

Gestión Sustentable del Agua Subterránea

Lecciones de la Práctica

Colección de Casos Esquemáticos Caso 9**

La Iniciativa del Acuífero Guaraní – Hacia la Gestión Realista del Agua Subterránea en un Contexto Transfronterizo

Noviembre 2009**

(sustituye a las versiones de diciembre de 2004* y septiembre de 2006*)

Autores: Stephen Foster, Ricardo Hirata, Ana Vidal, Gerhard Schmidt[^] y Héctor Garduño
([^] Federal Institute for Geosciences & Natural Resources (BGR) of Hannover-Germany)
Gerentes de Proyecto: Karin Kemper, Abel Mejía, Douglas Olson y Samuel Taffesse (Banco Mundial-LCR)
Organismos Contraparte: Secretaría del Programa Guaraní de la OEA Guaraní Secretariat, Ministerio do Medio Ambiente-Secretaria dos Recursos Hidricos (MMA-SRH) y Agência Nacional de Aguas (ANA) - Brasil, Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) -Argentina, Secretaría del Ambiente (SEAM) - Paraguay, Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (DINASA)-Uruguay

Este caso esquemático proporciona primero una descripción científica concisa de los avances en la comprensión del Sistema Acuífero Guaraní, generada por el Programa de Protección Ambiental y Desarrollo Sustentable de las naciones del Mercosur de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, financiado por GEF Global Environmental Facility). El programa, emprendido durante mayo de 2003-enero de 2009, fue implementado por la Organización de los Estados Americanos (OEA) bajo la supervisión del Banco Mundial y con asesoría detallada de GW-MATE, y se benefició de contribuciones importantes de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) y del BGR a través de la cooperación alemana para el desarrollo. La descripción científica es seguida por una evaluación detallada de las principales implicaciones para la estrategia de gestión del recurso, el progreso de las medidas prácticas de gestión y de protección del agua subterránea a nivel local con proyectos piloto en curso (tanto dentro como fuera del programa GEF), y el estado y fortalecimiento de las disposiciones institucionales y legales asociadas. El 'documento de referencia básico' para la evaluación es el Programa GEF Plan Estratégico de Acción (PEA) de 2009, pero las dimensiones de la gestión del recurso hídrico subterráneo son el enfoque principal de este documento, por lo que se discuten con mayor detalle. GW-MATE reconoce la contribución principal de la Secretaría del Programa Guaraní de la OEA y los Facilitadores de los Proyectos Piloto, junto con las agencias de los gobiernos y comités nacionales, y de los consultores y académicos que ejecutaron varias partes del programa bajo contrato.

