

ACUIFEROS POTENCIALES DEL PARAGUAY

E. GODOY V. & J.L. PAREDES R.

DRH / BGR

Casilla de Correo 984 / 273

Filadelfia - Chaco / Paraguay

RESUMEN -

El Paraguay es privilegiado en cuanto a disponibilidad de recursos hídricos subterráneos. Está comprendido entre las provincias hidrogeológicas Pantanal - Chaco y Paraná, constituyendo esta última una de las reservas de aguas subterráneas de mayor envergadura de América del Sur.

Se presenta las características, calidades químicas e importancia socio-económica de los acuíferos potenciales del Paraguay, que pueden suministrar caudales superiores a los 50.000 litros/hora.

Los acuíferos potenciales deberán constituir como integrante fundamental de los estudios de planificación de desarrollo regional del Paraguay, por ello la investigación sistemática y más intensiva de los acuíferos se hace imperativa ante la creciente utilización de las aguas subterráneas.

1. INTRODUCCION

El Paraguay está comprendido entre las provincias hidrogeológicas Pantanal - Chaco y Paraná, esta última constituye una de las reservas de aguas subterráneas de mayor envergadura de América del Sur, siendo responsable por cerca de 43 % del volumen de agua dulce subterránea del Brasil (Rebouças, 1981).

La parte socio - económicamente más desarrollada es la región Oriental del Paraguay, donde se encuentra concentrada la

mayor parte de la población, y como esta región corresponde a la cuenca del Paraná, principalmente la parte aflorante, es de gran importancia hidrogeológica, porque se encuentra relativamente al alcance de los medios financieros y técnicos de la gran mayoría que explotan aguas subterráneas, que por su pureza, proximidad al sistema de distribución y por dispensar las inversiones en caras estaciones de tratamiento, reduciendo drásticamente los costos de mantenimiento, vienen siendo preferidos crecientemente para solucionar el problema de agua de las comunidades de mediana a pequeño porte, y también como complemento de aguas superficiales para el abastecimiento de grandes comunidades.

En este trabajo se presentan las características, calidades químicas e importancia socio - económica de los acuíferos potenciales del Paraguay, que pueden aportar caudales superiores a los 50.000 litros / hora.

2. CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS POTENCIALES DEL PARAGUAY

Los sistemas acuíferos del Paraguay pueden ser clasificados en dos grupos distintos, de acuerdo con la naturaleza litológica y las propiedades hidráulicas (Fig. 1):

Acuíferos permeables por porosidad integranular.

Acuíferos permeables por fracturamiento de las rocas, condicionados por estructuras geológicas, y por procesos de karstificación.

Dentro de los sistemas acuíferos permeables por porosidad intergranular se destacan por su gran potencial (Fig. 2) :

Acuífero Chaco Yrenda
(Terciario - Cuaternario)

Acuífero Patiño (Cretácico)

Acuífero Misiones
(Jurásico)

Acuífero Caacupé (Silúrico)

También puede ser considerado, aunque su potencialidad no está aún bien definida, el :

Acuífero Adrián Jara
(Cretácico)

En cuanto a los sistemas acuíferos permeables por fracturamiento de las rocas, el único que presenta gran potencial es el :

Acuífero Alto Paraná
(Cretácico)

2.1. Acuífero Chaco Yrenda (Cuaternario- Terciario)

Acuíferos confinados y/o semiconfinados profundos, que se extienden por todo el Chaco Paraguayo al sur del Paralelo 21°S, en varios niveles a diferentes profundidades (hasta los 600 a 2.000 m), en términos generales por debajo de los 50 m en el oeste, en el límite con Bolivia, y por debajo de los 5-3 m en el Chaco oriental. Alcanzan

espesores máximos de 25 a 45 m (Godoy, 1989).

Están constituidos por arena fina, a veces con una participación pequeña de arena mediana hacia el oeste, y están separados por capas de limo, a veces arenoso, otras arcilloso, o también arcilla. Son frecuentes las concreciones de carbonatos, tanto en las arenas como en los limos y arcillas. En estos últimos a veces ocurren cristales o lentes de yeso.

Los pozos que captan estos acuíferos presentan caudales específicos que varían de 0,2 a 3,7 m³/h/m. Su porosidad total máxima es de 40 % y la porosidad efectiva está entre 0,07 y 0,10. La transmisibilidad está en el rango de 6,7 a 346 m²/día.

Acuífero Patiño (Cretácico)

Está constituida por sedimentos conglomeráticos en la base y arenosos hacia el techo. Posee fuerte coloración roja y afloran desde Asunción, hacia el SE, hasta Paraguari, en la depresión de Ypacaraí, una estructura asociada al Alto de Asunción. También se presenta al oeste del río Paraguay, en Benjamín Aceval y Villa Hayes (Chaco).

Fanglomerados de esta formación poseen un fuerte control estructural en su origen, constituyendo una auténtica tecto - facie. Las capas conglomeráticas poseen una secuencia granulométrica decreciente, de abajo hacia arriba, con aumento de espesor de las capas arenosas.

Sus afloramientos más arenosos están alrededor de Asunción y a lo largo de la depresión de Ypacaraí (Fúlfaro & Alvarenga, 1986). Esto parecería indicar que es relativamente fácil obtener agua de esta formación, pero experiencias de campo han demostrado que existen un fuerte control faciológico (cambios acentuados de sedimentos pelíticos a arenosos en cortas distancias y en sentido vertical), los que controlan el caudal explotable de este acuífero, por lo cual es necesario un riguroso

control geológico para el éxito de la perforación.

El **Acuífero Patiño** presenta predominancia de condiciones hidráulicas libres, aunque a veces también existan artesianismo con surgencia. Por la condición litológica su permeabilidad es muy variable 0,1 a 3,4 m/día y la transmisibilidad oscila entre 0,2 a 135 m²/día. Es el acuífero más explotado del Paraguay, la que se realiza sin control, lo que ya está ocasionando problemas de interferencias de pozos, sobreexplotación y también contaminación.

