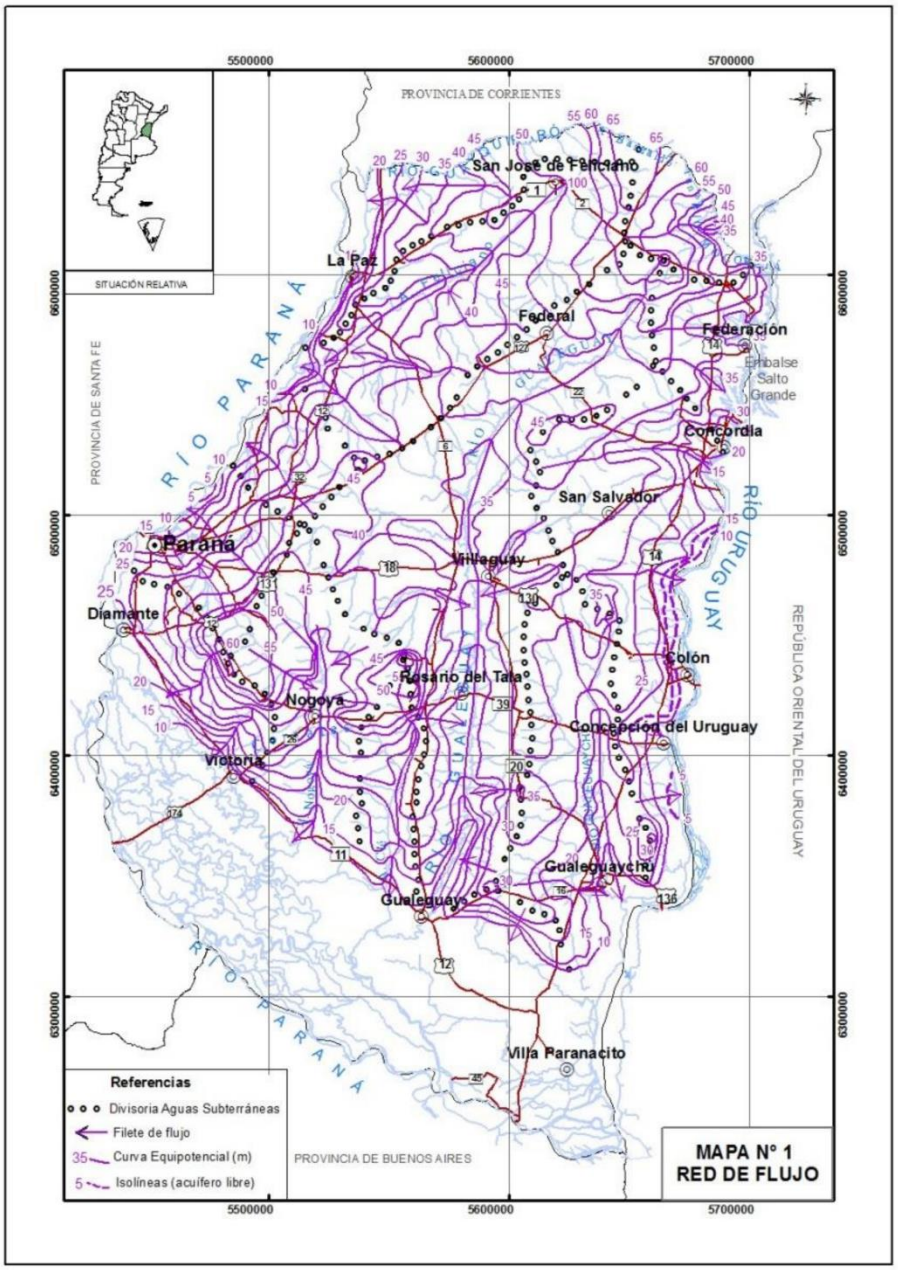


Figura 10. Red de flujo subterráneo. Entre Ríos (Santi *et al*., 2011, 2013).

Comparación de redes de flujo. Noreste de Entre Ríos

Durante los años 1980 a 1982 se realizó un relevamiento hidrogeológico en el noreste provincial. El objetivo del estudio era determinar la influencia del embalse de Salto Grande sobre las aguas subterráneas y viceversa (Santi, 1982).

La escala de censo utilizada fue de un (1) pozo cada 16 km² y la escala de mapeo de 1:100.000. La red se confeccionó con una equidistancia de 5 m entre curvas aplicando igual metodología que la empleada para confeccionar la red de flujo provincial.

En la **Figura 11** se representa la **Red de flujo noreste de Entre Ríos - 1982.** Observamos, que la curva equipotencial de 70 m IGN se encuentra próxima a las rutas nacional Nº 127 y provincial Nº 2, siendo la más elevada del sector. La equipotencial de 15 m IGN, la más baja, se encuentra al sur bordeando el río Uruguay (al N del Aº Yeruá hasta el Aº El Palmar).

La descarga subterránea se produce hacia el río Mocoretá, al embalse de Salto Grande y al río Uruguay.

Durante el año 2010, se realizó un relevamiento hidrogeológico en el nor-noreste provincial, con el objetivo de levantar información hidrogeológica en las zonas donde predominan las plantaciones de citrus y arándanos. El relevamiento se mapeó para una escala de representación de 1:100.000. La red de flujo de la **Figura 12** (en color celeste), se confeccionó con una equidistancia de 5 m entre curvas aplicando igual metodología que la empleada para la confección de la red de flujo provincial. La curva equipotencial más elevada, de 65 m IGN se encuentra próxima a las rutas a las rutas nacional Nº 127 y provincial Nº 2, la equipotencial de 10 m IGN, la más baja, se encuentra bordeando el río Uruguay desde la desembocadura del Aº Rabón hacia el sur.

A los fines de realizar una comparación entre las redes, se superpuso en la **Figura 12** la red de flujo 1982 (color lila). Observamos, que aun habiendo transcurrido más de 28 años, entre un relevamiento de campo y el otro, y el mapeo de ambas redes, las dos, muestran superficies piezométricas prácticamente similares. La alteración piezométrica máxima es de 5 metros (igual a la equidistancia que se utilizó, para la construcción de las redes).

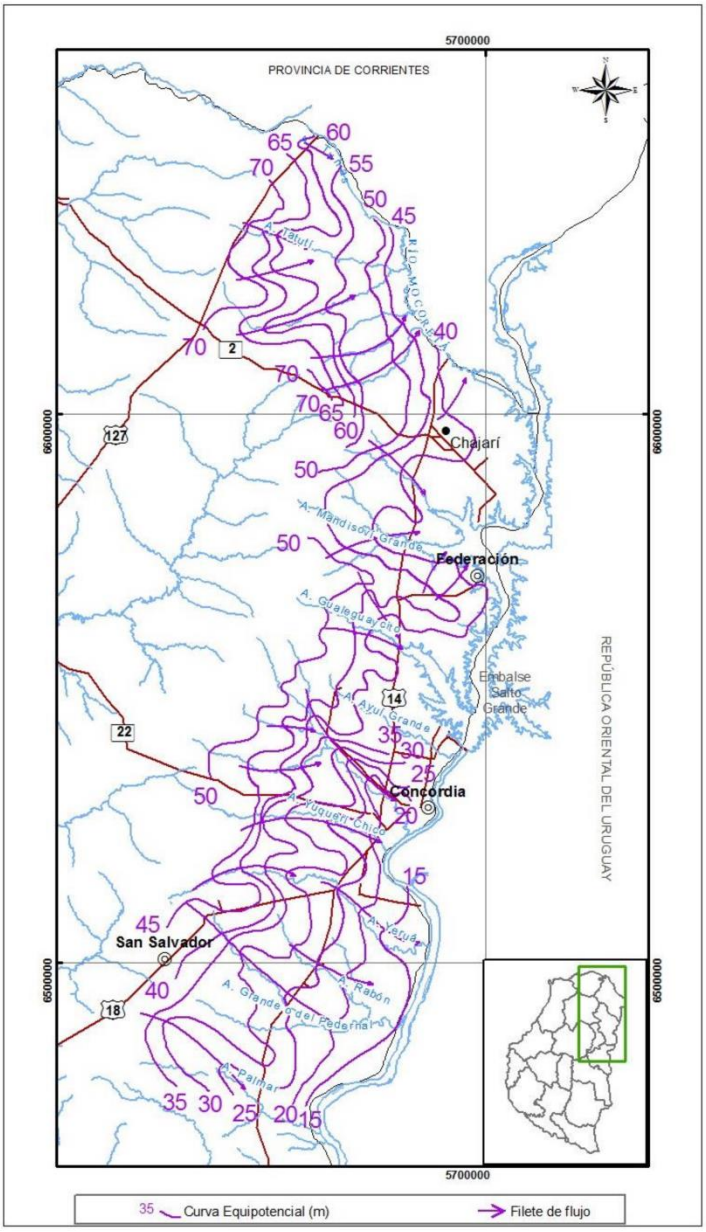


Figura 11. Red de flujo noreste de Entre Ríos – 1982 (Santi, 1982).

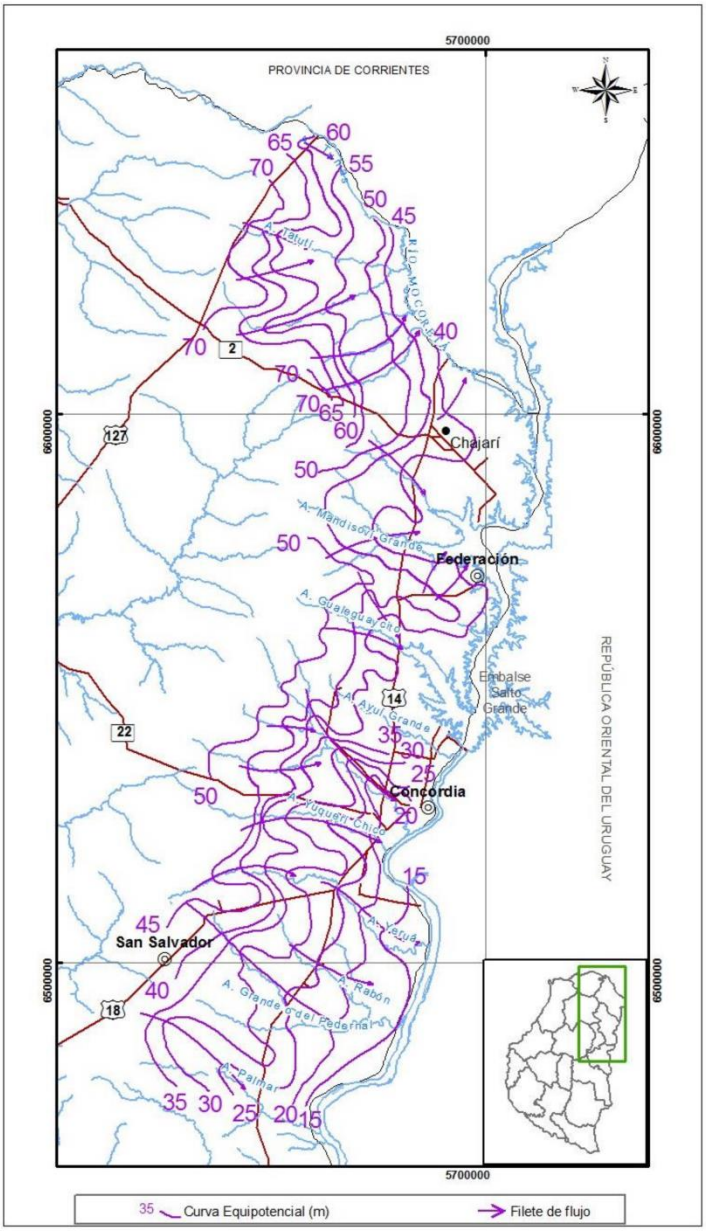


Figura 11. Red de flujo noreste de Entre Ríos – 1982 (Santi, 1982).

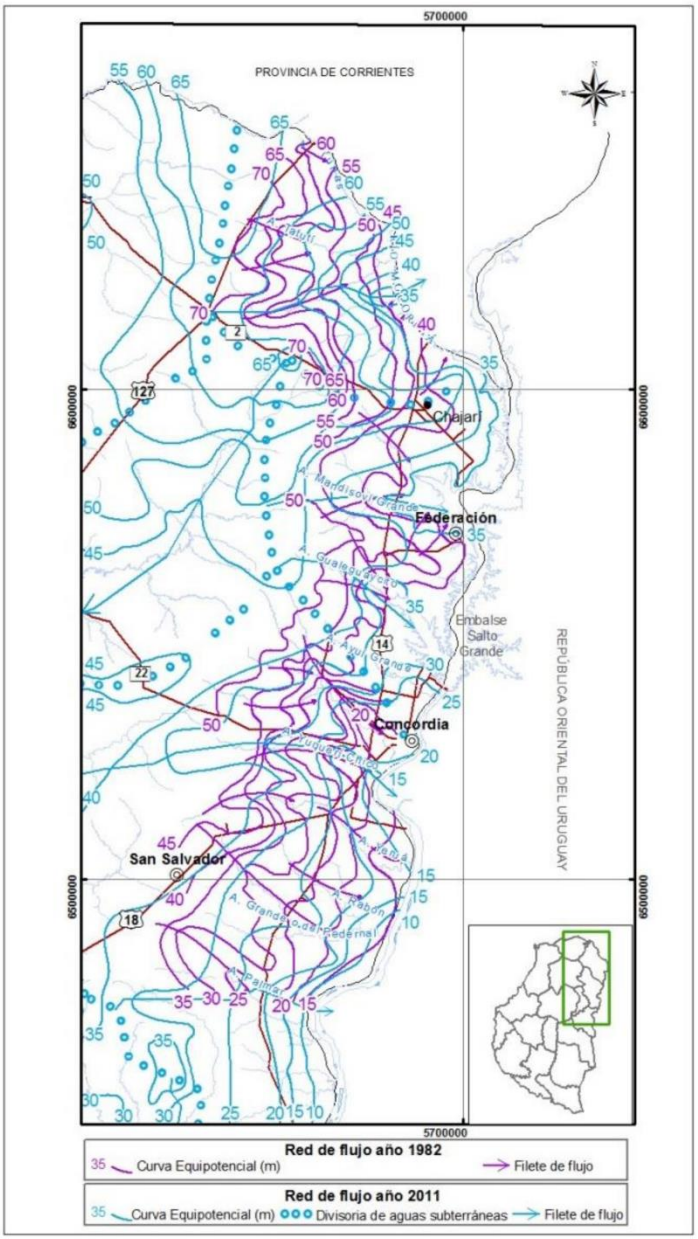


Figura 12. Comparación redes de flujo noreste de Entre Ríos.
(Santi, 1982, Santi *et al*, 2009, 2010, 2011).

Comparación redes de flujo en el centro-este (zona arrocera) de Entre Ríos.