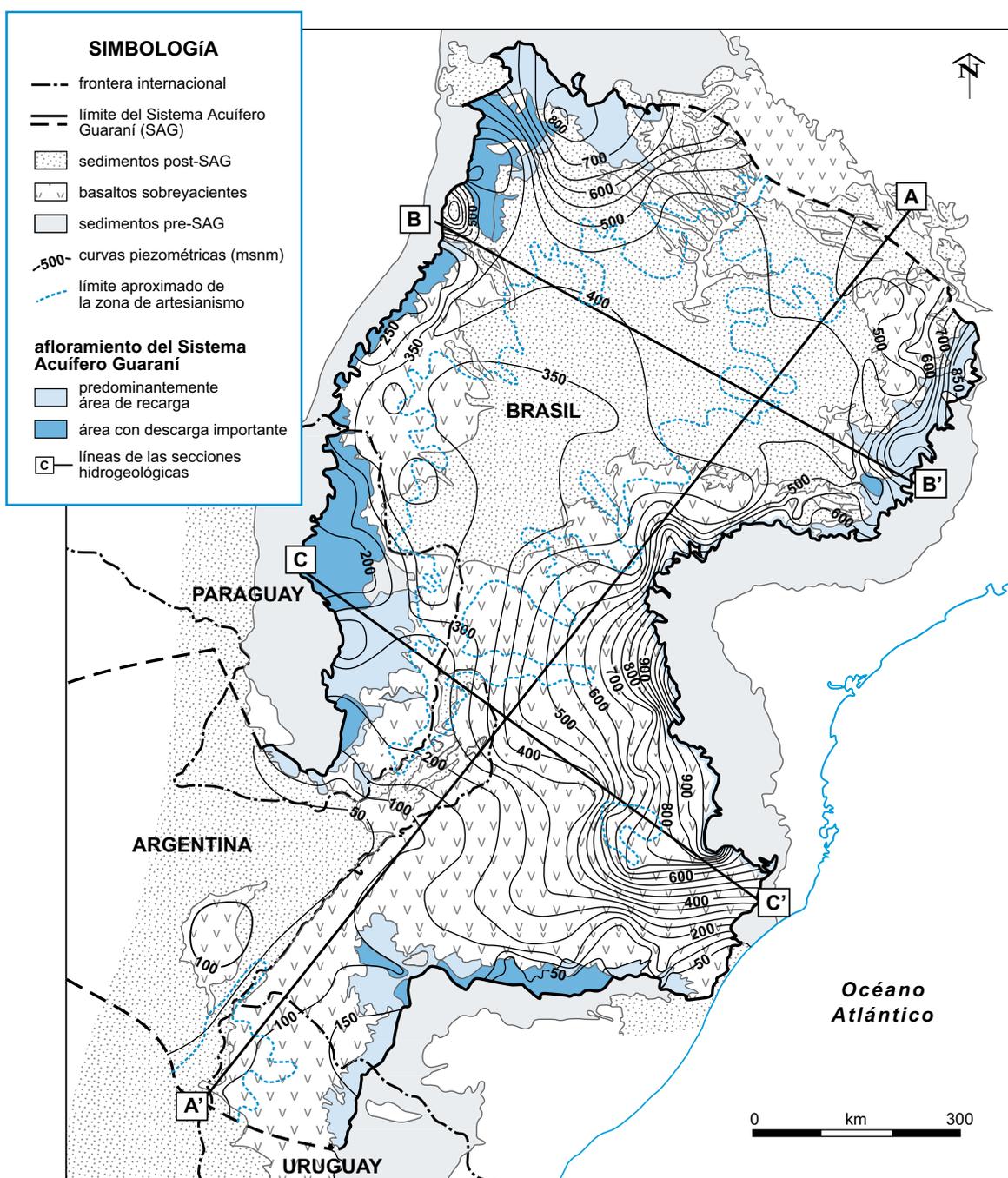
CONSOLIDACIÓN DE LA COMPRENSIÓN CIENTÍFICA DEL ACUÍFERO DE GUARANÍ

Características Hidrogeológicas del Sistema Acuífero

- El Acuífero Guaraní es un sistema hidrogeológico enorme que está debajo de un área de aproximadamente 1.100.000 km² principalmente en la cuenca del Río Paraná de Brasil (con cerca del 62% de su

extensión conocida), de Paraguay, de Uruguay y de Argentina (Figura 1). Tiene un espesor promedio de unos 250 m (con variación de < 50 a > 600m) y alcanza profundidades mayores a los 1.000 m (Figura 2). El volumen total de agua dulce que contiene almacenada se estima que es de alrededor de 30.000 km³ - equivalente a 100 años del caudal acumulado del Río Paraná. El acuífero se extiende a través de numerosos límites políticos internacionales, así como de muchos estados de Brasil y de provincias de Argentina, que son países federados donde los recursos hídricos subterráneos están esencialmente bajo la jurisdicción del nivel estatal/provincial.