Presenta una superficie de afloramiento de aproximadamente 2.010 Km² recarga anual de 28 a 56 millones de metros cúbicos, que puede ser considerado bajo, y como es explotado intensamente, su utilización en riego debe ser restringida para evitar que se produzca una excesiva sobreexplotación.

2.2. Acuífero Adrián Jara (Cretácico)

El acuífero está localizado en el extremo norte del Chaco y forma parte de la subcuenca de Curupayty. Está constituida por areniscas rojas, masivas y mal seleccionadas.

Representa un acuífero regional, con niveles de agua libres a confinadas. Sus características hidráulicas todavía no están definidas, pero pozos que captan este acuífero permiten inferir que puede presentar gran potencial, con calidad del agua muy buena.

2.3. Acuífero Alto Paraná (Cretácico)

Está constituido por una extensa área (27.000 Km²) de derrames de basaltos, predominantemente toleíticos, presentando estructuras típicas (bandeamiento) de derrames de lavas, con el nivel superior vesicular relleno por cristales de calcita,

formando ya sea amígdalas o drusas. A mayor profundidad, el basalto se presenta más compacto, con disyunciones columnares y planas, que son debidas al enfriamiento de las lavas. Entre los derrames se intercalan areniscas con las mismas características del acuífero Misiones. También se presentan asociados cuerpos intrusivos de misma composición, constituyendo principalmente diques y sills.

Los basaltos, al ser rocas cristalinas de baja conductividad hidráulica, son pésimos almacenadores de agua subterránea, excepto cuando la roca es amigdaloidal y vesicular, o cuando el basalto es fracturado y fallado. De hecho el acuífero es libre y sus características hidráulicas están íntimamente asociados al carácter anisotrópico, discontinuo y heterogéneo de los basaltos.

Debido a que existen escasas perforaciones en los basaltos en el Paraguay, no se dispone de datos de sus características hidráulicas, sin embargo, estudios realizados en el Brasil (*ej. Aguiar, et al., 1984; Rosa Filho, et al., 1984; Quaglia G. & Souza, 1982*) indican que las mejores posibilidades hidrogeológicas de los basaltos están ligados a las zonas de contactos interderrames, fracturamientos horizontales y verticales. Estas últimas ponen en comunicación las discontinuidades horizontales y favorecen los procesos de meteorización. Los datos disponibles indican que el mayor número de entrada de agua se sitúa en el intervalo 20 y 100 m de profundidad.

También llegaron a la conclusión de que las entradas de agua, como también las descargas por ellas producidas no son incrementadas con el aumento de la profundidad de los pozos. Así mismo tienen influencia la dirección preferencial de los alineamientos tectónicos, por ello recomiendan realizar las perforaciones hasta los 100 - 120 m de profundidad, no teniendo justificativo económico versus volumen de agua explotable perforar más allá de las profundidades citadas, que también están en función de las posiciones topográficas o características de las fracturas de las rocas en el punto de captación.

Sin embargo, *De Salvo (1991)* señala que la profundidad no es limitante para obtener mayores caudales. En un pozo de gran diámetro realizado en el área de Itaipú, uno de los contactos abiertos entre los derrames, a una profundidad de 150 m, aportaba caudales superiores a los 70 m³/h. Es conocido que en los macizos cristalinos intrusivos la permeabilidad disminuye con la profundidad, en cambio en las rocas basálticas el comportamiento es diferente. Existe alternancia entre zonas impermeables representadas por la matriz rocosa y zonas muy permeables representadas por las discontinuidades abiertas, que no son afectadas por la profundidad.

El **Acuífero Alto Paraná** es altamente vulnerable a la contaminación, en virtud de que el agua está condicionada a la presencia de fracturas que están en contacto con la superficie a través del suelo laterítico. En virtud de ello, el uso indiscriminado de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas contribuirán en gran manera a la contaminación de este acuífero.

2.4. Acuífero Misiones (Jurásico)

Es uno de los mayores acuíferos de Sudamérica y el más importante del Paraguay, abarcando los países de Brasil, Uruguay y Argentina. Presenta un área de afloramiento de 37.000 Km² y 27.000 Km² está confinado por los derrames basálticos de la Formación Alto Paraná. A pesar de que este confinamiento le proporciona, por un lado, un excelente protección contra los riesgos de contaminación, engendra, por otro lado, gran aumento de los costos de captación.

Este acuífero presenta dos facies sedimentarias, una de origen fluvial y la otra, predominante, de origen eólico. La facie sedimentada en ambiente fluvial ocupa, preferencialmente, la parte basal de la formación, pero también puede presentarse entre los sedimentos arenosos de origen eólico. Esta facie basal está constituida por

areniscas esencialmente macizas, localmente con estratificación cruzada, granulación fina a media y láminas arcillosas intercaladas. Existen también niveles conglomeráticos o brechas con clastos de arcillas, siltitas y pizarras, con pequeña continuidad lateral de los cuerpos arenosos.

La parte eólica se caracteriza por presentar una marcada bimodalidad en la distinción granulométrica en láminas de pocos milímetros. Presentan estratificación cruzada. Esta formación es transgresiva sobre todas las demás unidades sedimentarias de la cuenca del Paraná, inclusive sobre el basamento cristalino.

El espesor del **Acuífero Misiones** es bastante variable, con valor medio de 300 m. Este acuífero se caracteriza como un sistema continuo, de extensión regional, predominantemente libre en las áreas aflorantes y confinado. La permeabilidad oscila entre 0,2 a 4,0 m/día y la transmisibilidad de 40 a 500 m²/día, en las áreas aflorantes. En las áreas confinadas por los basaltos presenta permeabilidad de 0,5 a 4,6 m/día y transmisibilidad de 200 a 1.300 m²/día (*Lopes, 1984*).