Durante los años 2000/2001 se realizó el estudio "Disponibilidad de agua subterránea para la producción arrocera de la Provincia de Entre Ríos" (Auge *et al.*, 2002) Se construyeron dos redes de flujo, una con los datos de censo realizado en la época de riego **(Figura 13)** y otra con los datos tomados en la época sin

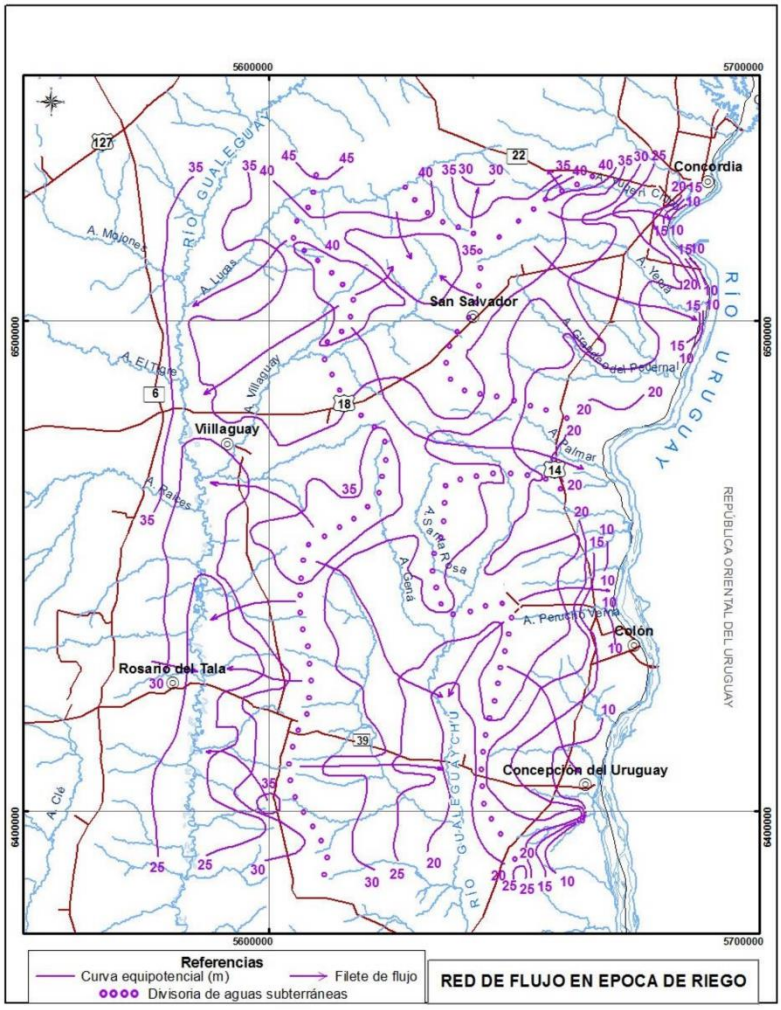


Figura 13. Red de flujo en época de riego. Zona arrocera. (Auge *et al.*,2002).

riego **(Figura 14)**. Esto permitió comparar la superficie piezométrica del área en las dos condiciones y solamente para los años mencionados.

La red de flujo en época de riego **(Figura 13)** se confeccionó con la información de pozos censados durante los meses de enero y febrero del año 2000. La red flujo en época sin riego **(Figura 14)**, se confeccionó con los registros del nivel piezométrico de pozos recensados durante los meses de agosto y septiembre del año 2000, es decir, habiendo transcurrido cinco meses de recuperación del acuífero.

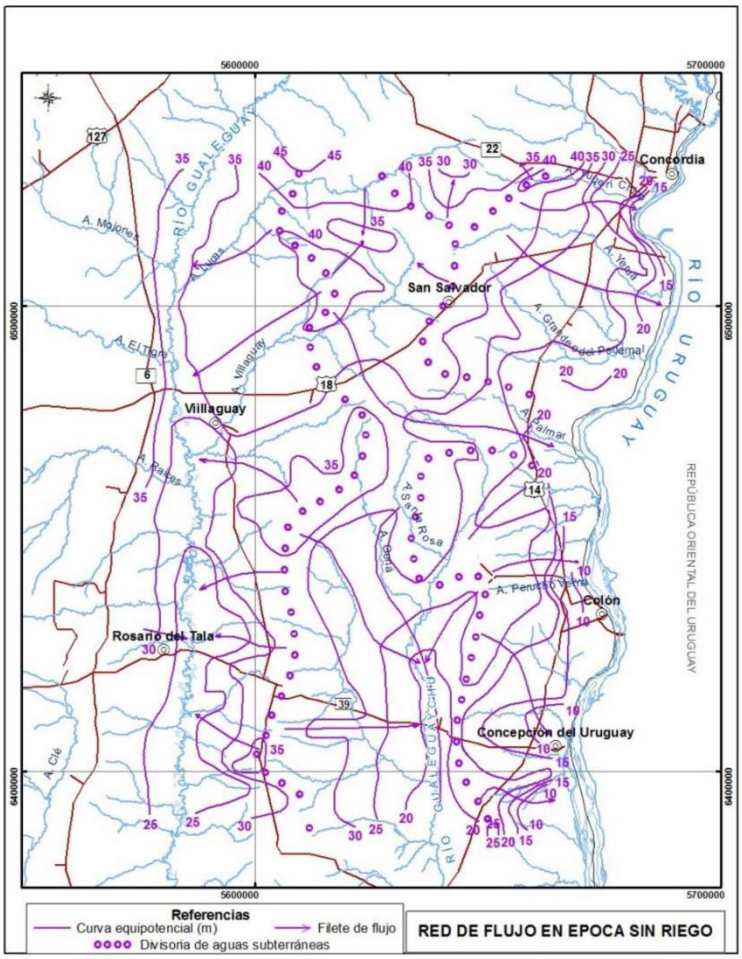


Figura 14. Red de flujo en época sin riego. Zona arrocera. (Auge *et al.*, 2002).

La forma de la superficie piezométrica en ambas redes es similar. Se observan mínimas diferencias como la depresión cerrada limitada por la isopieza de 35 m que en el mapa sin riego ocupa una extensión bastante menor que la registrada en el mapa con riego.

En la **Figura 15** se muestran las variaciones del nivel piezométrico correspondientes a los registros con y sin riego. Los valores positivos indican ascenso en la condición sin riego respecto a la de riego y los negativos descenso. La semejanza mencionada apunta a alteraciones piezométricas menores a los 5 m empleados para la equidistancia.

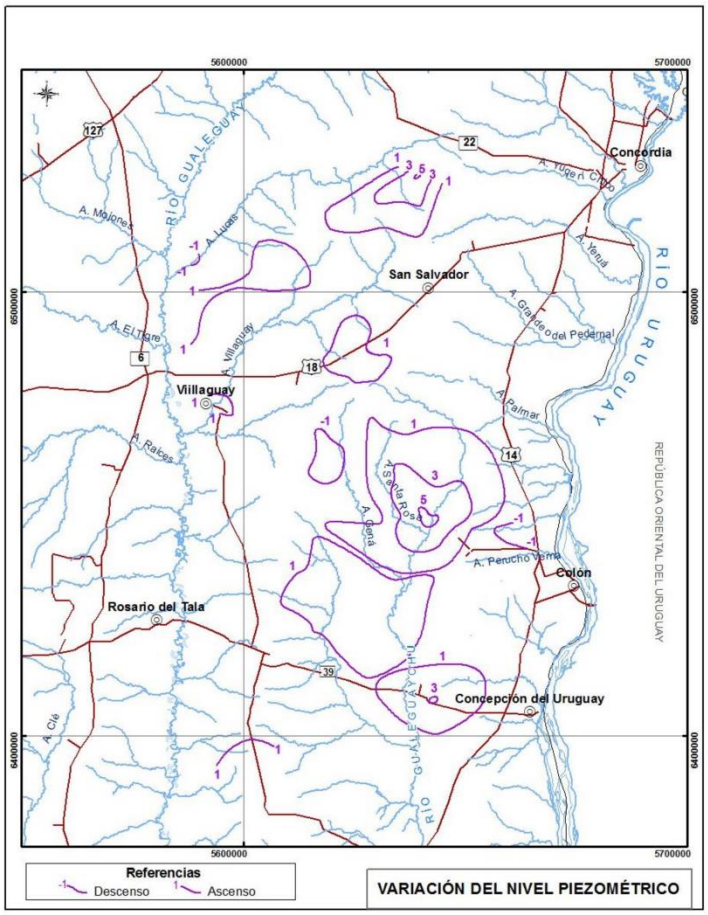


Figura 15. Variaciones del nivel piezométrico. Zona arrocera (Auge *et al*., 2002).

Es importante señalar que las variaciones piezométricas registradas en el Acuífero Salto Chico, derivan de cambios en el volumen de agua almacenada, sólo en aquellos lugares donde la superficie hidráulica se ubica dentro del acuífero que por ello, se transforma en libre. En los sitios donde la superficie piezométrica se emplaza por encima del techo del acuífero y por lo tanto este se mantiene totalmente saturado, las oscilaciones de nivel derivan de modificaciones en la presión hidráulica (Auge *et al*.,2002).

HIDROQUIMICA

En esta sección se describen los resultados obtenidos del análisis y procesamiento de muestras de agua, cuya información fue relevada para una escala de mapeo de 1:200.000.

Determinaciones de campo.

Durante el muestreo, in situ, se midieron pH, temperatura y conductividad eléctrica.

Determinaciones de laboratorio

Las determinaciones físico químicas de laboratorio fueron: pH, conductividad, residuo seco, alcalinidad total y dureza total. Se cuantificaron los aniones básicos que componen el agua subterránea: carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos; y los cationes básicos: calcio, magnesio, sodio y potasio.

Determinaciones	Método	Desviación estándar
pH	SM 4.500	0,3 unidades de pH
Residuo seco a 105 ºC	SM 2.540	5%
Dureza total, calcio y magnesio	SM 3.500	9,2%
Alcal. total, carb. y bicarbonatos	SM 2.320	0,1 a 0,4%
Nitratos y nitritos	SM 4.500	4%
Cloruros	SM 4.500	4,2%
Sulfatos	SM 4.500	0,13 ppm
Sodio y Potasio	Elect. Selectivo de iones	5 %
Hierro	Volum - Colorim	5%
Arsénico	SM 3.500	10%
Fluoruros	SM 4.500	Método del SFADNS: 8% Método del electrodo selectivo: 3,6%
Boro	SM 4.500 BC	Mínimo detectable 2 ug/l. Error 0.6%

Tabla 2. Determinaciones de laboratorio. Método y desviación estándar.

Se cuantificó hierro, arsénico y flúor en los pozos que proveen agua a comunidades (municipios, juntas de gobierno, cooperativas de agua y escuelas) y boro en algunos pozos que se utilizan con fines de riego.

En la **Tabla 2** se indica el método utilizado y la desviación estándar para cada una de las determinaciones.

Los máximos, promedios y mínimos para las determinaciones realizadas, pueden observarse en la **Tablas 3, 4 y 5.**

	pH	Cond. Elect. *u*mho/cm	Res. seco a 105 ºC	Dureza $CaCO_3$
Máximo	10.1	7.488	5.200	1.460
Promedio	7.5	1.131	788	215
Mínimo	5.5	88	66	10

Tabla 3. Conductividad eléctrica, residuo seco y dureza. Máximo, promedio y mínimo

	$CO_3^{=}$ mg/l	$CO_3^{=}$ meq/l	HCO_3^{-} mg/l	HCO_3^{-} meq/l	$SO_4^{=}$ mg/l	$SO_4^{=}$ meq/l	Cl^{-} mg/l	Cl^{-} meq/l	NO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} meq/l
Máximo	51	1.7	1.128	18.49	1.908	39.75	1.598	45.01	250	4.03
Promedio	2	0.07	434	7.11	142	2.96	83	2.34	14	0.23
Mínimo	0	0.00	26	0.43	3	0.06	3	0.08	0	0.00

Tabla 4. Aniones. Máximo, promedio y mínimo.

	Ca^{++} mg/l	Ca^{++} meq/l	Mg^{++} mg/l	Mg^{++} meq/l	Na^{+} mg/l	Na^{+} meq/l	K^{+} mg/l	K^{+} meq/l
Máximo	454	22.65	135	11.10	1.240	54	20	0.51
Promedio	59	2.94	16	1.36	189	8.22	4	0.10
Mínimo	3	0.15	1	0.08	1	0.04	0	0.00

Tabla 5. Cationes. Máximo, promedio y mínimo.

En la **Tabla 6** se muestran los máximos y mínimos para las determinaciones de hierro, arsénico, flúor y boro.

	Fe mg/l	As mg/l	F mg/l	B mg/l
Mínimo	<0,008	< 0.005	< 0.10	0
Máximo	1.60	0.20	2.20	5.60

Tabla 6. Hierro, arsénico, flúor y boro. Máximo y mínimo.

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad de un agua es la aptitud de esta para transmitir la corriente eléctrica (conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de 1 cm^2 y separados el uno del otro 1 cm. La conductividad depende de la actividad, del tipo de iones disueltos y de la temperatura a la que se la mide. Su utilidad es que es un rápido indicador de la salinidad. Se midió en boca de pozo mediante un conductivímetro portátil y posteriormente en laboratorio.

En la **Tabla 3** se indican los valores de CE de las muestras analizadas, con extremos de 88 y 7.488 *u*mho/cm y un promedio de 1.131 *u*mho/cm.

Residuo seco - MAPA Nº 2

El residuo seco es el peso material que resulta de evaporar 1 (un) litro de agua a 105º C. Puede establecerse una relación lineal entre conductividad y residuo seco.

En la **Tabla 3** se indican los valores de residuo de las muestras analizadas, con extremos de 66 y 5.200 mg/l y un promedio de 788 mg/l.

El Código Alimentario Argentino da 1.500 mg/l como límite para agua de bebida.

Confeccionado el **MAPA Nº 2 - RESIDUO SECO (Figura 16)**, se trazaron isolíneas con una equidistancia de 500 mg/l.

Las áreas comprometidas **(Figura 17. Detalle residuo seco)** con valores superiores a los 1.500 mg/l, se encuentran en el sector oeste de la provincia desde el límite con Corrientes hasta la localidad de Lucas González. Es una franja discontinua, de rumbo noreste-sudoeste, de ancho variable (entre 1,5 y 50 Km. aproximadamente) que hacia el sur se desarrolla prácticamente paralela a la margen derecha del río Gualeguay. Algunos lugares afectados son San Víctor, Banderas, Yeso, Conscripto Bernardi, Sauce de Luna (una perforación), Bovril (una perforación), Alcaraz, Las Tunas, Sección Urquiza, Crucesita VIII, La Aldea, Maciá y Lucas González, entre otros. Fuera de esta franja, un sector con valores puntuales mayores a 1.500 mg/l se registra en la localidad de Piedras Blancas.

Al noreste, y próximo al río Mocoretá se encontraron dos valores puntuales **(Figura 16).**

Los acuíferos más comprometidos son, en primer lugar, el Acuífero Ituzaingó y en segundo lugar, el Acuífero Paraná.

El contraste, con los elevados valores mencionados, son los que no superan los 1.000 mg/l en la concentración del residuo, y que se dan prácticamente en todo el este provincial (Acuíferos Salto Chico y El Palmar); y en parte del sector suroeste.