Figura 1: Mapa Hidrogeológico esquemático del Sistema Acuífero Guaraní



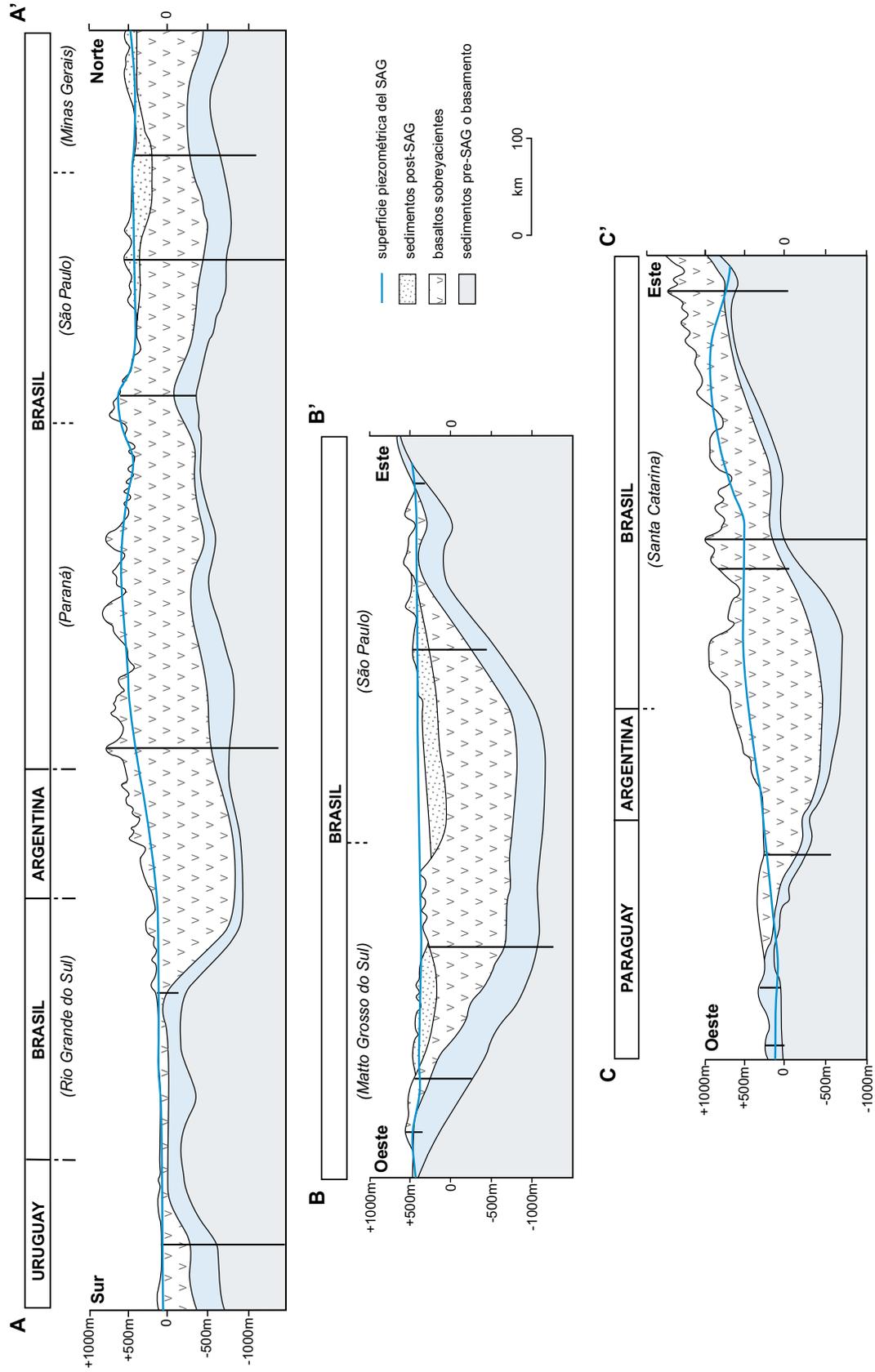


Figura 2: Secciones Hidrogeológicas del Sistema Acuífero Guarani

- El sistema acuífero Guaraní (SAG de la abreviatura española y portuguesa) abarca una secuencia de lechos de arenisca (principalmente poco cementadas) de edad Triásico-Jurásica - fueron formadas por procesos (eólico, fluvial y lacustre) de depósitos continentales sobre una superficie regional Permo-Triásica de erosión (fecha en 250 M años antes del presente) y están cubiertos por flujos de basalto Cretácico (fechados en 145-130 M años antes del presente), los cuales son casi igual de extensos y exceden el espesor de 1.000 m en algunas áreas.
- La correlación geostratigráfica de estas rocas areniscas fue reconocida solamente hasta en los años 90, después de la perforación de pozos para exploración petrolera y de la interpretación estratigráfica subsecuente por investigadores académicos, que nombraron el sistema como acuífero 'Guaraní' en homenaje a la población indígena de la zona. Las formaciones geológicas que constituyen el SAG, y cuya nomenclatura es anterior a esta denominación, son conocidas con diversos nombres en diferentes áreas (Tabla 1).
- El acuífero se encuentra principalmente en tres 'ambientes hidrogeológicos' delimitados por dos estructuras geológicas que han ejercido control en el espesor y profundidad del acuífero, y ahora influyen en el flujo regional de agua subterránea:
 - el Arco de Ponta Grossa (en el norte del Estado de Paraná-Brasil), que fuerza al agua subterránea para que fluya del este al oeste en el Estado de São Paulo -Brasil
 - el Arco de Asunción-Río Grande, que divide la porción sur del Arco de Ponta Grossa en dos cuencas sedimentarias semiindependientes - el Paraná central y la región sudoeste del Chaco en el Bajo Paraná.

El SAG está también afectado por muchas estructuras tectónicas y atravesado por numerosos diques volcánicos, pero a pesar de estas importantes discontinuidades a escala local se le considera un cuerpo continuo de agua subterránea a través de toda la región.

Tabla 1: Subdivisión estratigráfica del Sistema Acuífero Guaraní

Pais	URUGUAY	ARGENTINA	PARAGUAY	BRASIL
Cuenca Sedimentaria	norte	Chaco-Paraná	Paraná	sur Paraná central norte
POST-SAG	basaltos Arapey	varias formaciones	basaltos del Alto Paraná	basaltos de la Serra Geral
(Bajo Cretácico)	(Miembro superior Tacuarembó (Miembro inferior) Itacumbú	Misiones o Tacuarembó	Misiones	Botucatu
SAG		<i>Discontinuidad Jurásica en el interior de la cuenca</i>		Guará
(Triásico)				Caturrita Santa María
				Pirambóia
	PRE-SAG			

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ALMACENAMIENTO Y DEL RÉGIMEN DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El 'Sistema de Flujo Activo' en las Áreas de Recarga