El aumento gradativo de la temperatura de las aguas del Acuífero Misiones con la profundidad de confinamiento es explicado como derivado del grado geotérmico natural (1°C / 35 m). *Teissedre & Barner (1981)* en *Gouveia da Silva et al. (1982)*, propone la siguiente relación entre la temperatura (T) y la profundidad (P) del techo del acuífero:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 0.0282 P (\text{m}) + 22$$

El espesor de los basaltos en el Paraguay no es conocido, aunque está estimado en 700 - 800 m cerca del río Paraná. Considerando estos valores el agua del Acuífero Misiones puede presentar, en las áreas de influencia del citado río, temperaturas de 40 - 43°C.

Este acuífero, cuando es captado en las áreas confinadas por los basaltos (mayor que 700 m de profundidad) en el Brasil, está

suministrando caudales superiores a los 500.000 litros/hora. con temperatura que oscila entre 45 y 63 °C. Siendo utilizado para abastecimiento de mediana y grandes comunidades, como así también en centros turísticos con aguas termales por su efecto terapéutico.

2.5. Acuífero Caacupé (Silúrico)

Este acuífero es uno de los más utilizados en el densamente poblado Departamento Central de la región Oriental del Paraguay. Tiene una extensión relativamente restringida de 1.400 km². El espesor del acuífero se estima en 300 m.

Está constituida por tres formaciones: Paraguari, Cerro Jhú y Tobatí (*Fúlfaro & Alvarenga, 1986*):

La **Fm. Paraguari** está constituida por sedimentos de granos gruesos y capas conglomeráticas que pasan gradualmente a areniscas arcósicas. La unidad posee 20 m de espesor.

La **Fm. Cerro Jhú** está constituida por areniscas cuarzosas de granos finos a medios, friables y de aspecto sacaroidal predominantemente, con estratificaciones cruzadas a subparalelas muy características.

La **Fm. Tobatí** está constituida por areniscas friables y también sacaroides, a veces un poco carbonáticas, en forma de capas aparentemente macizas. En detalle presenta estratificación en láminas, frecuentemente parte de estratificación cruzadas de gran tamaño y ángulo bajo. Posee un espesor que oscila entre 80 - 250 m.

Mente, et al. (1986) indican que el **Acuífero Caacupé** presenta permabilidades

que varían de 0,2 a 3,0 m/día y transmisibilidades de 1 a 100 m²/día.

3. CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

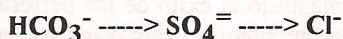
Prácticamente todos los acuíferos potenciales de la región Oriental presentan aguas aptas para consumo humano, riego e industrial. El **Acuífero Caacupé** presenta agua normalmente buena pero puede variar a salobre en relativamente cortas distancias, aparentemente debido a movimientos tectónicos verticales que lo afectaron, teniendo como consecuencia condiciones de agua subterránea sin flujo o muy bajo, en ciertas secciones de las áreas donde se presenta este acuífero, lo que favorece el contacto prolongado del agua con los materiales del acuífero y por ende la disolución de las sales que ella contiene.

En la región Occidental o Chaco del Paraguay, la calidad química de las aguas del **Acuífero Chaco Yrenda** es factor limitante para su utilización doméstica, ganadera, agrícola e industrial. La presencia, en la mayor parte del área, de aguas con elevados contenidos en sales se debe a que entre los sedimentos, que rellenan la cuenca, se encuentran sales evaporíticas (principalmente yeso), que por solubilidad dan origen a aguas salobres o saladas.

Debido al carácter de circulación regional de las aguas subterráneas del **Acuífero Chaco Yrenda**, los períodos de permanencia y los tiempos de contacto con los materiales del acuífero son prolongados y por eso las aguas tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando en los diferentes iones (*Godoy, 1990*).

De un modo general la tendencia de NO - SE de las aguas subterráneas del **Acuífero Chaco Yrenda** es una evolución normal hacia una composición química similar a la del mar. El sodio (Na⁺) es el catión dominante, en cambio a lo largo del flujo de agua subterránea se presenta el

siguiente cambio regional en la dominación aniónica:



Los conocimientos actuales permiten establecer un esquema de ocurrencia de aguas subterráneas en el Chaco Paraguayo, adoptando como límite natural de agua dulce a la isolinia de residuo seco de 2.000 mg/l, (Unesco / Rostlac, 1989, modificado; Godoy & Paredes, 1994), como se presenta en la Fig. 3:

Zona I -- La principal característica de esta zona es la ausencia de acuíferos con agua salada ni siquiera salobre. El agua subterránea presenta residuo seco de 200 a 600 mg/l de NO - SE. Son acuíferos confinados/semiconfinados del Complejo Yrenda (> 120 m prof.), en sedimentos no consolidados del Cuaternario (arenas medias a finas), caudales moderados (20 - 80 m³/h).

Zona II -- Acuíferos confinados/semiconfinados del Complejo Yrenda con agua salobre y salada en sedimentos no consolidados del Cuaternario (arenas finas). Presencia de acuíferos libres, del Complejo Paleocauce, en forma de lentes o bolsones en ambiente de agua salada; caudales bajos (<5 m³/h).

Zona III -- Combinación de las dos anteriores. La característica más resaltante de esta zona es la presencia de agua subterránea salada sobrepuesto a acuíferos con agua dulce. Los acuíferos con agua salada se presentan en algunos lugares hasta los 50 m y en otras hasta los 150 m de profundidad. Por debajo de ellas se presentan los acuíferos con agua de buena calidad.

Zona IV -- Acuíferos confinados del Complejo Yrenda, con agua salada, en sedimentos Terciario-Cuaternarios. Presencia esporádica de acuíferos someros del Complejo

Aluvial, con agua dulce, en meandros y planicies de inundación de ríos y riachos.