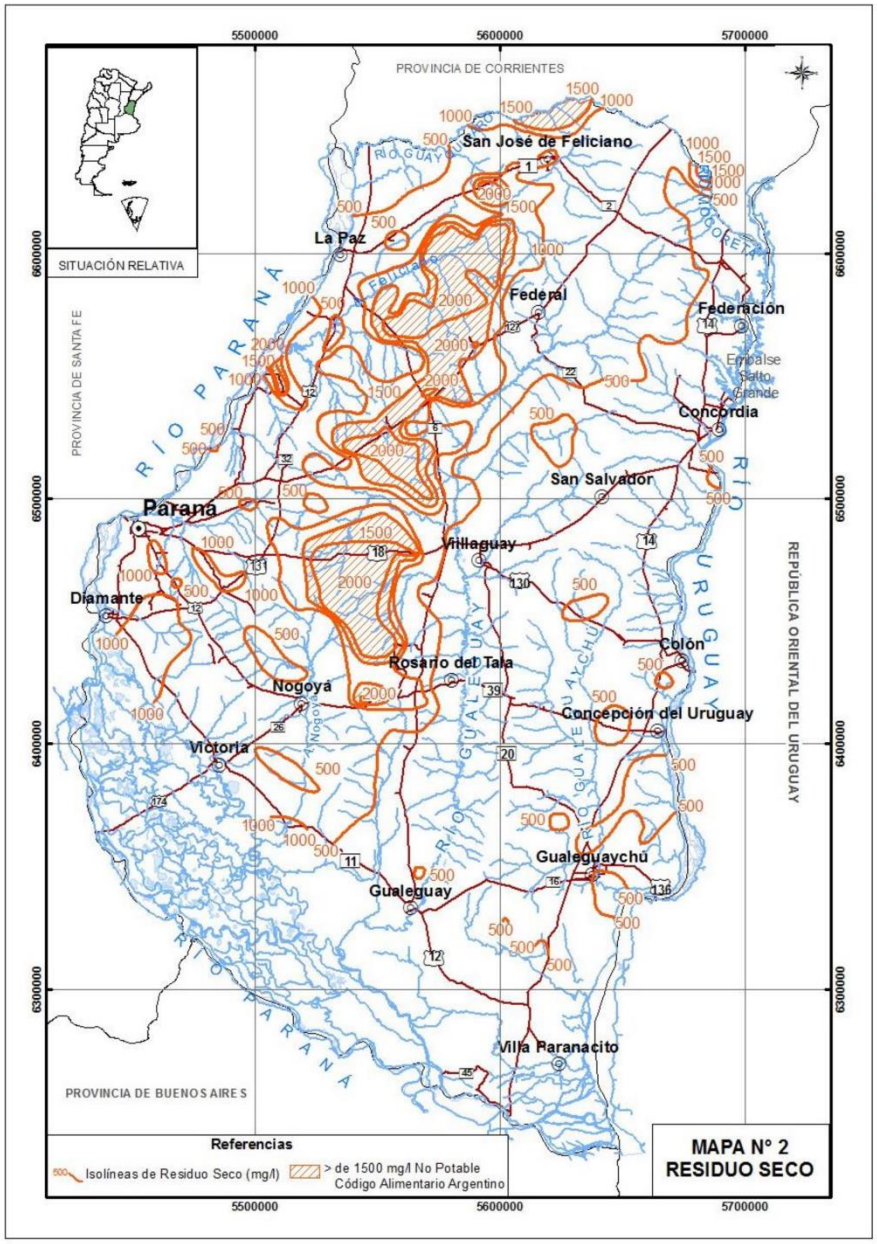


Figura 16. Residuo seco (Santi *et al.* 2011).

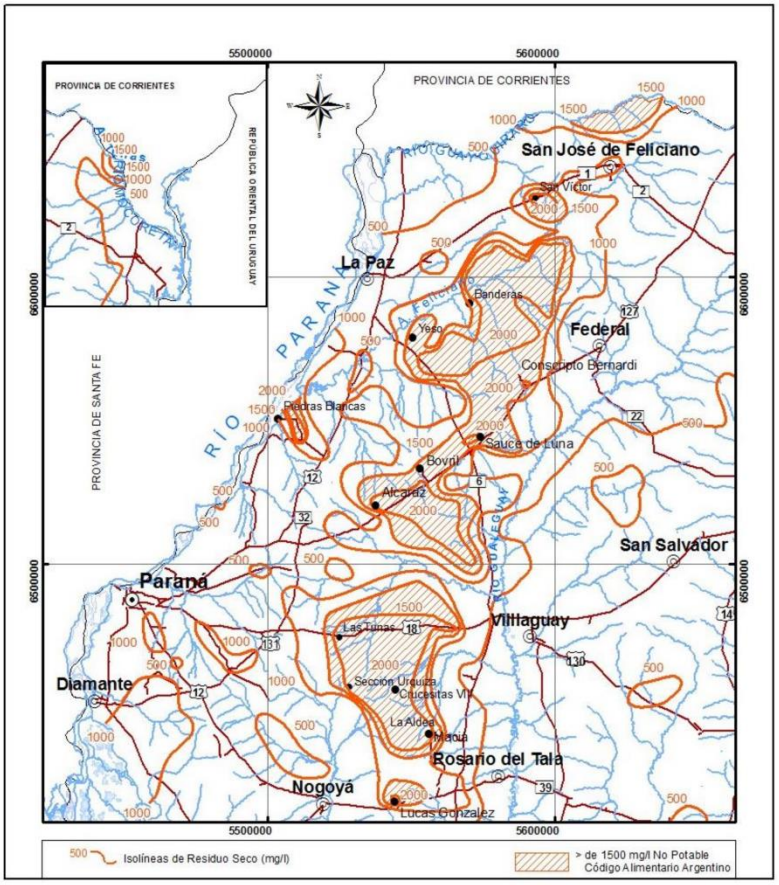


Figura 17. Detalle residuo seco (Santi *et al.* 2011).

Dureza – MAPA Nº 3

La dureza mide la capacidad de un agua para consumir jabón o producir incrustaciones por precipitados, especialmente cuando el agua es calentada.

La dureza proviene del calcio y el magnesio; incluye el efecto hierro y estroncio que es pequeño en general comparado con los dos anteriores (Custodio, 1983).

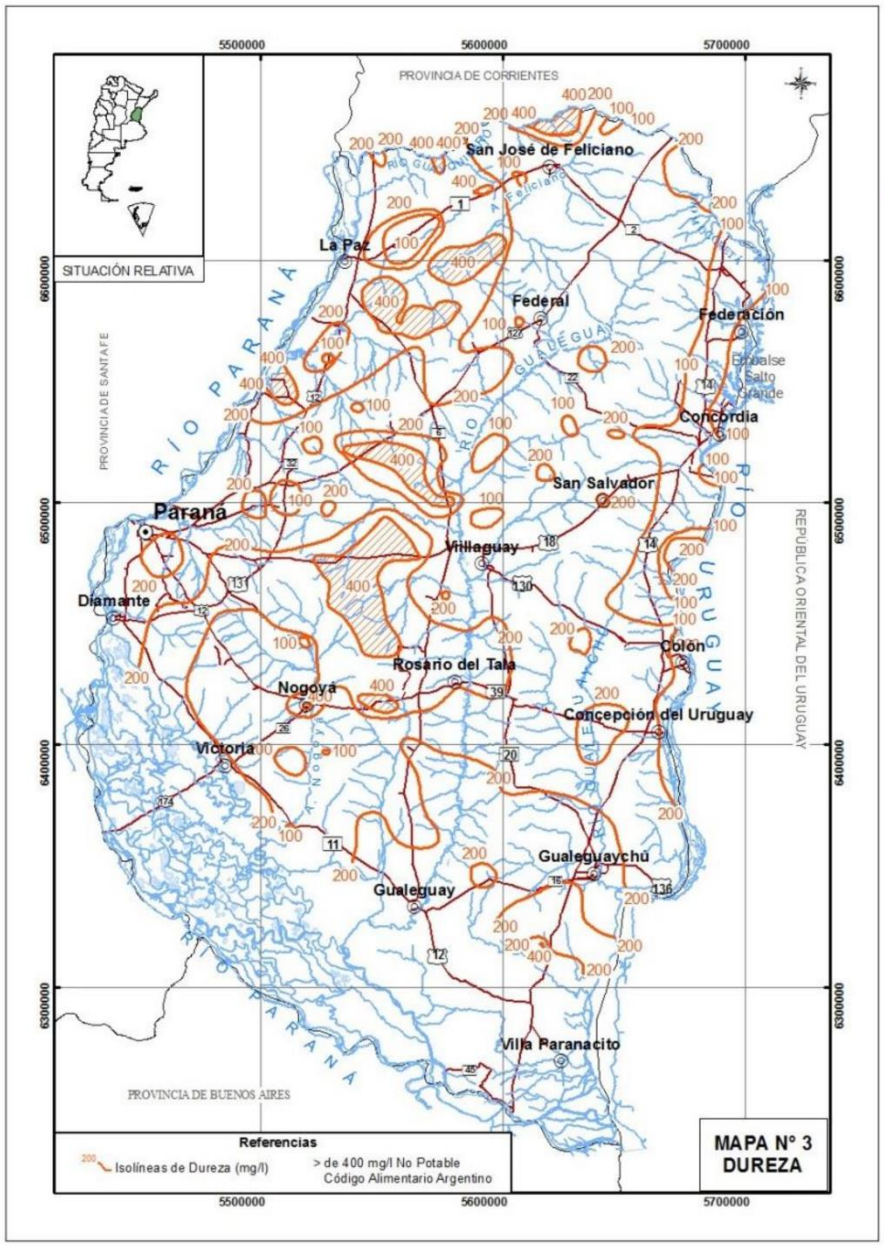


Figura 18. Dureza (Santi *et al.* 2011).

En la **Tabla 3** se indican los valores de dureza, expresada como $CaCO_3$: máximo 1.460 mg/l, mínimo 10 mg/l, promedio 215 mg/l.

El Código Alimentario Argentino establece un valor tolerable de 400 mg/l para la dureza total como $CaCO_3$.

En el **MAPA Nº 3 - DUREZA (Figura 18)** se representan las isolíneas de 100, 200 y 400 mg /l.

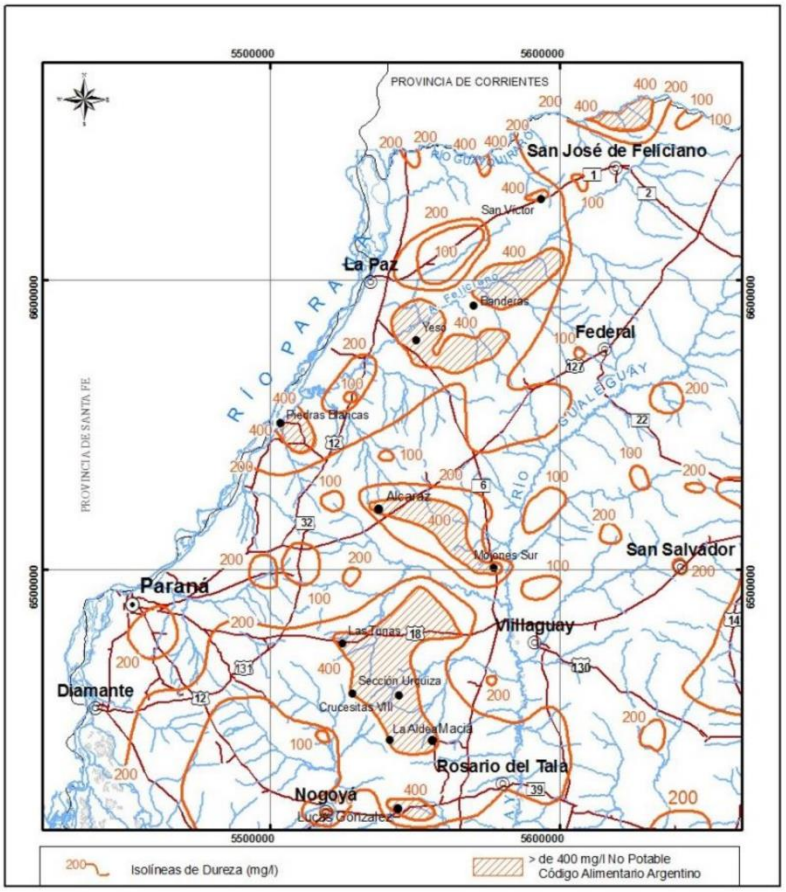


Figura 19. Detalle dureza (Santi *et al.* 2011).

Valores superiores al tolerable **(Figura 19. Detalle dureza)**, geográficamente se encuentran de norte a sur: en las proximidades del río

Guayquiraró (dos sectores puntuales), en la localidad de San Víctor (puntual), próximos al arroyo Feliciano (2 sectores: Bandera y Yeso), en la localidad de Piedras Blancas (puntual); en el centro oeste entre Mojones Sur y la localidad de Alcaraz, inclusive; en una amplia zona en el centro oeste en Las Tunas, Sección Urquiza, Crucecita VIII, La Aldea y la localidad de Maciá. Por último, puntualmente se ve afectada la localidad de Lucas González.

Acuífero Ituzaingó es el más comprometido dentro de los valores extralimites de dureza y en menor medida Acuífero Paraná.

En el resto de la provincia los valores se presentan por debajo de 400 mg/l, predominando las isolíneas de 200 mg/l.

Bicarbonatos (HCO_3^-) - MAPA Nº 4

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos. Los HCO_3^- y los $CO_3^=$ son iones que comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al crear una solución tapón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales. Se pueden precipitar con mucha facilidad como $CaCO_3$.

Existe una profunda relación entre el CO_2 gas, CO_2 disuelto, HCO_3^-, $CO_3^=$ y el pH. El ión $CO_3^=$ es menos frecuente en las aguas naturales, porque sólo puede mantenerse soluble cuando el pH es mayor de 8,3 (Custodio, 1983). Si bien en el ámbito estudiado, se han encontrado algunas muestras que contienen $CO_3^=$ son mínimas, por lo cual puede afirmarse que la alcalinidad en el territorio provincial se debe a los HCO_3^-.Esta presencia, es un indicador de recarga por infiltración. Los extremos registrados para HCO_3^- son 1.128 mg/l como máximo, 26 mg/l mínimo y un promedio de 434 mg/l **(Tabla 4).**

En el **MAPA Nº 4 – BICARBONATOS (Figura 20)** se trazaron curvas con una equidistancia de 200 mg/l, resultando de 200 mg/l, 400 mg/l y 600 mg/l. Predominan prácticamente las curvas de 400 mg/l. Curvas de 600 mg/l se encuentran en el centro norte de la provincia, mientras que las de 200 mg/l en su mayoría se presentan próximas al río Uruguay.

El límite en el Código Alimentario Argentino para la alcalinidad, es de 800 mg/l, lo que corresponde a 976 mg/l de HCO_3^-. Solo se registraron dos valores puntuales que superan este valor, en la desembocadura del arroyo Nogoyá.

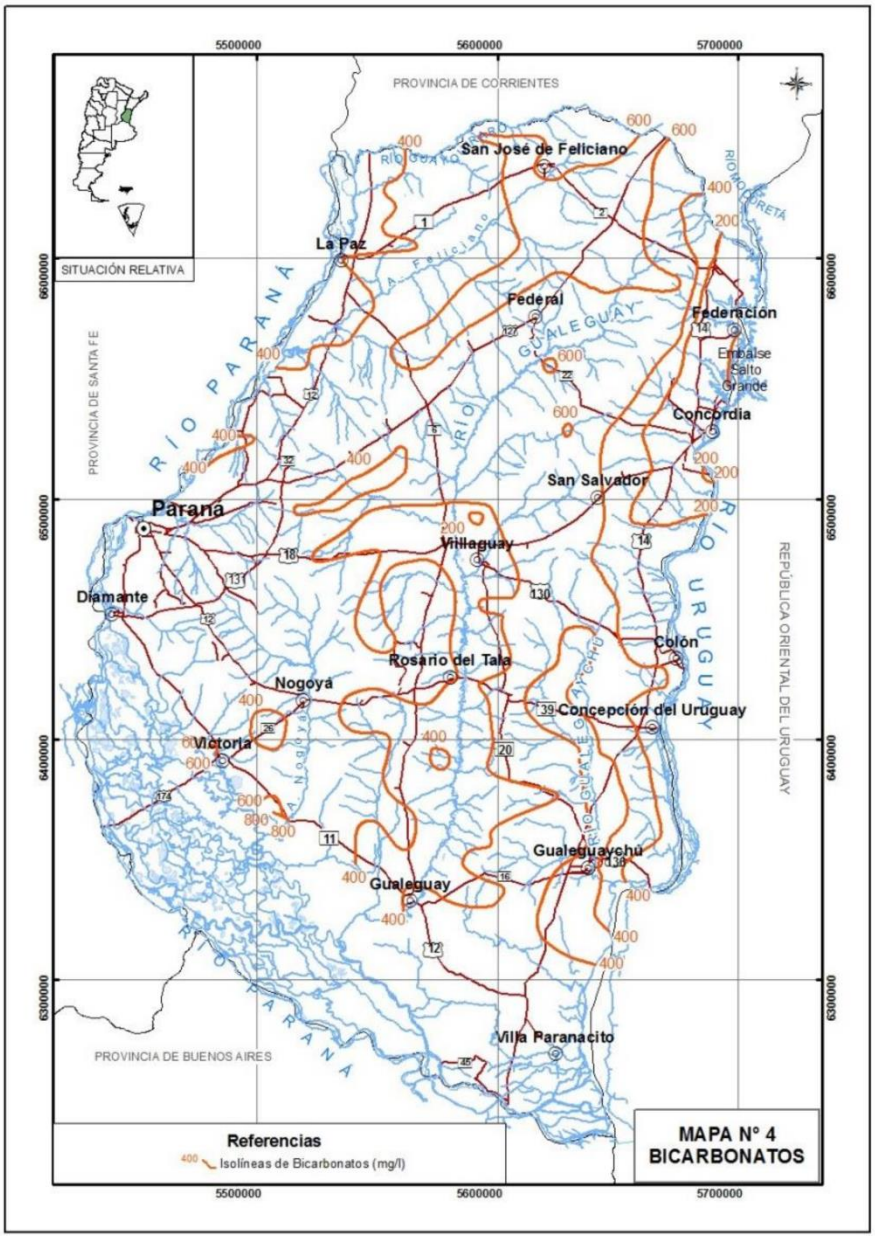


Figura 20. Bicarbonatos (Santi *et al.* 2011).