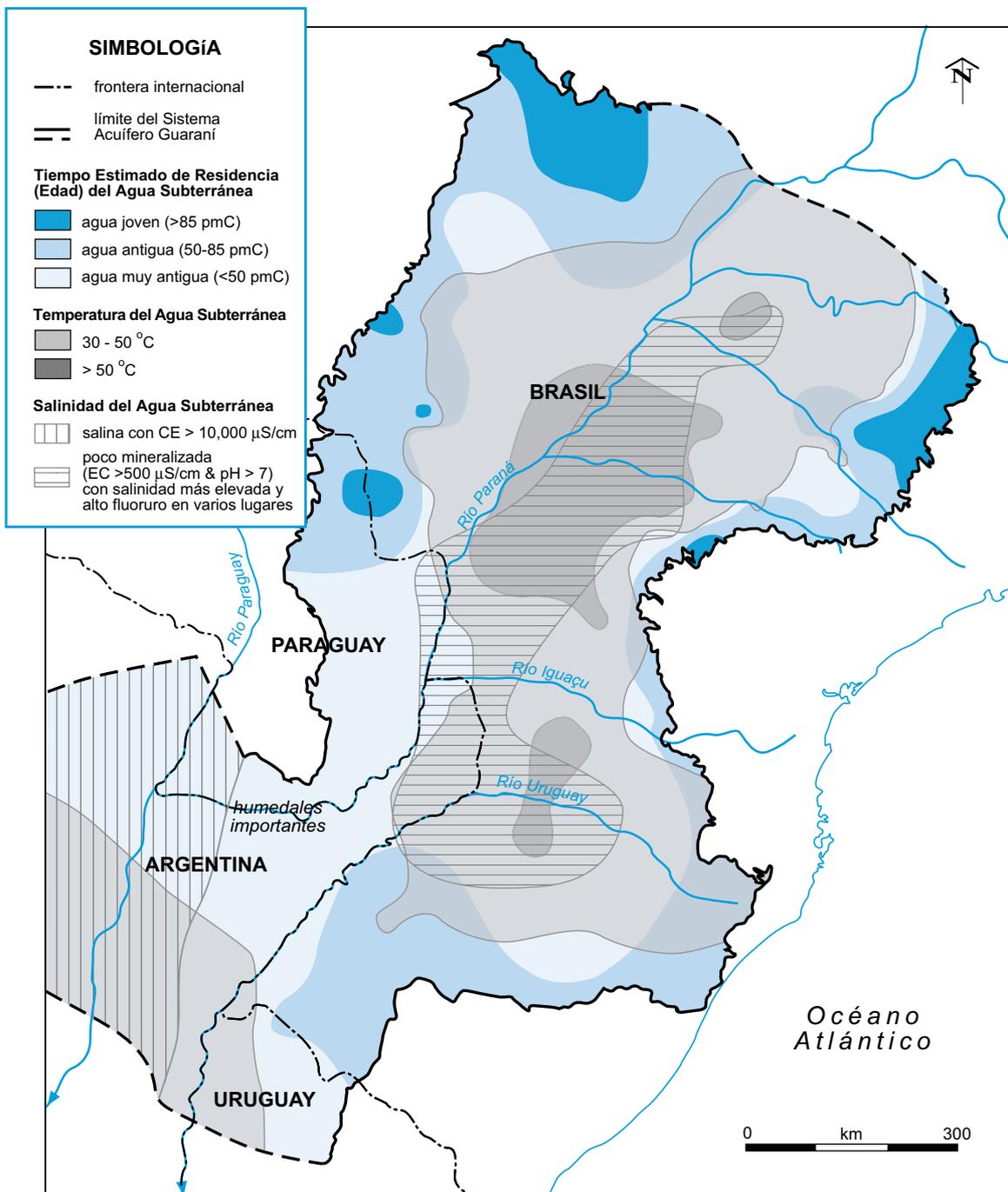
- La recarga del SAG ocurre por la infiltración directa de la precipitación excedente y el escurrimiento superficial a lo largo de las áreas donde aflora el acuífero (Figura 1), y en las zonas adyacentes que tienen un limitado espesor de basalto bien fracturado y mediante 'ventanas' en el basalto desde cuerpos locales de agua subterránea en formaciones de sedimentos Terciarios.
- La alta precipitación media en la mayor parte del área de recarga del SAG (1000-2000 mm/año) en potencialmente elevados rangos de recarga del acuífero (300-400 y 500-600 mm/año en las regiones norte y sur respectivamente. Aunque algo puede ser 'rechazado' debido a una inadecuada capacidad de infiltración o a niveles freáticos muy someros, la mayoría de esta recarga potencial se infiltra formando sistemas de flujo local los cuales se descargan cerca en forma de flujo base a través del afloramiento del SAG. En éstas áreas los gradientes hidráulicos del agua subterránea son mayores a 3-5 m/km y las actuales velocidades de flujo son mayores a 5 m/año.
- Hay sin embargo, diferencias de detalle entre las áreas de recarga (Figura 1) en el 'flanco noroeste' y la cuenca principal (Paraguay a Mattto Grosso do Sul-Brasil) y en el 'flanco noreste' (del Estado de Santa Catarina al Estado de Sao Paulo en Brasil), donde el reducido espesor de las formaciones y depresiones profundas resultan en un área mucho más estrecha de afloramiento, una pequeña zona donde la recarga a través de la cubierta de basalto es favorable y mucho más restringida en las áreas de descarga del acuífero (Figura 1).
- La valoración del índice de recarga total actual del SAG no es simple debido a las incertidumbres, no sólo en la variación espacial de las tasas de recarga media potencial, sino que también en la proporción de área de afloramiento del SAG que permita la recarga y en el grado de recarga en las áreas con cubierta de basaltos. Pero el área total de recarga del SAG es solamente una proporción de menor importancia en relación con la extensión conocida del acuífero (Figura 1), y usando las mejores estimaciones de los factores anteriores resulta un valor en el rango de 45-55 km³/año que parece razonable - esto es menos del 0,2% del almacenamiento estimado de agua dulce. El SAG es así indiscutiblemente un sistema de agua subterránea totalmente 'dominado por el almacenamiento', y esta realidad se refleja ampliamente en los resultados y las conclusiones que se exponen a continuación.