Zona V -- Rocas Paleozoicas sin acuíferos. Esporádica presencia de acuíferos freáticos, con agua buena, en antiguos valles aluviales (arenas finas); caudales bajos (< 1,5 m³/h).

Zona VI -- Acuíferos someros, con agua buena, en sedimentos del Cuaternario, de espesores reducidos, que cubren rocas Paleozoicas con permeabilidad secundaria (potencial desconocido).

Zona VII -- Acuífero Adrián Jara, libres y confinados, con agua dulce, en rocas sedimentarias; caudales moderados (> 20 m³/h).

Por otra lado, debido a la gran carga hidráulica del Acuífero Chaco Yrenda, ella contamina con agua salada los acuíferos de la región Oriental, afectando una franja de aproximadamente 1 a 10 Km a lo largo del río Paraguay. Esta masa de agua salada se hunde en forma de cuña a partir del río Paraguay, sobreponiéndosele un cuerpo de agua dulce con mayor potencial hidráulico y con flujos subterráneos proveniente de área de mayor altitud del este de la región Oriental (Santa Cruz, 1994).

4. IMPORTANCIA SOCIO - ECONOMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La disponibilidad de recursos hídricos subterráneos aprovechables en la región Oriental del Paraguay es abundante. Constituyen, por un lado, un recurso de gran alcance social pues el 70 % de la población del país tendrá que usarlo probablemente en forma permanente, y por otro lado económico, dado el bajo costo de su

explotación, verificandose que, aún en las condiciones más desfavorables, el valor monetario medio de cada metro cúbico producido es inferior a 1/3 2/3 del costo que representaría el aprovechamiento de los recursos de aguas superficiales.

Se estima que la reserva reguladora (volumen de agua de la zona de fluctuación del nivel de saturación. Corresponde al volumen de realimentación anual o estacional) de los acuíferos potenciales está en el orden de los 1.200 millones de metros cúbicos anuales, de los cuales solamente el 20 - 30 % es utilizado para consumo humano y animal. Estos valores comparativos sólo tienen sentido desde el punto de vista global, debiendo ser definido con mayor detalle a nivel regional y local.

Los sistemas acuíferos **Patiño** y **Caacupé**, como reciben recargas moderadas, y por el hecho de que el mayor porcentaje de la población del país están asentadas sobre dichos acuíferos, sus potenciales solamente deberán ser aprovechados para abastecimiento humano y en forma restringida para uso industrial.

Sobre el **Acuífero Patiño** están asentadas la gran mayoría de las industrias y fábricas del país, las cuales utilizan para abastecimiento, mayormente, el agua subterránea, que en algunos casos ya ocasionan problemas de sobreexplotación e interferencias de pozos, como así también la contaminación de los cursos de aguas superficiales y en consecuencia la contaminación de los acuíferos. Es altamente prioritario realizar una evaluación de este acuífero, referente a la evolución de los niveles y calidades del agua, como así también definir las áreas de recarga de manera que se pueda preservar y conservar este acuífero.

El **Acuífero Misiones** es el que presenta las mejores condiciones para su explotación intensiva en gran escala. El agua es de buena calidad y puede ser utilizada para riego, consumo humano, animal e industrial. Así mismo, debido al confinamiento de los basaltos, se puede obtener grandes volúmenes de agua caliente, que pueden ser utilizadas

para diversos fines, y en especial para polos turísticos con aguas termales.

En cuanto al **Acuífero Alto Paraná**, por ser aleatorio el éxito de las perforaciones ya que están subordinados a los sistemas de fracturas, su utilización en gran escala es restringido. Su calidad permite utilizarla para todos los fines, pero para riego no es recomendable, ya que una extracción excesiva podría alterar el equilibrio recarga - descarga.

En relación a la explotación del **Acuífero Chaco Yrenda**, debido a que los períodos de permanencia y los recorridos del agua subterránea son muy largos, el factor clave no es la cantidad sino la calidad.

El grado actual de conocimiento permite realizar una zonificación, de la región Occidental o Chaco del Paraguay, en cuanto al uso del agua subterránea para consumo humano y animal, tal como se presenta en la Fig. 4. En cuanto su utilización en riego, también se puede realizar una zonificación de acuerdo a la aptitud de los cultivos para tolerar cierto grado de salinización y alcalinización del suelo, como se muestra en la Fig. 5.

Es necesario aclarar que la incidencia de caudales bajos de los pozos que captan estos acuíferos potenciales, en la gran mayoría de los casos, se debe a la deficiencia constructiva de los pozos y/o al hecho de que son parcialmente penetrantes.

La utilización de perfilaje de pozos (rayos gamma, resistividades, potencial espontáneo), que analizados en conjunto con las muestras de cuttings, suministran las condiciones necesarias para la ubicación de filtros frontalmente a las capas más productivas del acuífero. De manera que los pozos con características constructivas adecuadas y totalmente penetrantes, están suministrando excelentes caudales.

Así mismo, el uso de fluidos de perforación sin partículas sólidas en suspensión a base de polímeros orgánicos, están reemplazando a lodos bentoníticos con mejores resultados en la perforación de pozos.

5. CONCLUSION

Los acuíferos potenciales del Paraguay, aquí presentados, deberán constituir como integrante fundamental de los estudios de planificación de desarrollo regional, teniendo en cuenta sus grandes posibilidades para satisfacer las demandas de abastecimientos urbanos, industriales y agrícolas.