Sulfatos ($SO_4^{=}$) – MAPA Nº 5

Normalmente los sulfatos ($SO_4^{=}$) derivan de la disolución del yeso y la anhidrita, de la oxidación de los sulfuros, de la lluvia, de sedimentos de origen marino y de actividades urbanas, agrícolas e industriales (Hem, 1959).

Junto con los HCO_3^- y los Cl^-, son los aniones más comunes del agua subterránea. Los cationes más afines con el $SO_4^{=}$ son el Ca^{++} y el Mg^{++}, aunque el $MgSO_4$ posee un índice de solubilidad significativamente mayor que el $CaSO_4$.

En la **Tabla 4** se indican los contenidos: máximo 1.908 mg/l, 3 mg/l el mínimo y 142 mg/l el promedio.

En el **MAPA Nº 5 - SULFATOS (Figura 21)** se realizaron curvas de 100 mg/l, 200 mg/l y 400 mg/l. El límite de potabilidad para el Código Alimentario Argentino es de 400mg/l.

Concentraciones mayores a 400 mg/l, se desarrollan prácticamente en los mismos sectores mencionados para el residuo seco, en una franja discontinua que se extiende de norte a sur, desde el límite con la provincia de Corrientes hasta la localidad de Lucas González. Esta franja, ubicada al oeste de la margen derecha del río Gualeguay, de ancho variable hasta un máximo de 50 Km. afecta a San Víctor, Banderas, Yeso, Conscripto Bernardi, Sauce de Luna (una perforación), Alcaraz, Las Tunas, Sección Urquiza, Crucecita VIII, La Aldea, Maciá y Lucas González, entre otros. Fuera de esta franja, un sector con valores puntuales mayores a 1.500 mg/l se registra en la localidad de Piedras Blancas. **(Figura 22. Detalle sulfatos)**

Los acuíferos más comprometidos son, en primer lugar, el Acuífero Ituzaingó y en segundo lugar, Acuífero Paraná.

El contraste, con los elevados valores mencionados, son los que no superan los 100 mg/l en la concentración de sulfatos (áreas sin isolíneas) y que se dan prácticamente en todo el este de la provincia.

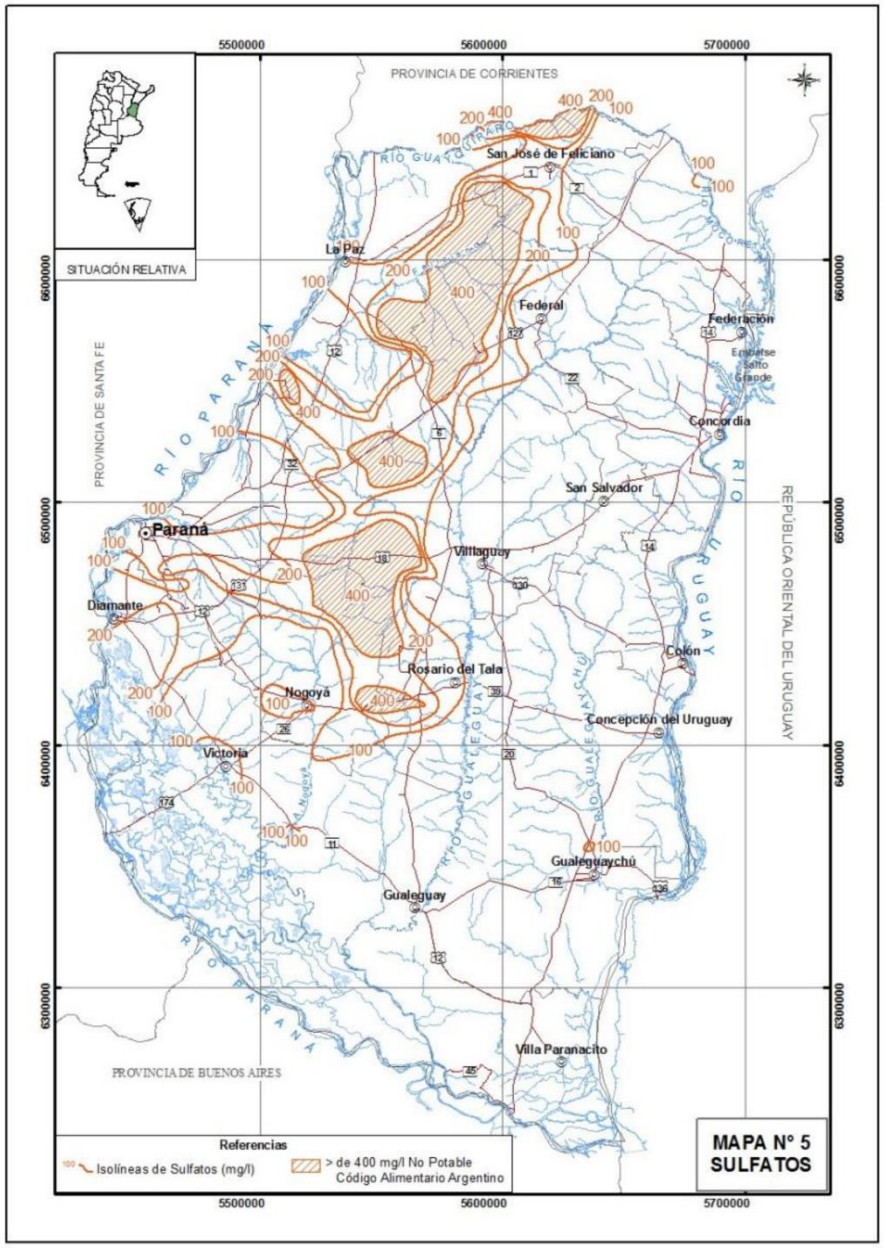


Figura 21. Sulfatos (Santi *et al.* 2011).

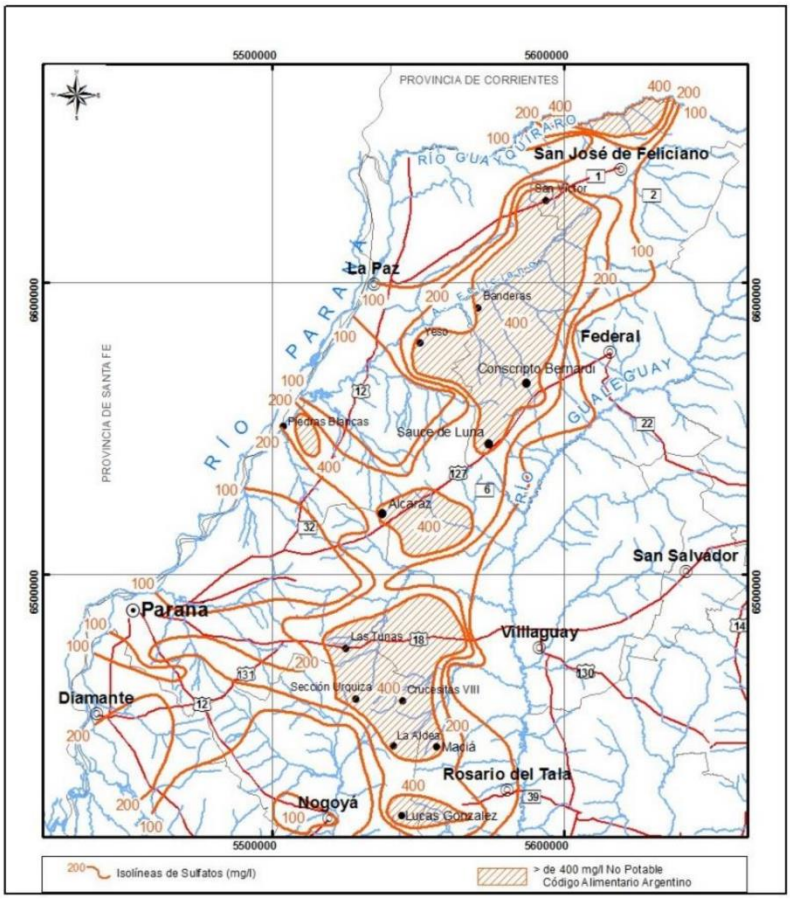


Figura 22. Detalle sulfatos (Santi *et al.* 2011).

Cloruros (Cl^-) - MAPA Nº 6

Muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni reduce en aguas naturales. En general va asociado al ión Na^+; en especial en aguas muy salinas (Custodio, 1983).

Son fuentes de aporte la lluvia, los sedimentos de origen marino y el agua congénita.

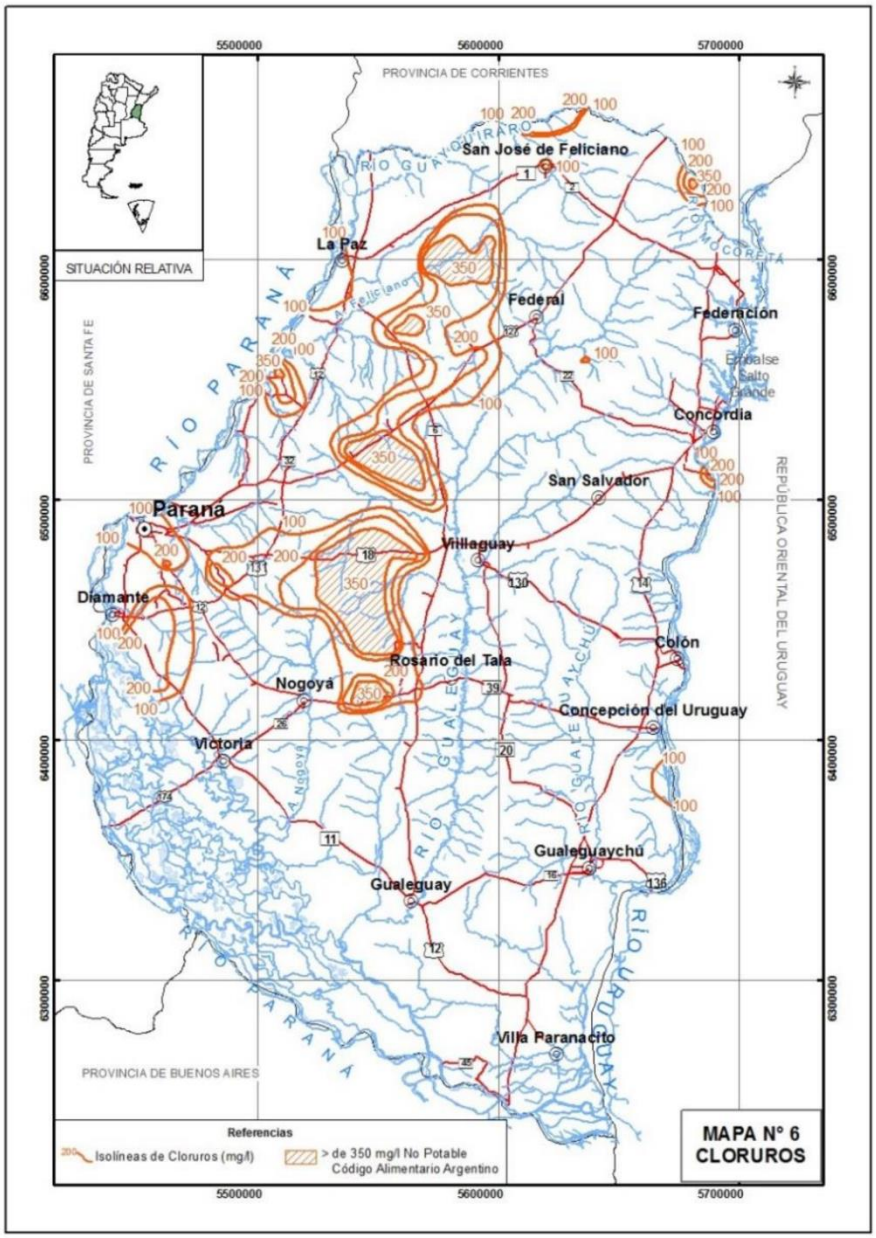


Figura 23. Cloruros (Santi *et al.* 2011).

En la **Tabla 4** se observan los valores de Cl^-: máximo 1.598 mg/l, mínimo 3 mg/l y promedio 83 mg/l. El límite de potabilidad respecto al Cl^- es de 350 mg/l (Código Alimentario Argentino).

En el ámbito provincial como puede observarse en el **MAPA Nº 6 - CLORUROS (Figura 23)** se trazaron curvas de 100 mg/l, 200 mg/l, y 350 mg/l.

Valores superiores al tolerable, se observan en el sector oeste de la provincia **(Figura 24. Detalle cloruros)**. De norte a sur, en las proximidades de Bandera y Yeso, en la localidad de Alcaraz y al sureste de esta hacia el río Gualeguay; en una amplia zona en el centro-oeste donde compromete las colonias de Las Tunas, Sección Urquiza, Crucecita VIII, La Aldea y la localidad Maciá, y por último, valores puntuales afectan las localidades de Lucas González, Piedras Blancas.

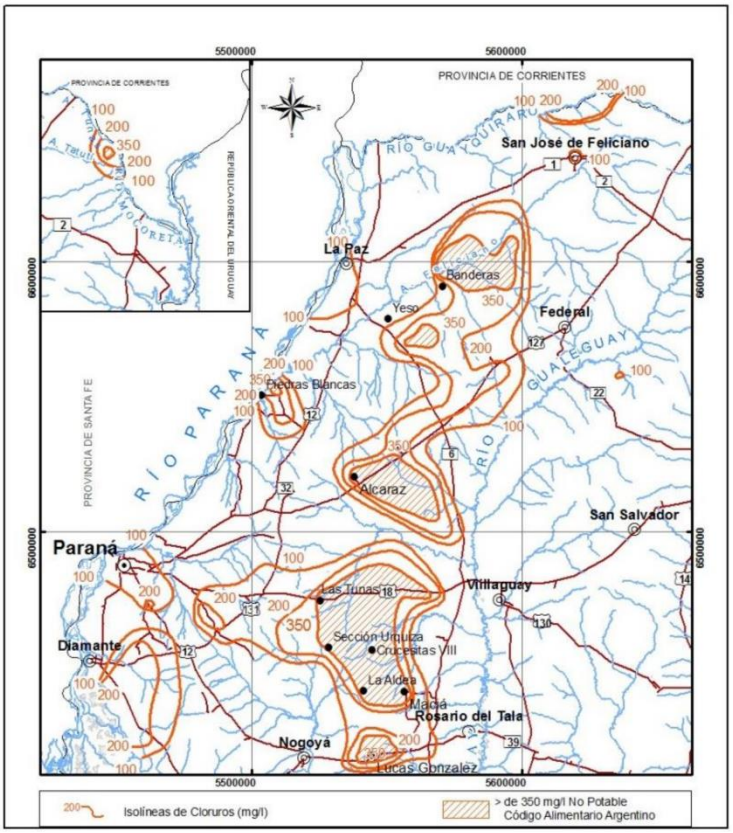


Figura 24. Detalle cloruros (Santi *et al.* 2011).

Los acuíferos más comprometidos son, en primer lugar, el Acuífero Ituzaingó y en segundo lugar, Acuífero Paraná.