La Imagen Contrastante del 'Almacenamiento Regional'

- El más reciente mapa piezométrico del agua subterránea (Figura 1) indica cierto flujo regional de las principales áreas de recarga hacia las cuencas estructurales más profundas, y subsecuentemente flujo en dirección sur paralela al eje general de la Cuenca del Paraná. Hacia el centro de las cuencas estructurales, el agua subterránea del SAG es progresivamente más confinado por un espesor cada vez mayor de basaltos sobreyacentes y presenta carga hidráulica artesiana al derramar en pozos de agua profundos en extensas áreas (Figura 1).
- El SAG tiene una 'permeabilidad' relativamente alta (Kh de 5-10 m/d) y una transmisividad media estimada en 300 m²/d (con un rango de 50-1200 m²/d), pero el terreno plano y los gradientes hidráulicos

bajos en el acuífero confinado (entre 0.1-0.3 m/km) implican velocidades de flujo de agua subterránea muy bajas (menos de 0,5 m/año). El modelo numérico del acuífero sugiere que el flujo activo de agua subterránea en el acuífero confinado profundo es muy limitado, probablemente equivalente a 10-15 mm/año de infiltración vertical en el área de recarga (solamente cerca del 1-2% de la precipitación anual).

Figura 3: 'Edades del agua subterránea' basadas en el análisis de $\delta^{14}C$ como porcentaje de carbono moderno (pmC) para el Sistema Acuífero Guaraní y su variación regional de la temperatura y la salinidad del agua subterránea



- Con el aumento de la profundidad y del confinamiento la temperatura del agua subterránea también aumenta substancialmente (como resultado de gradientes geotérmicos normales), tales que forma un recurso hidrotermal de baja entalpia con temperaturas que exceden sobradamente los 40°C y que localmente alcanzan los 60°C (Figura 3). Se debe anotar que el aumento de la temperatura también reduce perceptiblemente la viscosidad del agua subterránea.
- Indudablemente que ocurre cierta descarga natural del régimen regional de flujo - pero no está todavía cuantificada debido a la dificultad en la detección y la medición de pequeñas corrientes ascendentes de agua subterránea en áreas con grandes flujos en ríos. Pero por ejemplo, a menudo hay pequeños manantiales con composición química similar a la del agua subterránea confinada del SAG en áreas con diques volcánicos, y otras zonas de descarga potencial (con estructura geológica favorable, niveles piezométricos del acuífero y espesor reducido del basalto) incluyen secciones del Río Paraná (a lo largo de la frontera de Paraguay) y del Río Uruguay (en los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina - Brasil), los Esteros de Ibera (Argentina) y los humedales de Ñeembacú (Paraguay) (Figura 3).
- Un extenso estudio de la composición de isótopos ambientales (^3H , $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$, $\delta^{14}\text{C}/\delta^{13}\text{C}$) de las aguas subterráneas del SAG resultó muy útil para corroborar el modelo de flujo regional. El agua subterránea asociada al área de recarga del acuífero tiene valores de $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ generalmente similares a los de la precipitación actual ($> -7.5\%$ en $\delta^{18}\text{O}$). Además, la presencia de ^3H hasta 3 T.U. y la actividad de $\delta^{14}\text{C}$ cercana a 100 pmC confirman la presencia de agua de recarga reciente, incluyendo debajo de algunas 'ventanas' en zonas con basaltos de gran espesor.
- La rápida declinación de la actividad de $\delta^{14}\text{C}$ a lo largo de las trayectorias de flujo del agua subterránea hacia la zona altamente confinada del SAG es considerada como circulación extremadamente lenta - la mayoría de las perforaciones profundas registran $\delta^{14}\text{C}$ debajo del límite de detección (probablemente el agua se recargó hace más de 35.000 años) (Figura 3). Además el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ del agua subterránea en algunas áreas confinadas del SAG (p. ej. en el Estado de São Paulo-Brasil) es la primera señal anómala, dando una composición del isótopo estable más negativa que la precipitación actual ($\delta^{18}\text{O}$ de -8 a -9.5%) - esto refleja paleo-agua subterránea probablemente recargada bajo condiciones climáticas más frías, pero no se encuentra el mismo fenómeno en la parte sur del SAG.

Régimen de la Calidad Natural del Agua

- La calidad natural del agua subterránea en el SAG es generalmente muy buena con niveles bajos de mineralización en la mayoría de las áreas. Se observa una evolución hidroquímica de las aguas de recarga en las áreas de afloramiento que fluyen lentamente hacia el acuífero confinado más profundo (Figura 2) con la disolución de los carbonatos (confirmado por el contenido de $\delta^{13}\text{C}$ del carbón inorgánico disuelto), procesos de intercambio iónico (notablemente Na que substituye Ca en la solución), aumento de pH de 6.8 a 9.5 y también por marcados aumentos de la temperatura.
- Los datos hidroquímicos e isotópicos indican que las formaciones debajo de partes del SAG (sobre todo los acuitardos salinos) contribuyen a la salinidad observada y al aumento significativo de elementos traza (especialmente F y más localmente As) en ciertas áreas, pero que esta contribución no es significativa en términos de volúmenes de flujo asociados al agua subterránea. Hay también aumentos marcados y generalmente hacia profundidad en la salinidad del agua subterránea en el extremo sudoeste del SAG en

Tabla 2: Cambios químicos típicos en las aguas subterráneas del Sistema Acuífero Guaraní cuando se sigue el curso al oeste hacia abajo desde Ribeirão Preto (São Pablo) - Brasil