Por otro lado, considerando el alcance social, económico y estratégico de los

recursos hídricos subterráneos del Paraguay, la importancia de una investigación sistemática y más criteriosa de los acuíferos se hace imperativo ante la creciente utilización de las aguas subterráneas para diversos usos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIAR, A.T.DE; ANDRADE, E. DE P.; HIRATA, R.C.A. & SILVA, R.B.G. DA (1984). **DAEE - 10 Anos de Experiencia Acumulada na Exploração dos Recursos Hídricos Subterrâneos**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas, Fortaleza - CE. p. 1 - 30.
- DE SALVO, O.E. (1991). **Contribución al Conocimiento Hidrogeológico de las Rocas Basálticas de la Formación Alto Paraná**. Memorias del 1er. Simposio sobre Aguas Subterrâneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Asunción - Paraguay. p. 101 - 117.
- FÚLFARO, V.J. & ALVARENGA, D. (1986). **Mapa Geológico del Paraguay. Texto Explicativo**. Proyecto PAR/83/005. Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Asunción - Paraguay. 93 p.
- GODOY V., E. (1989). **Ocurrencia, Calidad y Propuesta de Estratificación de las Aguas Subterrâneas del Chaco Paraguayo**. Publicación del Departamento de Agua para el Chaco (CNDRICH). Recursos Naturales : Geología - Hidrología, N° 1. Filadelfia - Paraguay. p. 27-44.
- GODOY V., E. (1990). **Características Hidrogeológicas e Hidroquímicas de la Región Oeste del Chaco Paraguayo**. Disertación de Maestría. Centro de Tecnología de la Universidad Federal de Pernambuco. Recife - Brasil. 147 p.
- GODOY V., E. & PAREDES, J.L. (1994). **Las Aguas Subterrâneas del Chaco Boreal - Central Sudamericano**. 2º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterrânea, Vol. 2. Santiago - Chile. p. 641 - 656.
- GOUVEIA DA SILVA, R.B.; DIOGO, A. & FRAIHA JUNIOR, S. (1982). **Características Hidroquímicas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. Anais de 2º Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas. Salvador - Bahia. p. 411 - 420.
- LOPES, M.F.C. (1984). **Agua Subterrânea no Estado de São Paulo - Síntese das Condições de Ocorrença**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas. Fortaleza- Ceará. p. 305 - 316.
- MENTE, A.; SILVA, E. & GODOY V., E. (1986). **Memoria del Mapa Hidrogeológico del Paraguay. Escala 1: 1.000.000**. Proyecto PAR/83/ 005. Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Asunción - Paraguay. 106 p.
- QUAGLIA GIAMPA, E.E. & SOUZA, J.C. (1982). **Potencial Aquífero dos Basaltos da Formação Serra Geral no Estado de São Paulo**. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas. Salvador - Bahia. p. 03 - 15.
- REBOUÇAS, A. DA CUNHA (1981). **Aguas Subterrâneas. Fator para o Desenvolvimento. ABAS**. Revista Aguas Subterrâneas N° 3. Agosto 1981. Brasil. p. 31 - 48.
- ROSA FILHO, E.F.; KONDO, M. & SALAMUNI, R. (1984). **Agua Subterrânea nos Basaltos da Bacia do Iguaçú**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas. Fortaleza- CE, p. 217 - 224.
- SANTA CRUZ, J.N. (1994). **Interpretación como Relación Acuñaada Agua Dulce - Agua Salada en un Acuífero Continental no Costero**. Villeta - Rca.del Paraguay. II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterrânea. Vol. 1. Santiago - Chile. p. 97 - 110.
- UNESCO / ROSTLAC (1989). **Mapa Hidrogeológico de América del Sur. Escala 1: 5.000.000. Texto Explicativo (borrador)**. Departamento Nacional de Producción Mineral (DNPM - MME). Brasil.