En el resto de la provincia los valores se presentan muy por debajo de 50 mg/l.

Nitratos (NO_3^-) – MAPA Nº 7

Sales muy solubles y por lo tanto difícilmente precipitables. Aunque el nitrato (NO_3^-) tiene tendencia a ser estable, aun en medios reductores, puede pasar a nitrito (NO_2^-) o amoníaco (NH_3). La mayoría de los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en medio oxidante, aunque el NH_3 puede perderse en parte como NO_2^- (Custodio, 1983). Pueden proceder también de basurales, pozos negros, agroquímicos, corrales, tambos, bebederos, etc.

Considerando las muestras analizadas, en la **Tabla 4** se tiene: máximo 250 mg/l, mínimo 0 mg/l, promedio 14 mg/l.

El Código Alimentario Argentino exige como límite de potabilidad 45 mg/l.

En el **MAPA 7 – NITRATOS (Figura 25)** se muestra la variación del contenido a través de curvas de 20 y 45 mg/l.

Valores puntuales superiores a 45 mg/l de NO_3^- se han encontrado en pozos utilizados para la provisión de agua potable en las localidades de: Concordia (dos pozos), Federal (un pozo), Nogoyá (un pozo), Caseros (localidad ubicada 25 km al W de Concepción del Uruguay, un pozo) y Rincón del Doll (localidad ubicada entre Victoria y Gualeguay, 1 pozo). El resto de los valores que superan el límite de potabilidad, fue determinado en domicilios particulares ubicados en áreas rurales.

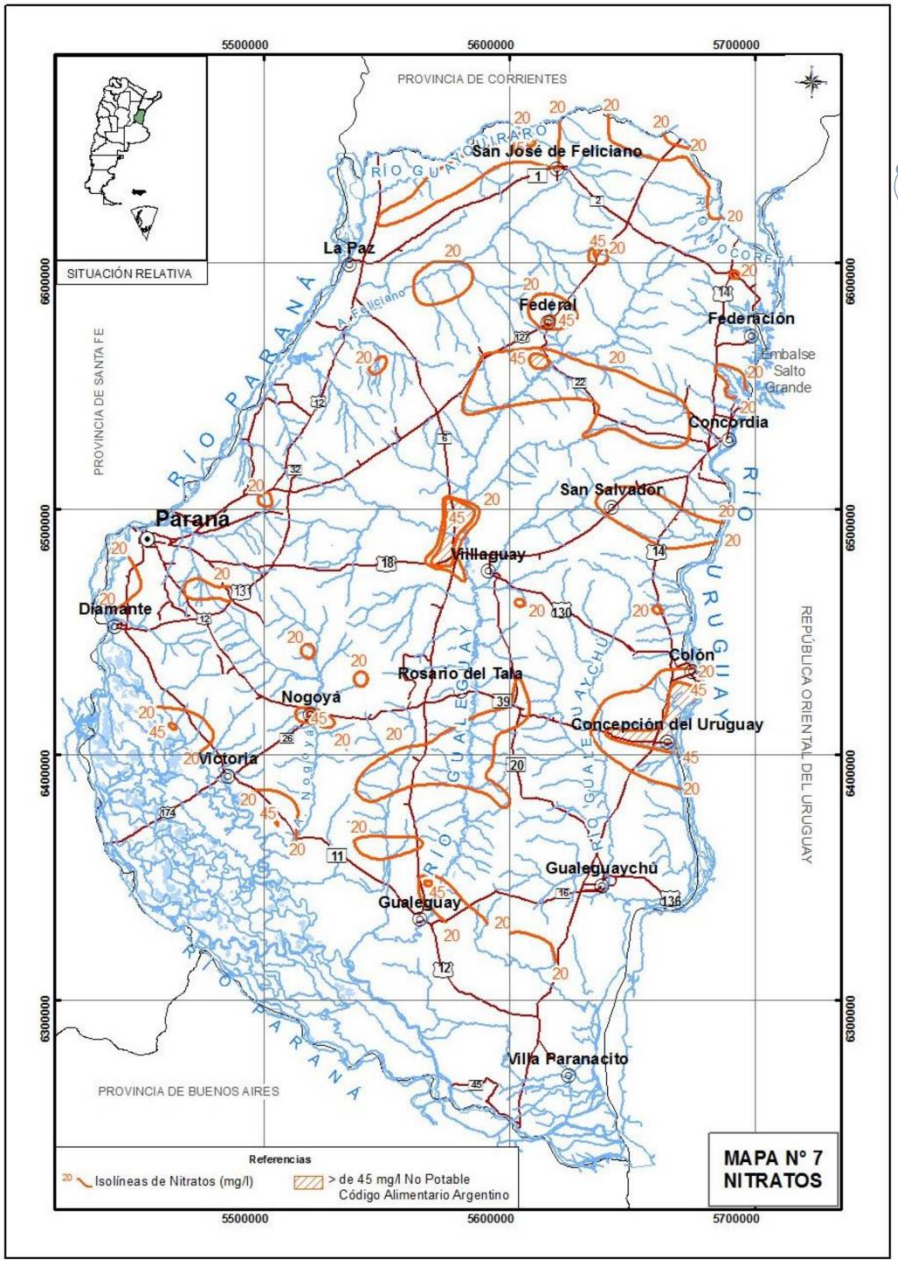


Figura 25. Nitratos (Santi *et al.* 2011).

Calcio (Ca^{++}) - MAPA Nº 8

Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos (calcita, aragonita y dolomita) o sulfatos (yeso y anhidrita).

Es muy fácil de precipitar como $CaCO_3$. Su química en muchas aguas naturales, va asociada a la de los iones HCO_3^- y $CO_3^=$, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de CO_2.

El intercambio iónico entre Ca^{++} y otros cationes (Na^+ fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad.

En **Tabla 5** se indica el máximo registrado (454 mg/l), el mínimo (3 mg/l), y el promedio (59 mg/l).

El Código Alimentario Argentino no especifica límite para este catión.

En el **MAPA Nº 8 - CALCIO (Figura 26)** se muestra la variación del contenido a través de curvas de 50, 100, 200 y 400 mg/l.

Las curvas predominantes son de 50 y 100 mg/l. Concentraciones algo más elevadas de este catión las encontramos en los acuíferos Ituzaingó y Paraná.

La única curva de 400 mg/l en el noroeste provincial entre las localidades de La Paz y Federal, se trata de un valor puntual, producto del lavado del yeso de la Formación Hernandarias y su infiltración al Acuífero Ituzaingó.

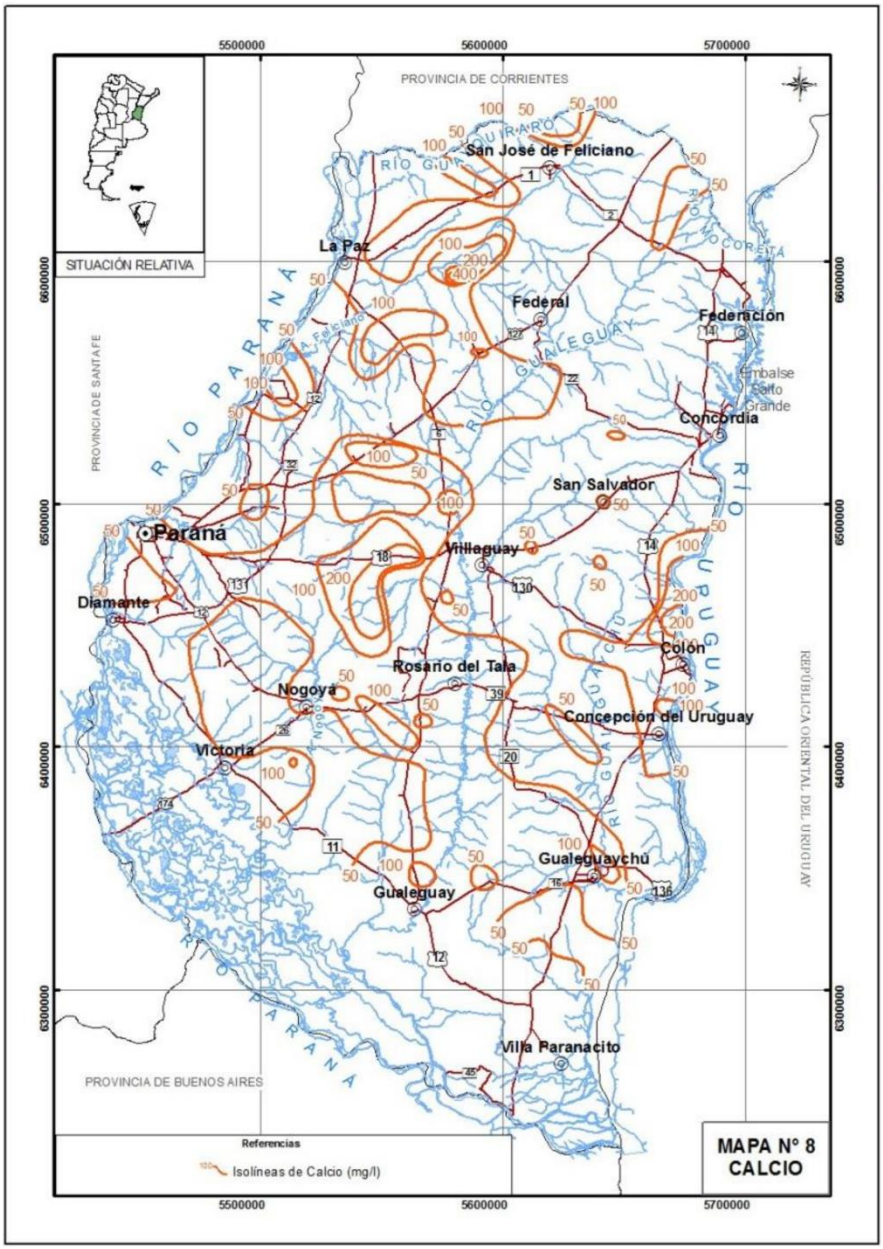


Figura 26. Calcio (Santi *et al.* 2011).

Magnesio (Mg^{++}) – MAPA Nº 9

Menos abundante que el calcio en aguas naturales. Procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina.

Posee propiedades similares a las del ion Ca^{++} aunque es más soluble y algo más difícil de precipitar (Custodio, 1983).

En la **Tabla 5** puede observarse una concentración máxima de 135 mg/l, un mínimo de 1 mg/l y un promedio de 16 mg/l para el catión Mg^{++}.

El Código Alimentario Argentino no especifica límite para este catión. En aguas naturales el contenido del ión magnesio no suele sobrepasar los 40 mg/l (Custodio, 1983).

En el **MAPA Nº 9 – MAGNESIO (Figura 27)** se muestra la variación del contenido a través de curvas de 20, 50 y 100 mg/l. Predominan las curvas de 20 mg/l.

Al igual que el ion Ca^{++} los sectores más mineralizados se encuentran en el Acuífero Ituzaingó y en segundo lugar en el Acuífero Paraná.

Las dos curvas de 100 mg/l ubicadas en el noroeste y centro- oeste, se trata de valores puntuales. El magnesio procede de la infiltración a través del lavado de las Formaciones Alvear (Iriondo, 1980) y Hernandarias, al Acuífero Ituzaingó.

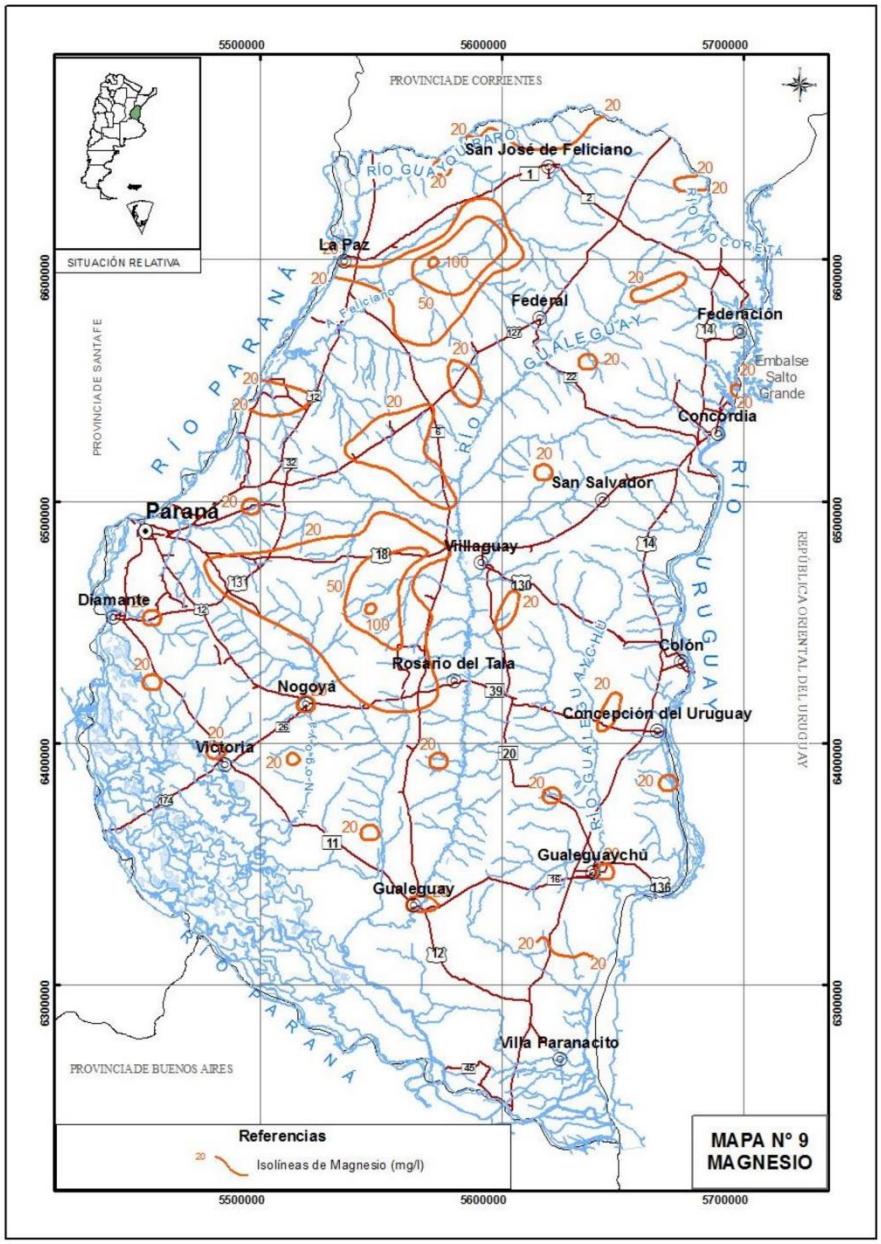


Figura 27. Magnesio (Santi *et al.* 2011).

Sodio (Na^+) - MAPA Nº 10

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl.

Las sales de sodio son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del calcio. Sin embargo, el sodio puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado con calcio provocando una disminución de la dureza en el agua.

Las aguas con concentraciones elevadas en Na^+ son perjudiciales para las plantas al reducir la permeabilidad del suelo (Custodio, 1983).

En la **Tabla 5** se observa el contenido de Na^+ con un máximo de 1.240 mg/l, mínimo 1 mg/l y promedio 189 mg/l.

La presencia de sodio en aguas naturales es muy variable pudiendo alcanzar hasta 120.000 mg/l en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/l en aguas dulces normales (Custodio, 1983).

En el Código Alimentario Argentino, no se especifica un límite para este catión.

Respecto a la actividad fisiológica humana, la ingesta de agua con alta concentración de Na puede afectar la tensión arterial y la actividad renal. Pese a ello la gran mayoría de las normas de potabilidad no lo considera como limitante, probablemente porque su determinación analítica recién se precisó en la década del 50 con la utilización del fotómetro de llama. La única norma que se conoce sobre potabilidad respecto al sodio, es la canadiense que le fija un límite de 200 mg/l (8,7 meq/l) (Auge, el. al. 2002).