PARÁMETRO (unidades)		POZOS EN EL AFLORAMIENTO	POZOS EN LA PARTE PROFUNDA (distancia desde el afloramiento)	
			30km	150km
Características Químicas				
T (OC)	temperatura	24	26	42
pH	acidez	6.5	8.5	9.5
Ca (mg/l)	calcio	30	20	2
Na (mg/l)	sodio	1	5	90
HCO ₃ (mg/l)	bicarbonato	15	75	160
Cl (mg/l)	cloruro	1	2	10
F (mg/l)	fluoruro	< 0.1	0.2	> 1.0
SiO ₂ (mg/l)	sílice	15	20	30

(datos seleccionados de Sracek e Hirata, 2002)

Argentina (Figura 3), que marcan con eficacia el límite potencialmente útil del sistema acuífero. También ha habido algunas preocupaciones de que el agua subterránea confinada profunda pueda contener localmente niveles significativos de isótopos solubles de U, radio y de gas radón.

MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO Y LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Estado Actual y Directrices Futuras de la Utilización del Recurso

- El reciente Programa del Acuífero Guaraní ha terminado un inventario completo de pozos de producción en el SAG resultando una explotación actual del recurso de 1.04 km³/año, con el 94% en Brasil (donde cerca del 80% está en el Estado de São Paulo), el 3% en Uruguay, el 2% en Paraguay y el 1% en Argentina. El 80% del total se utiliza para el abastecimiento de agua para consumo humano, el 15% para procesos industriales y el 5% por balnearios con aguas termales.
- Se estima que alrededor de 2.000 pozos profundos de producción están operando. Algunos tienen la capacidad de producir más de 500 m³/hora aunque ésta es menor cuando se utiliza solamente la producción por descarga artesiana- en relación con la extracción media actual menos del 20% del total producen más de 100 m³/hora.
- La extensa área donde se encuentra abajo el SAG tiene una población actual de aproximadamente 15 millones de habitantes (al incluir a las grandes ciudades localizadas en su proximidad este valor aumenta a cerca de 90 millones), un clima principalmente subtropical, y abundantes recursos hídricos superficiales (pero a menudo contaminados) que experimentan sequías ocasionales. Así se espera que la necesidad de fuentes confiables de abastecimiento de agua potable y de abastecimiento industrial (con bajo costo de tratamiento) crezca significativamente, especialmente en algunos escenarios de cambio climático (que

implican un incremento en la demanda de agua debido al aumento de la temperatura del ambiente y a sequías del agua superficial más frecuentes y más intensas).

- Se debe resaltar la importancia cada vez mayor del SAG para el abastecimiento de agua potable de muchas ciudades con poblaciones de 50.000-250.000 habitantes- los ejemplos incluyen Tacuarembó y Rivera en Uruguay, Caaguazú y Ciudad del Este en Paraguay, y (en Brasil) Santana do Livramento y Caxias do Sul en Rio Grande do Sul, Londrina en Paraná, Uberaba y Uberlândia en Minas Gerais, y Campo Grande en Mato Grosso do Sul.
- El SAG también representa un importante recurso geotérmico de baja entalpía (a menudo con descarga por carga hidráulica artesiana) de distribución muy extensa (Figuras 1 y 3), con potencial para la expansión futura de:
 - balnearios en el noroeste de Uruguay, partes vecinas de Argentina, y adicionalmente al norte en el área turística internacional de Iguazú
 - numerosos usos industriales y procesos agroindustriales potenciales aunque las temperaturas del agua subterránea son demasiado bajas para la generación de energía eléctrica convencional.
- La posibilidad de que crezcan las demandas para el uso extenso e intensivo del agua subterránea del SAG para el riego agrícola, especialmente en algunos escenarios de cambio climático y con la tendencia al aumento de precios de los cultivos, es especialmente crítica en términos de necesidades futuras de la gestión del agua subterránea. La evaluación agroeconómica preliminar sugiere que el uso del agua subterránea del SAG para riego de auxilio, como seguro contra la reducción de la cosecha causada por sequías de corta duración durante el cultivo de soya, no es generalmente económico todavía - excepto en las áreas de recarga con niveles freáticos someros.