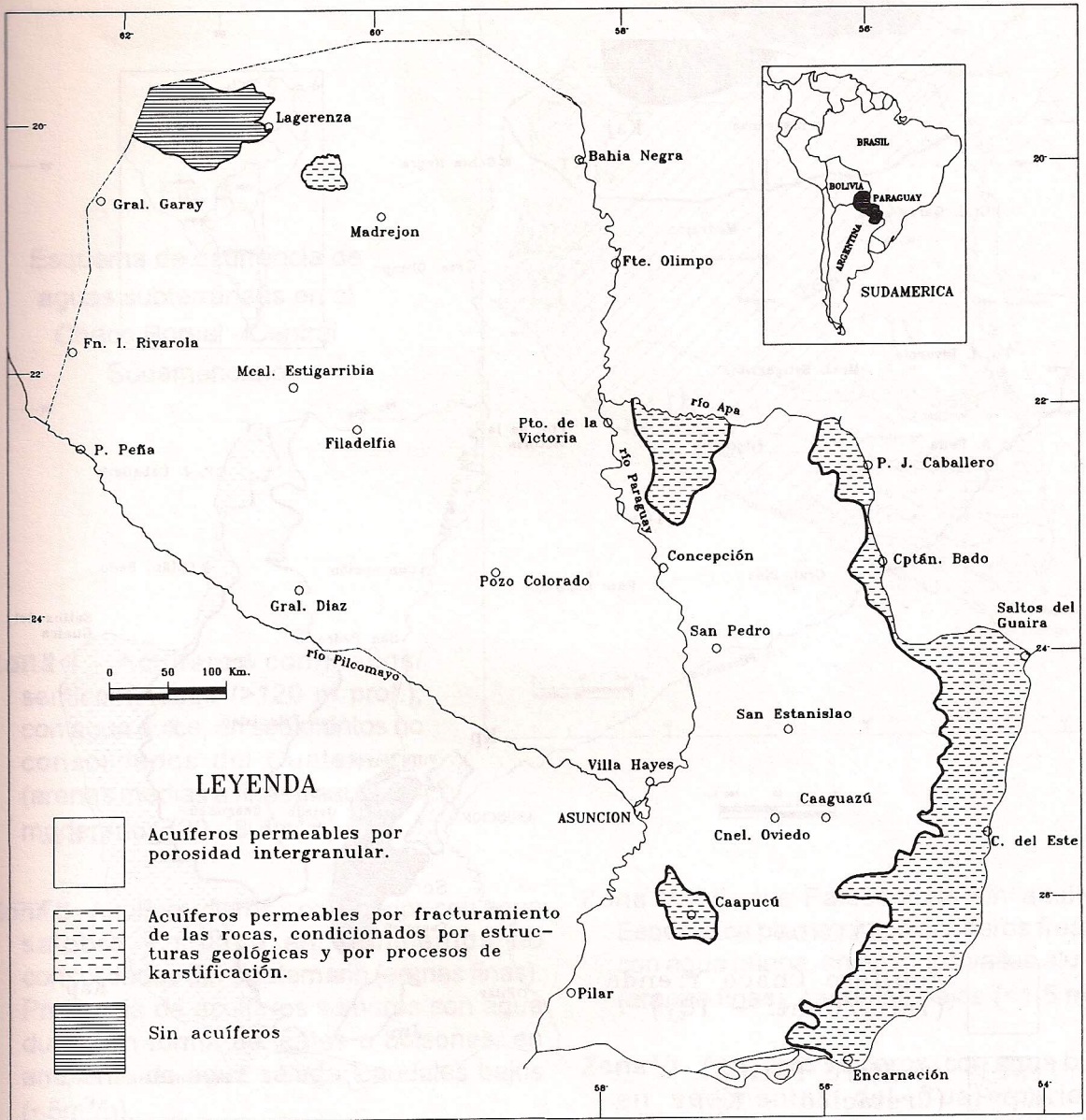


Fig. 1 : Sistemas acuíferos del Paraguay

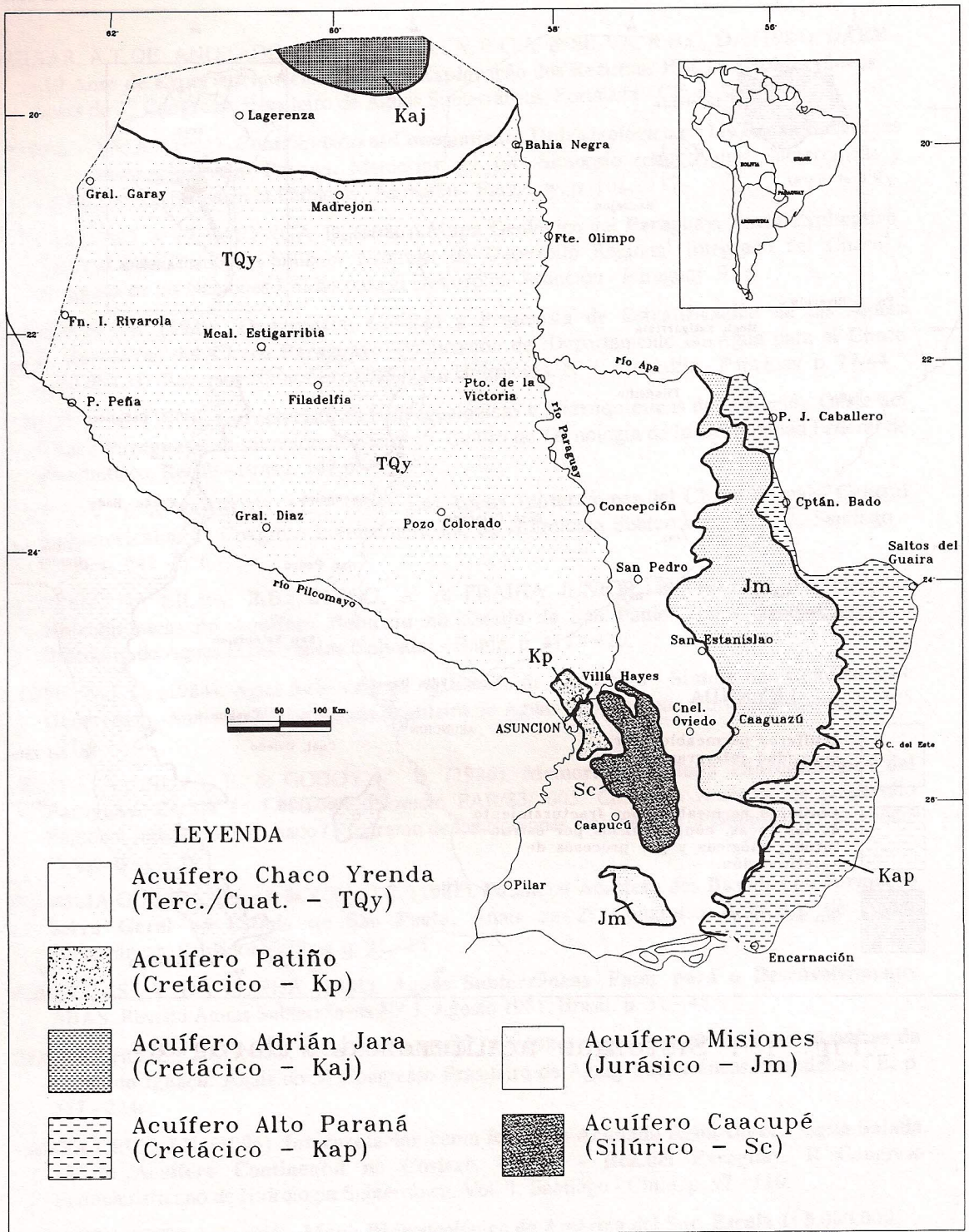
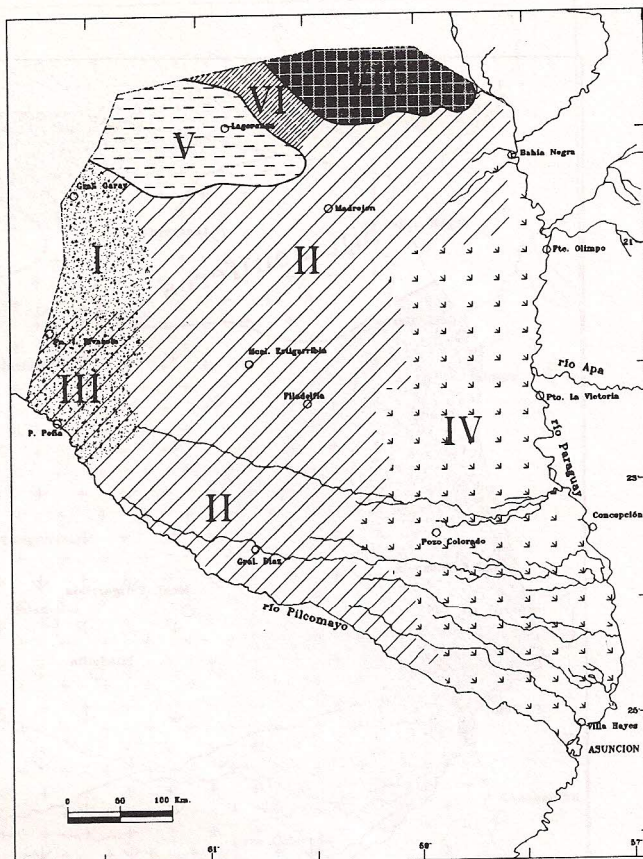