En el **MAPA Nº 10 – SODIO (Figura 28)** se realizaron curvas de 200 mg/l y 400 mg/l.

A modo de visualización (ya que no existe normativa limitante) se han sombreado los sectores con concentraciones mayores a 200 mg/l, los que coinciden con los extralimites de residuo seco **(Figura 16**), dureza **(Figura 18),** sulfatos **(Figura 21)** y cloruros **(Figura 23).**

Los acuíferos con altas concentraciones de sodio, son en primer lugar, el Acuífero Ituzaingó y en segundo lugar, el Acuífero Paraná.

El contraste con los elevados valores mencionados, son los que no superan los 200 mg/l en la concentración de sodio y que se dan prácticamente en todo el este de la provincia.

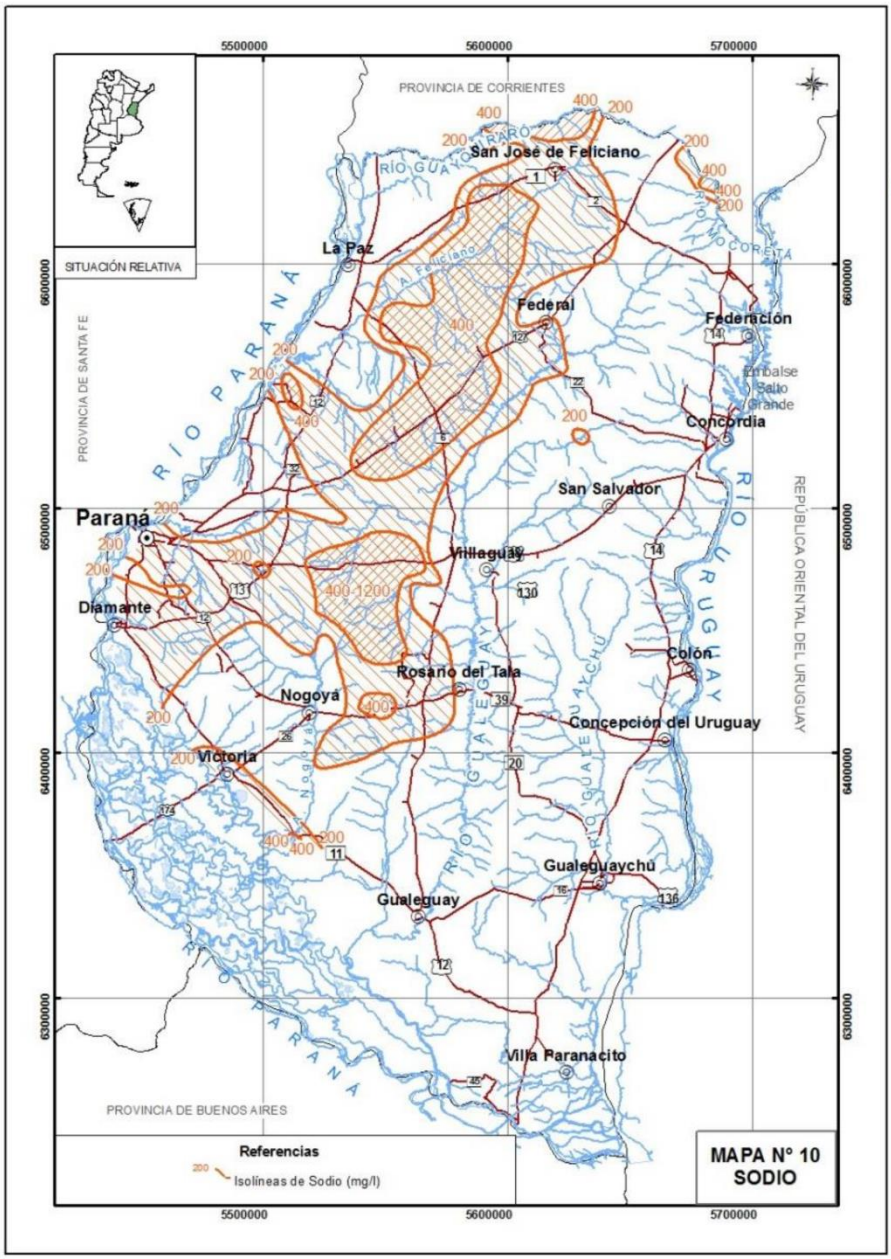


Figura 28. Sodio (Santi *et al.* 2011).

Potasio (K^+) – MAPA Nº 11

Procede de la meteorización de los feldespatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KCl MgCl2). Solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita), para formar parte de su estructura (Custodio, 1983).

De la **Tabla 5** se desprende que los contenidos de K^+ son: máximo 20 mg/l, mínimo 0 mg/l y promedio 4 mg/l.

En el **MAPA Nº 11 - POTASIO (Figura 29)** se muestra la variación del contenido a través de curvas de 10 mg/l. Solo hay un valor puntual al sur, de 20 mg/l

El Código Alimentario Argentino no especifica límite para este catión.

En aguas subterráneas no suele sobrepasar los 10 mg/l, a excepción de algunas salmueras. En ocasiones, concentraciones más elevadas de 10 mg/l, pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales.

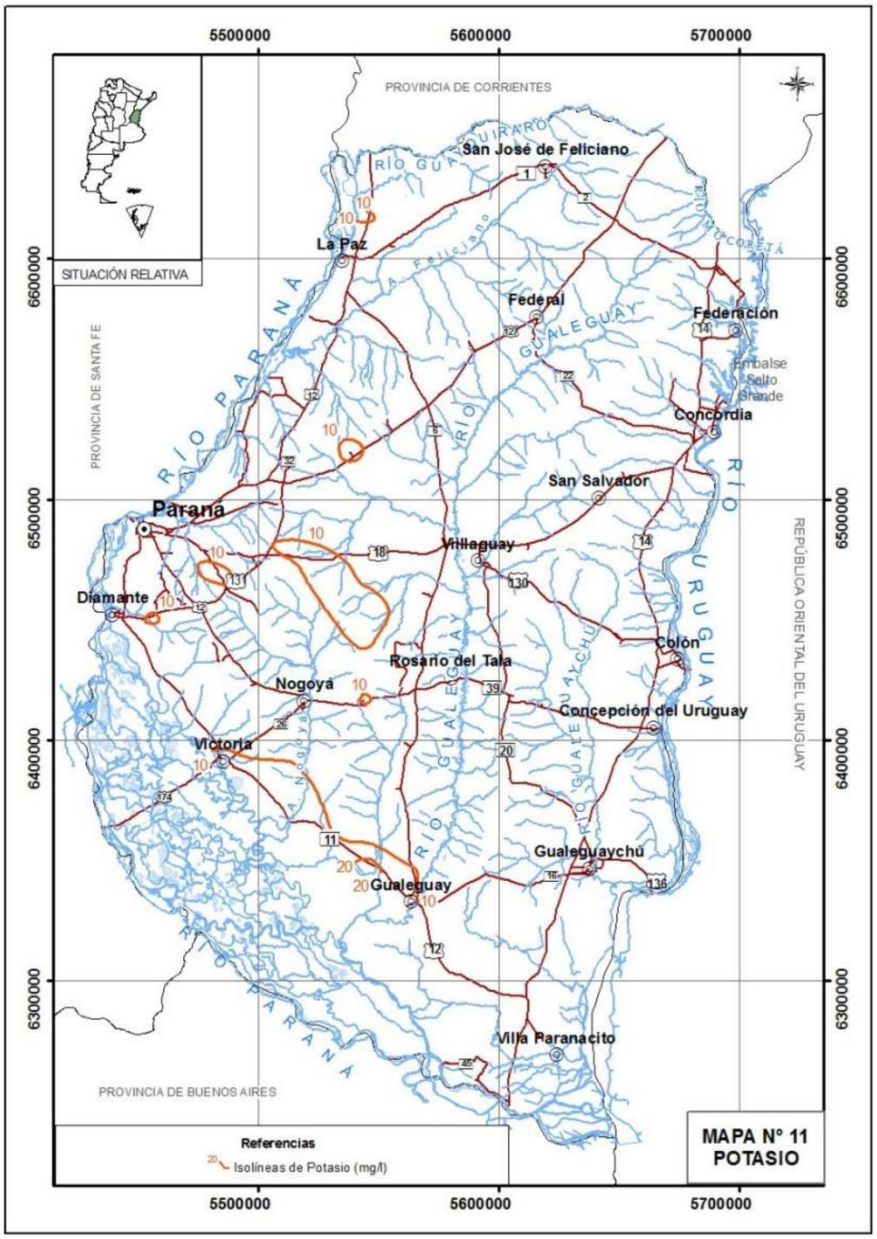


Figura 29. Potasio (Santi *et al.* 2011).

Arsénico (As)

La mayor parte del Arsénico contenido en el agua subterránea de nuestro país tiene origen natural producto de la disolución de minerales arsenicosos vinculados a las erupciones volcánicas y a la actividad hidrotermal, principalmente en la Cordillera de los Andes. El principal agente de transporte desde la Cordillera hacia el este, fue el viento, que produjo la acumulación del Loess Pampeano, en el que se intercalan cenizas volcánicas (tobas) con vidrio del mismo origen (obsidiana), el que aparece como uno de los principales generadores del As en el agua subterránea.

Otras fuentes de menor significación regional, pero que también pueden deteriorar la calidad del agua localmente, son las vinculadas con actividades mineras, la producción y empleo de plaguicidas, la fabricación de vidrio y productos electrónicos, y las fundiciones (Auge et.al., 2002).

El Código Alimentario Argentino, establece 0.05 mg/l como límite para el agua de bebida. En la provincia de Entre Ríos, el contenido máximo de arsénico en muestras extraídas puntualmente en localidades, escuelas y centros de salud, es de 0.20 mg/l, y el mínimo, < 0.005 mg/l **(Tabla 6).** Localidades afectadas que proveen agua para consumo son: la Cooperativa de Agua de la localidad de Feliciano (0,15 mg/l), Municipio de Federal (0,10 mg/l), Junta de Gobierno El Cimarrón (0,10 mg/l), Cooperativa de Agua Potable El Pingo (0,15 mg/l), Municipalidad de Villa Urquiza (0,10 mg/l), Cooperativa de Agua Potable Aldea Santa María (0,10 mg/l), Cooperativa de Agua Potable Cerrito (0,10 mg/l), Junta de Gobierno de Curtiembre (0,10 mg/l) y la Escuela Nº 172 Catamarca de Colonia San Martín (0,10 mg/l).

La CONAL - Comisión Nacional de Alimentos, mediante Resolución conjunta 68 y 196/2007, modica los artículos 982 y 983 del Código Alimentario Argentino, disminuyendo el límite de arsénico para agua de bebida de 0,05 ppm a 0,01 ppm, dando un plazo de 5 años (hasta junio de 2012) para adaptarse al nuevo parámetro. Mediante Acta 93 de diciembre de 2011, prorroga el plazo de cinco años previstos en los Artículos 982 y 983 del Código Alimentario Argentino para alcanzar el valor de 0,01 ppm en los términos previstos en dichos artículos, hasta contar con los resultados del estudio "HIDROARSENISCISMO Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA"

Fluoruro (F^-)

Su origen en el agua subterránea es por la disolución de rocas ígneas. Su solubilidad es en general limitada y al parecer contribuye a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente (Custodio, 1983).

El Código Alimentario Argentino da en función de la temperatura media y máxima del años (ºC), el límite inferior y el límite superior recomendado en mg/l.

En Entre Ríos, según las especificaciones del Código, el límite inferior recomendado sería de 0.7 mg/l y el superior de 1.2 mg/l.

Del total de muestras analizadas, el contenido máximo de flúor fue de 2.20 mg/l, y el mínimo, < 0.10 mg/l **(Tabla 6).**

En la actualidad está siendo discutido el agregado de flúor por los proveedores de agua para consumo humano, en razón de que se estima que valores entre 1 mg/l a 4 mg/l y concentraciones mayores, son suficientes para considerarlos tóxicos para el organismo humano.

Hierro (Fe)

Su química es compleja y ciertas materias orgánicas y algunas inorgánicas pueden actuar formando complejos que complican aún más su comportamiento. El pH, Eh y la composición de la solución, influyen en la estabilidad de las diversas formas de iones en que se presenta este catión.

Es conocida la obturación de cañerías de agua donde microorganismos promueven medios reductores que favorecen la formación de Fe^{++} mientras otros utilizan la energía de paso de Fe^{++} a Fe^{+++} en sus procesos vitales y dan lugar a precipitados gelatinosos.

Las aguas con concentraciones de hierro producen manchas de herrumbre en lavabos, bañeras, etc.

El Código Alimentario Argentino da como límite de potabilidad un máximo de 0.3 mg/l.

El máximo determinado en la totalidad de las muestras analizadas que fueron extraídas como prioridad en las localidades y escuelas, fue de 1.60 mg/l y el mínimo < 0.008 mg/l **(Tabla 6)**.

Los pozos que proveen de agua potable a las localidades de Raíces y Gobernador Sola, superan el valor de 0.3 mg/l.

Boro (B)

Procede de la alteración de rocas ígneas, gases volcánicos, agua marina, terrenos evaporíticos, detergentes y aguas residuales industriales.

El boro, aunque esencial, en pequeñas cantidades, para el crecimiento de las plantas; en concentraciones excesivas, tanto en los suelos como en el agua de riego puede tener elevada toxicidad para ciertos cultivos.

El Código Alimentario Argentino no fija límite para este catión.

La mayoría de las determinaciones de B se realizaron en muestras extraídas de pozos utilizados para riego fundamentalmente del cultivo de arroz. El máximo determinado fue de 5.60 mg/l y el mínimo, 0 mg/l **(Tabla 6).**

Representaciones gráficas

Diagrama de Piper

Las representaciones gráficas de los análisis químicos, tienen por objeto resaltar la composición iónica de un agua. Son diagramas que sirven para hacer comparaciones entre varios análisis de agua. En el caso de la presente Síntesis se utilizó el método desarrollado por Piper (1944).

En las aguas de los acuíferos terciarios y cuaternarios de la provincia, se observa en la composición iónica, que entre los aniones domina en un 80 % el HCO_3^- y en un 19 % los Cl^- y/o $SO_4^=$. Entre los cationes, el Ca^{++} y el Na^+ subordinan al Mg^{++} y el K^+.

Los porcentajes resultantes de las representaciones se distribuyen como se muestra en la **Tabla 7.**

Tipo de agua según Diagrama de Piper	%
Bicarbonatadas sódicas	54.4
Bicarbonatadas cálcicas y / o magnésicas	26.2
Cloruradas y / o sulfatadas sódicas	18.3
Sulfatadas y / o cloruradas cálcicas y / o magnésicas	1.2

Tabla 7 - Tipo de agua según diagrama de Piper.

En el **MAPA Nº 12 TIPO DE AGUA SEGÚN DIAGRAMA DE PIPER (Figura 30)** se puede observar la composición iónica del agua según muestras distribuidas de acuerdo a una grilla representativa de las fuentes censadas.