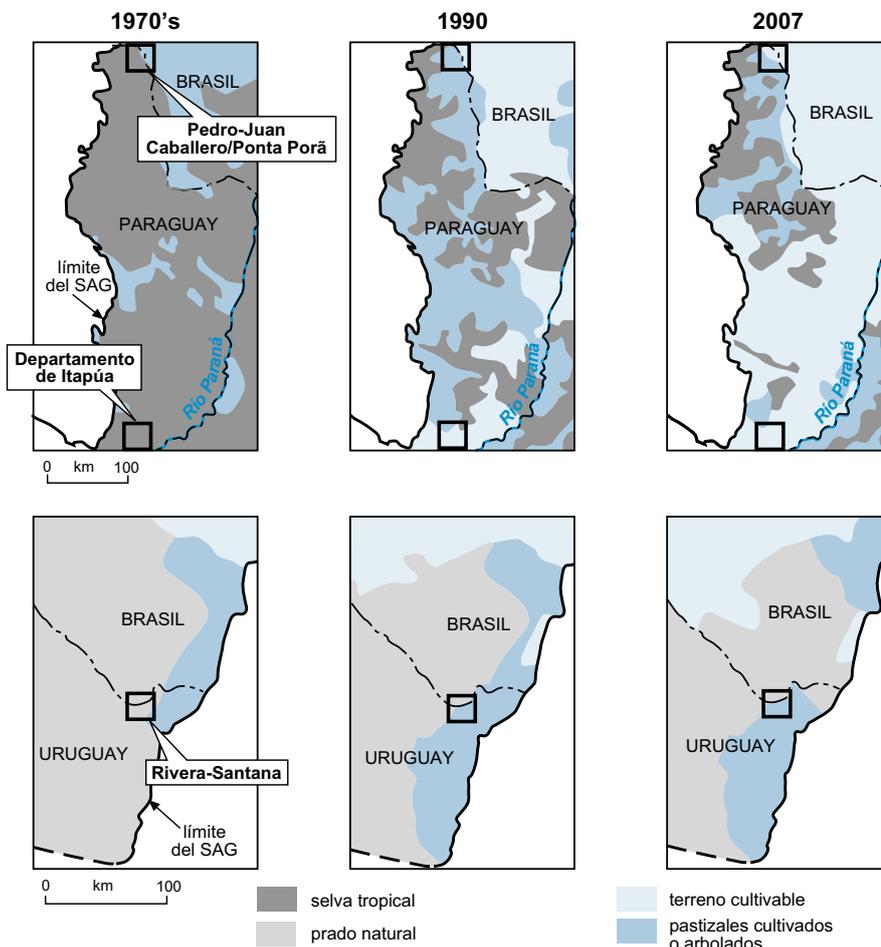
Aspectos sobre la Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero y el Uso del Suelo

- Las únicas partes del SAG que presentan significativa vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea por actividades antropogénicas en la superficie del terreno son las áreas principales de recarga - comprenden el afloramiento del acuífero y las áreas adyacentes donde los basaltos están altamente fracturados o existen 'ventanas' a través del basalto. El grado de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea varía con la profundidad al nivel freático, y el grado de consolidación de las areniscas o del fracturamiento de los basaltos que las sobreyacen, y aunque no es extrema está en el rango de 'medio a alto'.
- A cierta distancia del afloramiento del SAG y debajo de la cubierta de basalto, las 'edades relativamente viejas del agua subterránea' deducidas de análisis isotópicos (Figura 3) indican mínima vulnerabilidad a la contaminación, excepto quizás a los niveles bajos de cualquier contaminante del agua subterránea altamente persistente y móvil en el muy largo plazo.
- Las amenazas potenciales para la excelente calidad natural del agua subterránea del SAG en sus áreas de recarga incluyen:
 - urbanización y la disposición de aguas residuales urbanas domésticas
 - proyectos industriales, y el potencialmente inadecuado almacenamiento y manejo de productos

- químicos peligrosos, y la disposición de efluentes líquidos y sólidos
- intensificación de la agricultura y de la silvicultura.
- Como resultado de esto último, el uso rural del suelo en las áreas de recarga del SAG ha observado enormes cambios durante los últimos 30 años que incluyen (Figura 4):
 - tala de los bosques subtropicales húmedos para explotar sus recursos madereros y para el pastoreo de ganado (Brasil y Paraguay)
 - arado en tierras de pastoreo para la introducción de agricultura intensiva en rotaciones de - soya-girasol/soya- maíz y caña de azúcar (Brasil, Paraguay y Argentina), en parte para la producción de combustible biológico, y cítricos (Brasil)
 - replantación forestal de algunas tierras de pastoreo de naturaleza irregular con eucalipto para producir pulpa de papel o pinos para la producción de madera (Uruguay).

Puesto que los perfiles de suelo se desarrollan mucho mejor en los basaltos que en las areniscas, la introducción de rotación intensiva de frijol de soya dentro de la zona de recarga del SAG tiende a ser concentrada en las áreas con una cubierta delgada de basalto. El impacto de estos cambios a gran escala en la calidad y la tasa de recarga del SAG todavía no se han investigado adecuadamente y requieren una mayor atención en el futuro.