Fig. 2: Acuíferos potenciales del Paraguay

Fig. 3

Esquema de ocurrencia de aguas subterráneas en el Chaco Boreal - Central Sudamericano



Zona I - Acuíferos confinados/semiconfinados (>120 m prof.), con agua dulce, en sedimentos no consolidados del Cuaternario (arenas medias a finas); caudales moderados (20 - 80 m³/h).

Zona II - Acuíferos libres y confinados con agua salobre y salada en sedimentos no consolidados del Cuaternario (arenas finas). Presencia de acuíferos someros con agua dulce, en forma de lentes o bolsones, en ambiente de agua salada; caudales bajos (<5m³/h).

Zona III - Combinación de las dos anteriores. Los acuíferos confinados, con agua dulce, se presentan por debajo de los 150 - 190 m de profundidad; caudales moderados (>20 m³/h).

Zona IV - Acuíferos libres y confinados con agua salada, en sedimentos Terciario-Cuaternarios. Presencia esporádica de acuíferos someros con agua dulce en meandros y planicies de inundación de ríos y riachos.

Zona V - Rocas Paleozoicas sin acuíferos. Esporádica presencia de acuíferos freáticos, con agua buena, en antiguos valles aluviales (arenas finas); caudales bajos (<1.5 m³/h).

Zona VI - Acuíferos someros, con agua buena, en sedimentos del Cuaternario, de espesores reducidos, que cubren rocas Paleozoicas con permeabilidad secundaria (potencial desconocido).

Zona VII - Acuíferos libres y confinados, con agua dulce, en rocas sedimentarias (areniscas del Paleozoico - Mesozoico); caudales moderados (>20 m³/h).

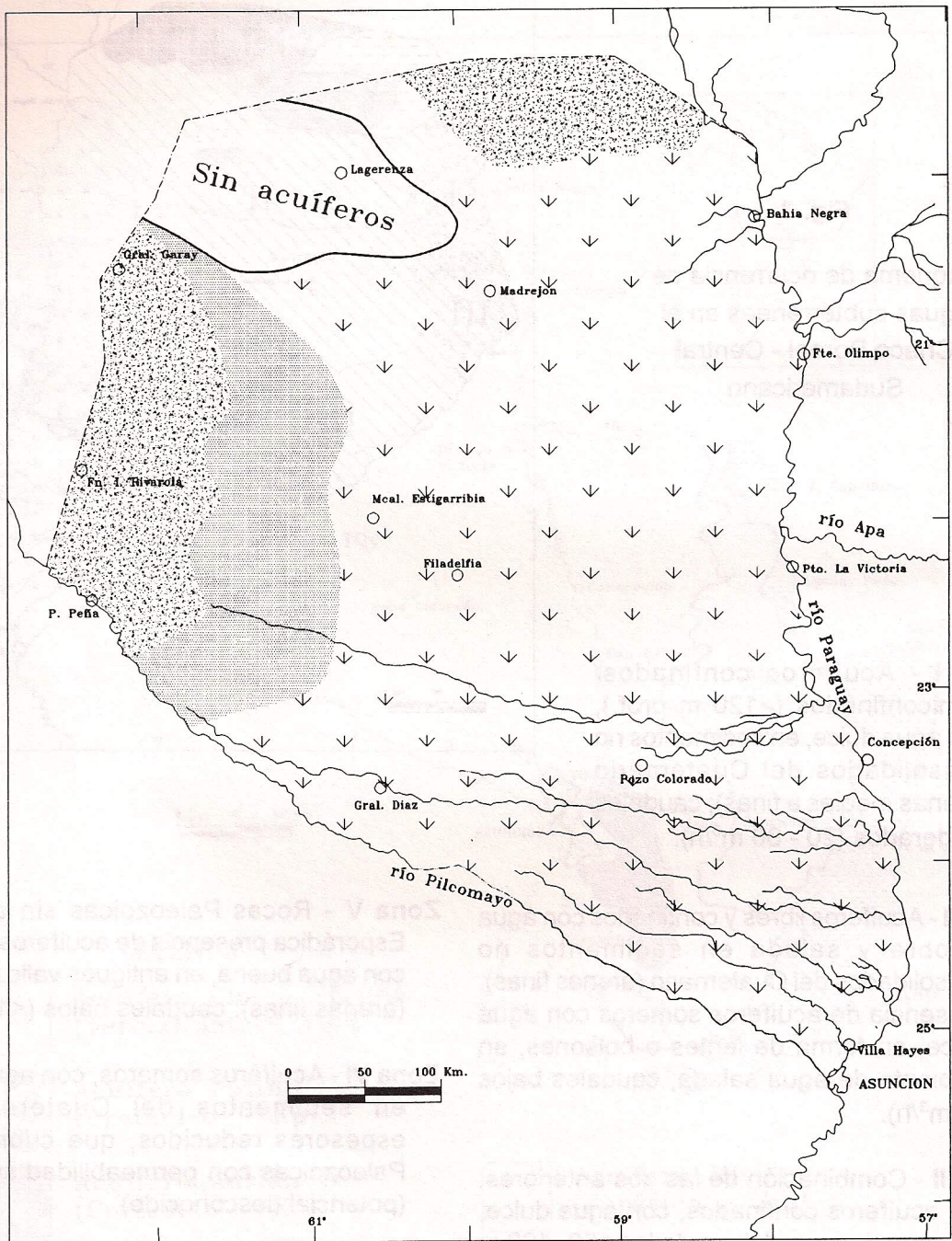
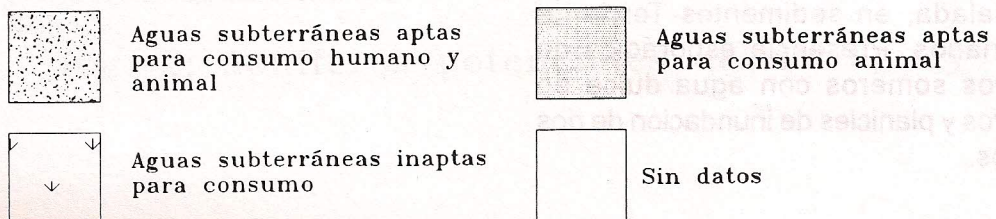