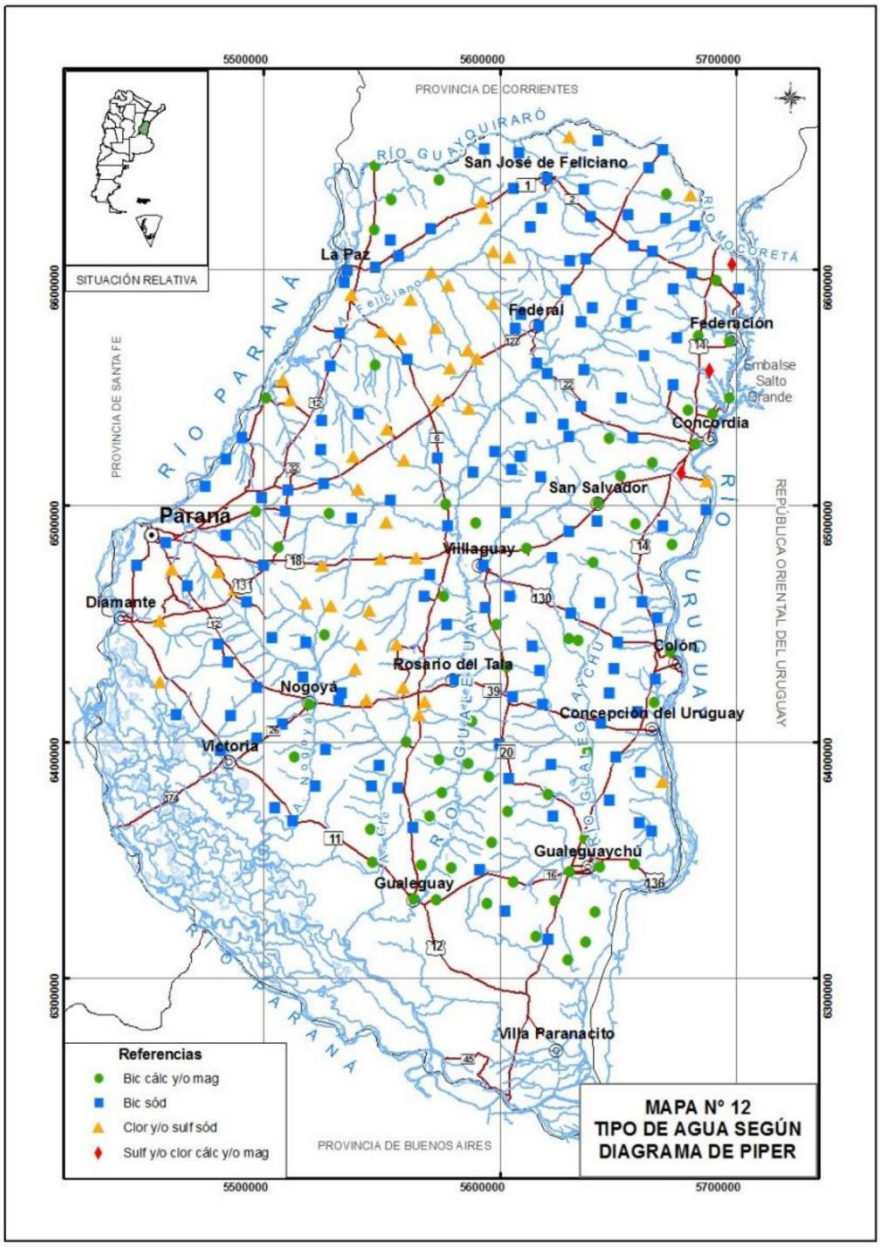


Figura 30. Tipo de agua según diagrama de Piper (Santi *et al.* 2011).

Aptitud de Agua para riego

La aptitud de agua para riego se estimó en base al Diagrama de la U. S. Salinity Laboratory Staff, Índice SAR (1954), basado en la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a 25 º C versus la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, denominada índice SAR (Razón Adsorción Sodio).

En referencia a esta clasificación, la misma ha sido creada para ambientes áridos por lo que resulta exigente para los de clima húmedo como el de Entre Ríos.

Los porcentajes resultantes del muestreo representativo realizado en todo el territorio provincial, se indican en la **Tabla 8**.

Cantidad de muestras	***Tipo de agua***	**%**
110	*C2 R1*	43.65
53	*C3 R2*	21.03
28	*C3 R1*	11.11
17	*C4 R3*	6.75
14	*C3 R3*	5.56
9	*C4 R4*	3.57
6	*C1 R1*	3.17
3	*Fuera de Gráfico*	1.19
3	*C2 R2*	1.19
3	*C3 R2*	1.19
2	*C3 R4*	0.79
1	*C2 R3*	0.40
1	*C4 R2*	0.40

Tabla 8. Aptitud de agua para riego.

C1 - Agua de baja salinidad. Puede usarse para la mayor parte de todos los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra con el riego, excepto en suelos de baja permeabilidad.
C2 - Agua de salinidad media. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales
C3 - Agua altamente salina. No puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.
C4 - Agua muy altamente salina. No es apropiada en condiciones ordinarias para riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.
R1 - Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable.
R2 - Agua media en sodio. Puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso.
R3 - Agua alta en sodio. En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.
R4 - Agua muy alta en sodio. En general inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución del calcio del suelo, el uso del yeso o de otros elementos.

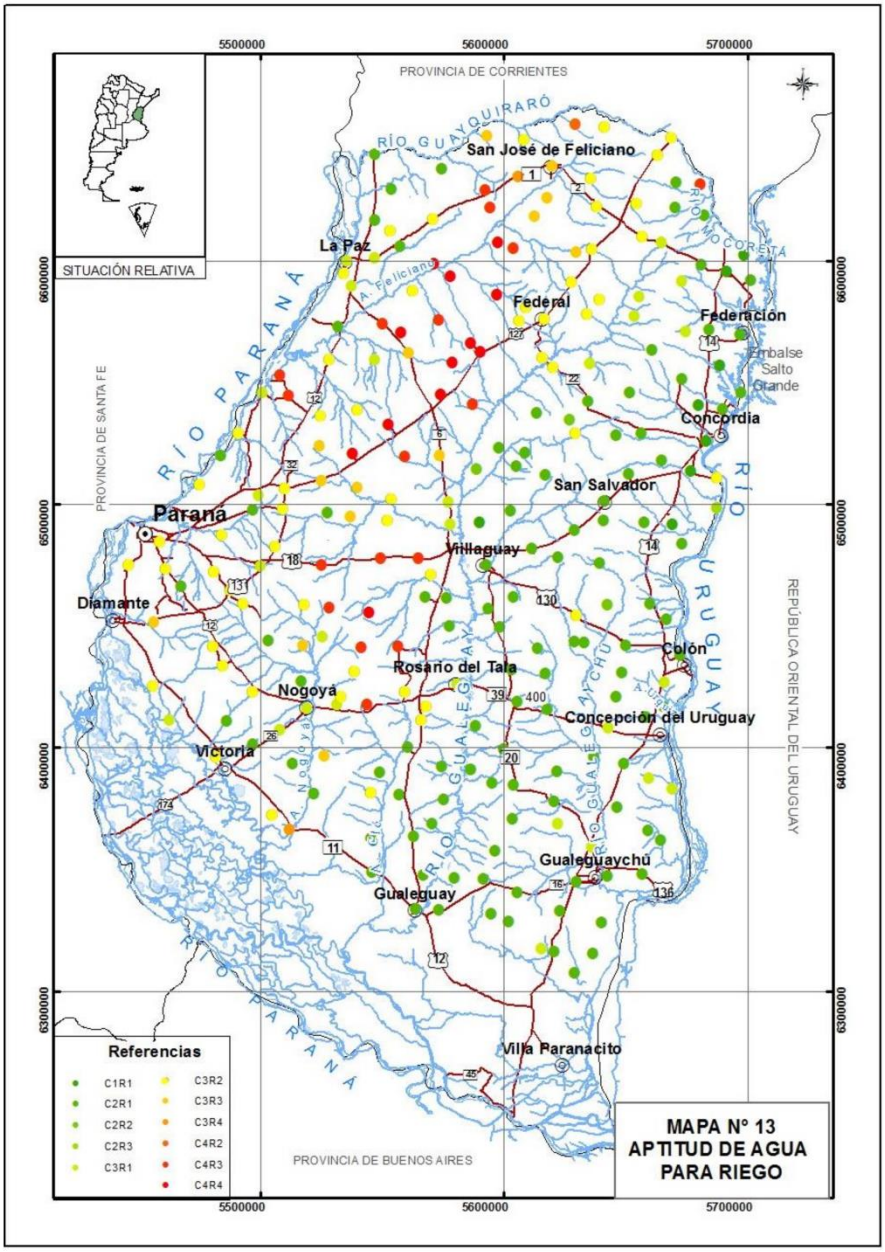


Figura 31. Aptitud de agua para riego (Santi *et al.* 2011).

En el **MAPA N º 13 (Figura 31)** se puede observar la **APTITUD DE AGUA PARA RIEGO** en pozos distribuidos de acuerdo a una grilla representativa de las fuentes muestreadas.

ENSAYOS HIDRÁULICOS

La determinación de los parámetros hidráulicos de las formaciones acuíferas terciarias y cuaternarias de la provincia, se sustenta en base a la información conformada por un total de treinta (30) ensayos de bombeo. Los datos de campo, fueron generados en su totalidad por la División Aguas Subterráneas de la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos. Algunas de las pruebas han sido reinterpretado mediante la aplicación de las metodologías de cálculo actualizas (Santi, *et al.* 2011).

Todos los ensayos fueron realizados en perforaciones existentes **(Figura 32. Sitios de ensayo).** Los pozos, alguno de los cuales, contaban con escasa descripción del perfil estratigráfico, requirieron de una aguda interpretación de la litología. El vacío de información, ha dificultado la determinación de la permeabilidad (K), dado que deriva del cociente entre T y el espesor saturado, el que no siempre está especificado o no se conoce por no llegar la perforación hasta el piso del acuífero. Otra limitante fue la duración de algunas pruebas, debido a los volúmenes disponibles en las cisternas o tanques de distribución en las cooperativas de agua potable, municipios o juntas de gobierno.

En base a la caracterización hidrogeológica de Entre Ríos **(Figura 9.** Distribución de los Acuíferos Paraná, Ituzaingó, Salto Chico y El Palmar), fue necesario diferenciar los parámetros hidráulicos representativos de los acuíferos involucrados, estableciéndose como premisa, que los pozos estudiados permitieran parametrizar las aguas subterráneas de:

a) El Acuífero Ituzaingó ubicado en el noroeste de la Provincia.

b) El Acuífero Salto Chico presente en el este de la Provincia.

c) El Acuífero El Palmar (franja arenosa vinculada al río Uruguay).

d) El Acuífero Paraná situado al sudoeste de la Provincia.

e) Sectores de transición.

En la mayoría de los ensayos se contó con lecturas en pozo de observación además del pozo de bombeo y sólo en algunos casos, la información proviene exclusivamente del pozo de bombeo. **(Tabla 9.)**

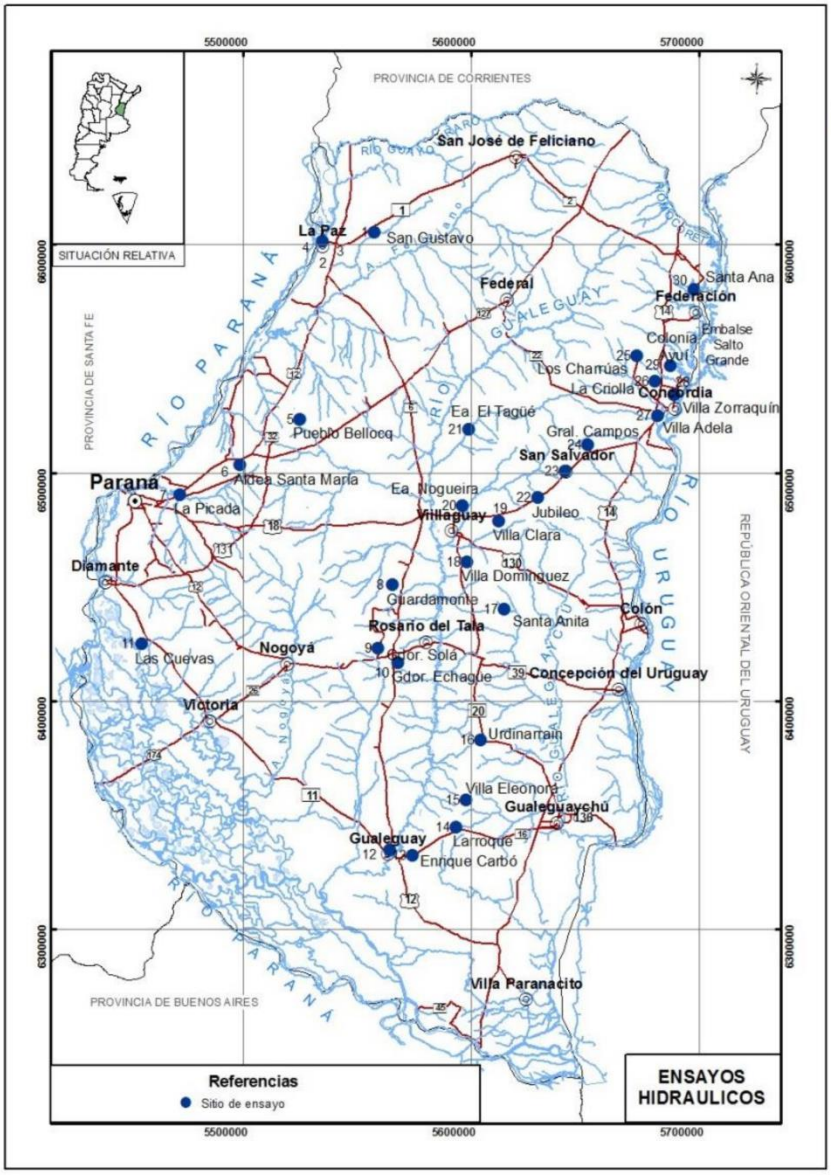


Figura 32. Sitios de ensayo.

Nº	Localidad	ACUÍFERO	Grado de confinamiento	Medido en	r (m)	Q m³/h
1	*San Gustavo*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	5,55	10,94
2	*La Paz*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	145	130
3	*La Paz*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	175	87
4	*La Paz*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	175	87
5	*Bellocq*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	9,80	5
6	*Aldea Santa María*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B./P.O.	23,70	12.,20
7	*La Picada*	Ituzaingó	Semiconfinado	P.B.	-	6
8	*Guardamonte*	Transición Ituzaingó/Paraná	Semiconfinado	P.B./P.O.	8	3,30
9	*Gobernador Sola*	Transición Ituzaingó/Paraná	Semiconfinado	P.B./P.O.	9,30	10
10	*Gobernador Echagüe*	Transición Ituzaingó/Paraná	Semiconfinado	P.B./P.O.	10,53	6
11	*Las Cuevas*	Paraná	Semiconfinado	P.B./P.O.	22,30	9,60
12	*Gualeguay*	Paleocauce	Semiconfinado	P.B./P.O.	160	108
13	*Enrique Carbó*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	45
14	*Larroque*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	14,70	66,0
15	*Villa Eleonora (Irazusta)*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	11,10	16,0
16	*Urdinarrain*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	57
17	*Santa Anita*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	35
18	*Villa Domínguez*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	19,60	36
19	*Villa Clara*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	8,70	80
20	*Estancia Nogueira*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	500	170
21	*Estancia El Tagüe*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	250
22	*Estancia Jubileo*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B./P.O.	458,30	135
23	*San Salvador*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	140
24	*General Campos*	Salto Chico	Semiconfinado	P.B.	-	34
25	*Los Charrúas*	Trans. Salto Chico /El Palmar	Semiconfinado	P.B./P.O.	17,70	17
26	*La Criolla*	Trans. Salto Chico /El Palmar	Libre	P.B.	-	30
27	*Villa Adela*	El Palmar	Libre	P.B./P.O.	27,06	45
28	*Villa Zorraquín*	El Palmar	Libre	P.B.	-	30
29	*Colonia Ayuí*	El Palmar	Libre	P.B./P.O.	43,25	50
30	*Santa Ana*	El Palmar	Libre	P.B./P.O.	83,40	36

Tabla 9. Localidades y acuíferos ensayados.