Fig. 4: Aptitud de las aguas subterráneas para el consumo humano y animal (profundidad de captación >50 m.)



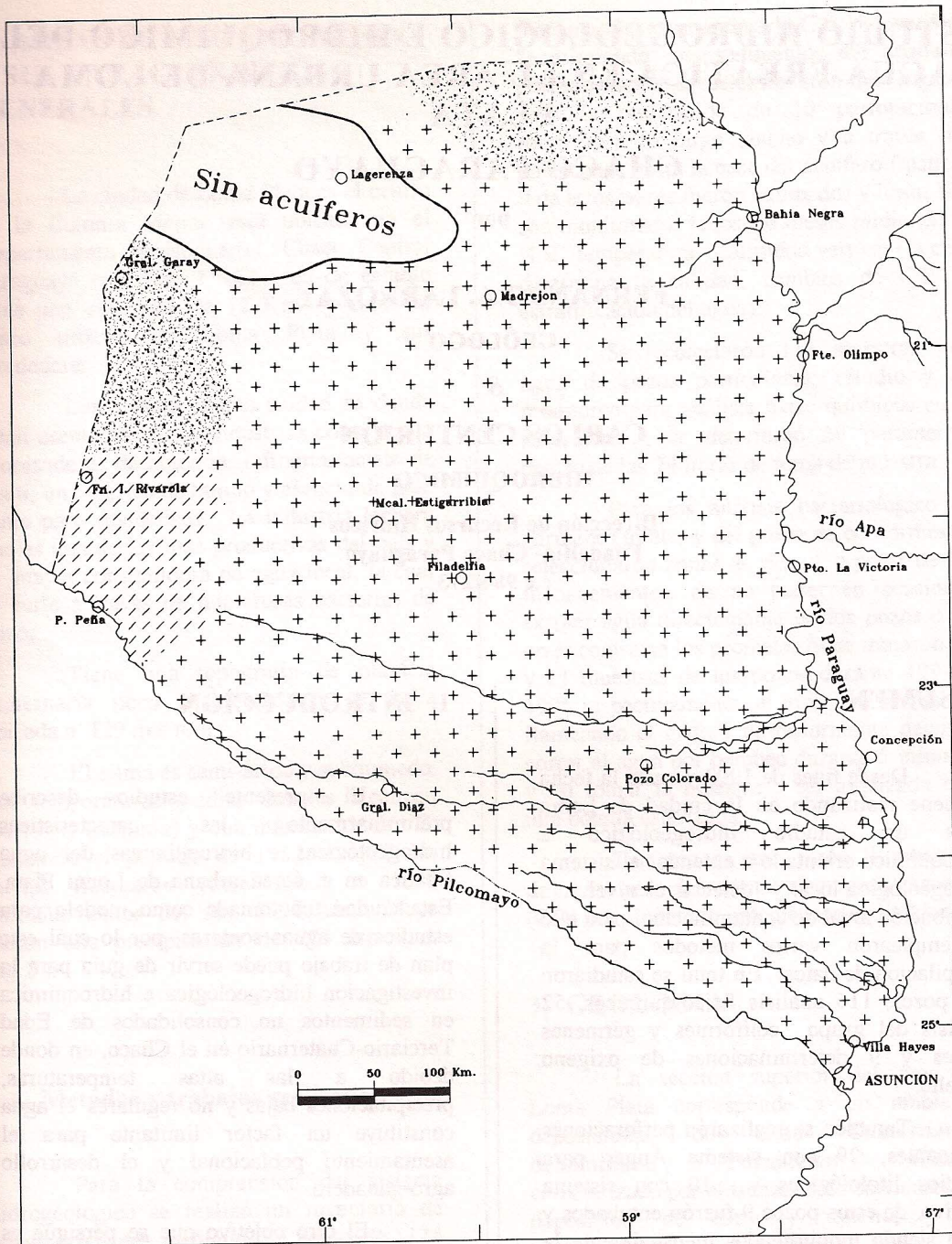
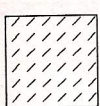


Fig. 5: Aptitud de las aguas subterráneas profundas para riego (>50 m.)



Mejores posibilidades de utilización del agua subterránea para riego



Se pueden regar con agua subterránea cultivos resistentes a la salinidad para "RAS>15" necesitan tratamiento con yeso



Las aguas subterráneas no son adecuadas para el riego, por el alto nivel de salinidad



Sin datos