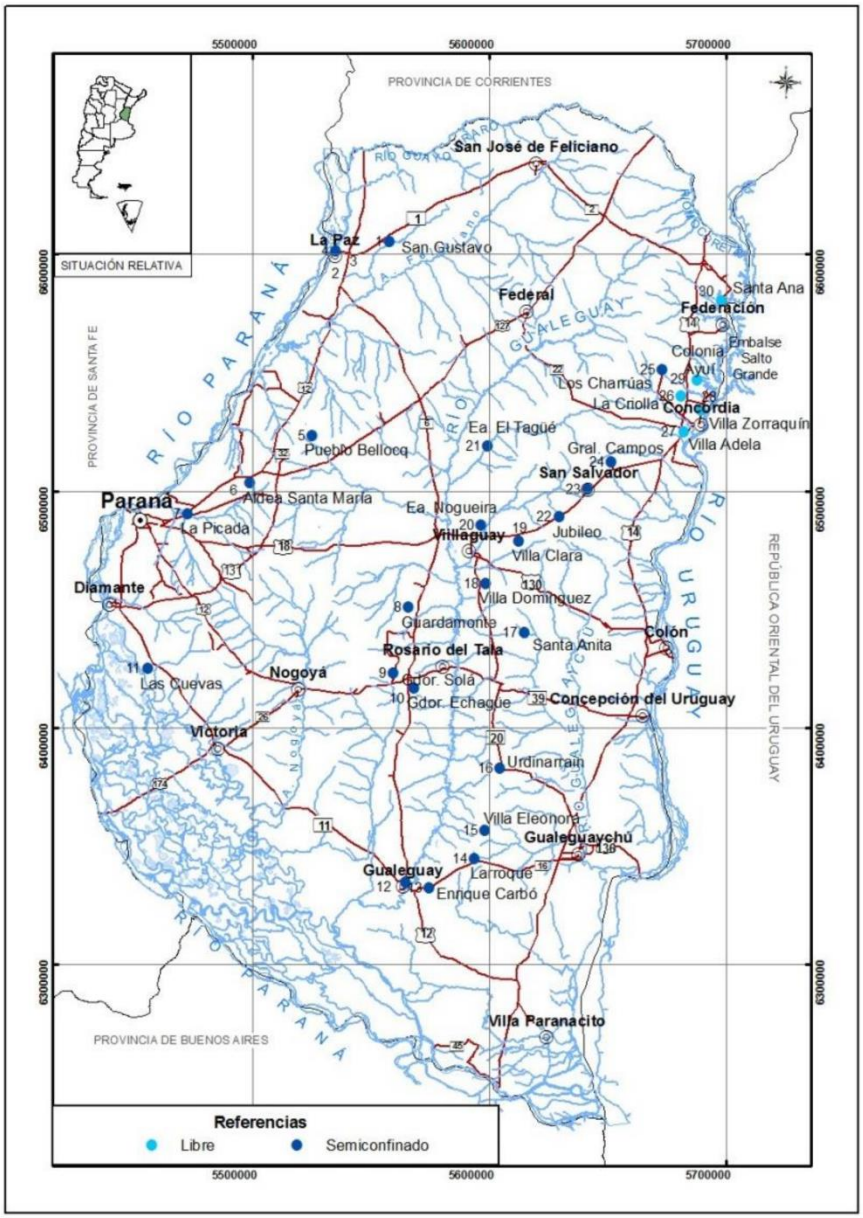


Figura 33. Tipo de acuífero.

Los ensayos consistieron en bombeo a caudal constante, midiendo nivel estático, nivel dinámico y las sucesivas lecturas de los descensos hasta la estabilización, luego de la cual se procedió a la recuperación del pozo con mediciones de ascensos y evaluación de la depresión residual.

En los acuíferos semiconfinado **(Figura 33),** la metodología aplicada para la interpretación fue la desarrollada por Hantush (1956) pues se consideró la más adecuada para determinar los parámetros T y S, para una condición de flujo en régimen no permanente o variable.

En el caso del acuífero El Palmar, fue interpretado como acuífero libre o eventualmente como semilibre, con comportamiento diferido.

Se interpretaron los datos correspondientes al período de recuperación del pozo por aplicación de la metodología de Theis (1935). La prueba de recuperación permite obtener únicamente la transmisividad T, pero complementa los resultados, ya que brinda información del comportamiento del acuífero, del grado de conexión hidráulica entre el pozo y el acuífero, de las condiciones singulares de los ensayos, si existen recargas y si se presentan límites físicos.

Síntesis Regional de los Resultados

Acuífero Ituzaingó

Los Ensayos Nº 1 a 7 **(Tabla 9)** corresponden a pozos que explotan el acuífero semiconfinado Ituzaingó, en donde el espesor de la cubierta arcillosa sobrepuesta es variable, desde 10 a 15 m. (San Gustavo – Ensayo Nº 1, La Paz - Ensayos Nº 2 a 4) y hasta 50 m. (Aldea Santa María - Ensayo Nº 6).

En el Acuífero Ituzaingó, el parámetro hidráulico más representativo es la transmisividad (T). Los valores dominantes del acuífero, en condiciones medias, acusan una variabilidad dentro del rango 500 – 1.500 m²/día, con valor medio regional de 1.000 m²/día.

En relación al grado de confinamiento, una situación intermedia se verificó en el Ensayo Nº 1 – San Gustavo, donde el coeficiente de almacenamiento (S) posee valores del orden de 0,001, mientras que el almacenamiento para la región de mayor potencia de Hernandarias es de 0,0002 (Ensayo Nº 6 - Aldea Santa María).

En el caso de la perforación ensayada en Gualeguay (Ensayo Nº 12) ubicada en las cercanías del cauce actual del río Gualeguay, en una zona caracterizada por la existencia de paleocauces y donde el grado de confinamiento es menor, se considera aceptable como valor de la transmisividad del acuífero estudiado, de 500 a 800 m²/día.

Los resultados obtenidos indican que, más allá de la variación regional de los parámetros hallados, se verifica en todos los casos que existe recarga diferida proveniente del acuitardo suprayacente.

Área de transición Ituzaingó-Paraná

Las pruebas de Ensayo Nº 8 (Guardamonte), Nº 9 (Gobernador Solá) y Nº 10 (Gobernador Echagüe) corresponden a pozos que explotan el acuífero semiconfinado en el centro oeste de la provincia (zona de transición entre el Acuífero Ituzaingó y Acuífero Paraná). La cubierta limoarcillosa superpuesta al acuífero en los ensayos mencionados, es de 40 a 57 m., siendo relativamente elevado el grado de confinamiento. Las pruebas fueron procesadas como acuíferos confinados y/o semiconfinados.

El parámetro hidráulico más representativo es la transmisividad. Los valores dominantes del acuífero estudiado, en condiciones medias, acusan cierta variabilidad siendo el rango de valores entre 500 y 1200 m²/día.

Los estudios dan cuenta de condiciones de confinamiento relativamente alto, sin embargo el valor de los almacenamientos calculados para el sector presenta una importante dispersión y poca representatividad. Se debe tener en cuenta que en los casos estudiados, los pozos de observación estaban a muy corta distancia, por lo que la onda piezométrica provocada por el bombeo traslada su efecto rápidamente, acusando descensos inmediatos del nivel hidráulico.

Los resultados obtenidos indican que, más allá de la variación regional de los parámetros hallados, se verifica al igual que lo observado en otras regiones adyacentes, la hipótesis de que la recarga se produce in situ, a través de la cubierta limo arcillosa superior.

Acuífero Paraná

El Ensayo Nº 11 (Las Cuevas) corresponde a una perforación que explota el acuífero semiconfinado de la Fm. Paraná. La cubierta arcillosa es relativamente importante, del orden de 49 m.

Los valores dominantes de la transmisividad del acuífero estudiado, en condiciones medias, se encuentran en el rango de 500 a 800 m²/día.

Acuífero Salto Chico

De las fuentes censadas en el Acuífero Salto Chico, se desprende que en la mayoría, el uso del recurso subterráneo está destinado a la provisión de agua

potable y al riego del cultivo de arroz. En menor medida se lo utiliza para industria y consumo animal. Las perforaciones que proveen agua para abastecimiento urbano extraen por pozo un promedio de 90 m³/h. Las perforaciones destinadas a riego llegan a extraer hasta 600 m³/h.

Pese a la extensión de la Formación Salto Chico en el subsuelo entrerriano, posee características homogéneas en cuanto a la cubierta arcillosa que se sobrepone, donde los mínimos espesores corresponden a la localidad de General Campos (Ensayo Nº 24) con 22 m. y los máximos a Urdinarrain (Ensayo Nº 16) con 35 m.

Los ensayos Nº 13 a Nº 24 **(Tabla 9)** corresponden a pozos que explotan el acuífero semiconfinado Salto Chico. La transmisividad dominante, en condiciones medias, se estima dentro del rango 1500 – 2500 m²/día.

Durante la ejecución de los ensayos se observó que el traslado de la onda piezométrica provocada por el bombeo en pozos de observación, guarda relación con el grado de confinamiento.

El parámetro que mejor describe el grado de confinamiento es el coeficiente de almacenamiento del acuífero, que en este caso se estimó en valores entre 0,001 y 0,004, representativos de acuíferos semiconfinados.

En particular, en las perforaciones destinadas a riego, se observó que los pozos de observación (Ensayos Nº 20 y Nº 22), presentaron retardo en la respuesta. Este tipo de fenómeno se corresponde con el grado de confinamiento del acuífero. Para las pruebas hidráulicas realizadas en estas perforaciones de mayor diámetro y mayor profundidad, la transmisividad media del Acuífero Salto Chico, es superior a 2.500 m²/día. El coeficiente de almacenamiento (S) se encuentra en el orden de 0,0004.

En general, el valor obtenido de la permeabilidad vertical (K) es del orden de 10^{-3} a 10^{-4} cm/s, indicando que existe una fuerte recarga del acuitardo superpuesto.

Salto Chico – El Palmar

Los Ensayos Nº 25 y Nº 26 **(Tabla 9)** corresponden a pozos ubicados muy próximos a la franja arenosa asociada al río Uruguay. En varios perfiles litológicos de las perforaciones ubicadas en Los Charrúas y La Criolla, la cubierta arcillosa suprayacente es variable entre 7,5 a 11,5 metros. Los datos del Ensayo Nº 25 Los Charrúas, se procesaron como acuífero semiconfinado y los del Ensayo Nº 26 como libre.

La transmisividad estimada, en condiciones medias, se encuentra dentro del rango 500 – 1200 m²/día.

Acuífero El Palmar

Los Ensayos Nº 27 a Nº 30 han sido interpretados como acuíferos libres en concordancia con la estratigrafía del subsuelo. En ese sentido, se observa un comportamiento homogéneo en la mayoría de las pruebas hidráulicas realizadas.

El parámetro hidráulico más representativo es la transmisividad. Los valores dominantes del acuífero, en condiciones medias, acusan una variabilidad dentro del rango 500 – 1.500 m²/día, con valor medio regional de 1.000 m²/día.

En los pozos ensayados en el Acuífero El Palmar, se observó que la onda piezométrica provocada por el bombeo, traslada su efecto rápidamente acusando descensos inmediatos del nivel hidráulico.

El embalse de Salto Grande favorece la recarga de los pozos en explotación, ubicados en las proximidades del Lago.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar a los operadores de pozos de las localidades a los fines de mantener un buen servicio en relación al tratamiento del agua, antes de enviarla a la red de distribución.
2. De fundamental importancia, es realizar controles periódicos de la calidad bacteriológica y físico química del agua que se consume en las escuelas y en los centros de salud de áreas rurales.
3. Aplicar técnicas adecuadas en el diseño de pozos. Documentar toda información geológica, hidráulica y de calidad físico química del agua cuando se realice una perforación.
4. Implementar líneas directrices que atiendan a mejorar los programas de mantenimiento y conservación de los pozos en explotación.
5. Ejecutar al menos una perforación exploratoria en cada uno de los acuíferos estudiados en la presente síntesis, una perforación en cada una de las áreas de transición y una en el área sin definición (Figura 9), a fin de precisar los caracteres litológicos, hidráulicos, el espesor y el pase lateral de los acuíferos. Dichos pozos podrían utilizarse posteriormente para la provisión de agua potable o para riego.
6. Estudiar la magnitud del retorno al subsuelo, del agua empleada para riego en la zona arrocera de la provincia.
7. Frente a la potencial vulnerabilidad que presentan los sistemas acuíferos (libre en el este de la provincia, y el denominado acuífero arrocero durante la época de riego intensivo), se recomienda profundizar el conocimiento de los sistemas explotados y contribuir al manejo de los recursos subterráneos, a través de la realización de bombeos de larga duración, que, junto con una red de piezómetros de control, posibilite realizar un modelo de predicción de la evolución de los niveles. Este tipo de actividad, requiere del compromiso y de una programación con acuerdo y participación de todos los actores interesados en la gestión y uso del agua subterránea.

BIBLIOGRAFIA

Auge M. y Santi M. 2002. Disponibilidad de agua subterránea para la producción arrocera de la Provincia de Entre Ríos. Prov. ER – CFI. Inéd: 1-53, 11 mapas, 30 tablas, 63 figuras. Buenos Aires.

Bravard A., 1858. Monografía de los terrenos marinos terciarios de las cercanías del Paraná. Imprenta del Registro Oficial. Paraná. Reimpreso: Imprenta del Congreso de la Nación, 1995. Buenos Aires.

Custodio E. y Llamas M. R. 1983, Hidrología subterránea. Ed. Omega. Tomo * y Tomo **. Barcelona. España.

Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Artículo 982. www.alimentosargentinos.gov.ar

De Alba E., 1953. Geología del Alto Paraná en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 8: 3, 129-161.

Hantush M. S., 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Trans. Am. Geophys. Union. Vol. 37 (6).

Hem J. D., 1959. Study and interpretation of the chemical carachteristics of natural waters. U.S. Geol. Survey. WSP Nº 1473: 269. Washington.

Herbst R. y Santa Cruz J., 1985. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. Revista D'Orbignyana, Corrientes, 2:1-51.

Instituto Geográfico Nacional Cartas topográficas y satelitales de la República Argentina.

Iriondo M., 1980. El Cuaternario de Entre Ríos. Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Revista 11: 125-141, Santa Fe.

Leanza A., 1958. Geología Regional. La Argentina Suma de Geografía. 1: 3, 217-349. Editorial Peuser. Buenos Aires.

Piper A., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 25: 914-923.

Rimoldi H., 1963. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotectónico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero (Provincia de Entre Ríos). 1as. Jornadas Geológicas Argentina. Actas 2: 287-310, Buenos Aires.

Santi M., 1982. Estudio de acuíferos en zonas de riego. Departamentos Federación, Concordia, Colón, Uruguay. Provincia de Entre Ríos. Dirección de Hidráulica. Inéd: 1-22, 10 tablas, 13 figuras y 9 mapas. Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos.

Sanguinetti J., Santi M., Casa H, 2002. "Estudio de aguas subterráneas Etapa III". Convenio Prov. ER–CFI. Inéd: 1-75, 7 tablas, 14 figuras y 5 mapas. Buenos Aires.

Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G., 2007. Agua subterránea en la región sudeste de la Provincia de Entre Ríos – IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Paraná, Entre Ríos, Argentina. (pág. 307-318).

Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G., 2009. Agua subterránea en el noreste de Entre Ríos. Actas VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Planificación y gestión de aguas subterráneas (pág. 63-72). Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G., 2010. "Hidrogeología de la región noreste de Entre Ríos. República Argentina". Revista Latino-Americana de Hidrogeología. Volumen 7 Junio 2010. (pág. 33-45). Montevideo.

Santi M. y Bianchi G., 2011. Mapa Hidrogeológico. Síntesis de la Provincia. Entre Ríos. Alcance I y Alcance II Convenio Prov. ER–CFI. Inéd: 1-118, 33 tablas, 42 figuras y 11 mapas. Buenos Aires.

Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G., 2013. "Acuíferos terciarios y cuaternarios. Provincia de Entre Ríos. República Argentina". Agua subterránea. Recurso estratégico. Tomo I. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. (pág.148-155) La Plata.

Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G., 2013. "Caracterización de los principales acuíferos de la provincia de Entre Ríos. República Argentina". Agua subterránea. Recurso estratégico. Tomo I. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. (pág.186-193) La Plata.

Theis C. W., 1935, The lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge af a well using groundwater storage. Trans. Geophys. Union. 16 th Ann. Meeting, pr. 2.

U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Agric. Handbook 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.