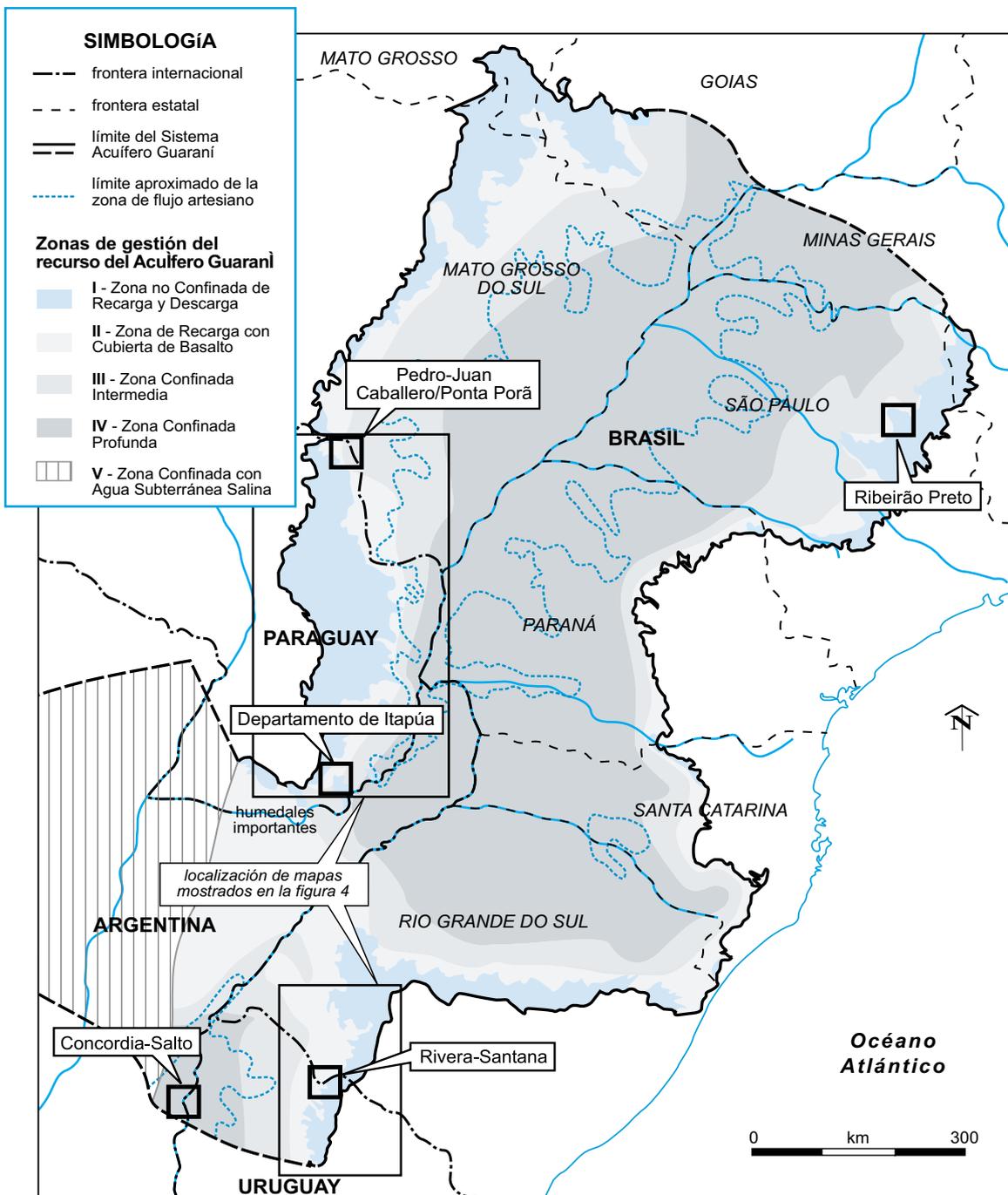
Figura 4: Evolución de la ocupación del terreno agrícola en partes seleccionadas del área de recarga del SAG



Bases Científicas para la Gestión del Recurso

- La revisión del modelo conceptual de la hidrogeología del SAG tiene implicaciones importantes en términos de definición de una estrategia eficiente y sostenible para la gestión del desarrollo de los recursos hídricos subterráneos. Se pueden definir en forma provechosa cinco distintas zonas de gestión del recurso (Figura 5), cuyas características se describen a continuación.

Figura 5: Delimitación general de las zonas para la gestión del recurso en el Sistema Acuífero Guaraní



- I – Zona de Recarga y Descarga no Confinada.
 - Los recursos hídricos subterráneos extraídos de esta zona son totalmente renovables hasta un nivel equivalente a la recarga natural en el rango de 300-600 mm/año en el área local considerada (dependiendo de la ubicación) - y de hecho puede haber potencial para inducir recarga adicional cuando desciende el nivel freático
 - Sin embargo, el acuífero es importantemente vulnerable a la contaminación por actividades en la superficie del terreno, por lo que se debe de ejecutar una campaña enfocada a medidas de protección del acuífero o de las fuentes, para los abastecimientos de agua potable y otros abastecimientos donde la calidad del agua es importante
 - El principal impacto de la extracción intensiva de agua subterránea es la reducción del flujo base en los ríos locales. Por esta razón puede ser conveniente considerar que solamente una porción de la recarga total es la 'disponible para la extracción' - pero si el uso del agua subterránea no es significativamente consuntivo entonces la reducción del flujo base se puede compensar con el retorno de efluentes (no obstante que tiene algunas implicaciones en la calidad del agua del río).

- II – Zona de Recarga con Cubierta de Basalto.
 - En esta zona adyacente, donde la arenisca está cubierta por una capa relativamente delgada de basalto bien fracturado (típicamente < 100 m de espesor), el SAG presenta una condición de 'semi-confinado' y se espera que ocurra una recarga vertical importante o pueda ser inducida por el bombeo (además del flujo horizontal de agua subterránea desde el área principal de afloramiento /recarga).
 - Los criterios para el desarrollo y la gestión del recurso hídrico subterráneo en esta zona son en gran medida similares a la zona I, pero la tasa de recarga total en el largo plazo es significativamente menor.

- III – Zona Intermedia Confinada.
 - En esta zona no ocurre recarga significativa (los tiempos de residencia del agua en el acuífero son > 10.000 años), y el agua subterránea bombeada en efecto es 'minada' del almacenamiento del acuífero con continuos (pero muy graduales) descensos de la superficie piezométrica. Se considera que el recurso es casi totalmente 'no-renovable', aun cuando sea interceptado un pequeño volumen del flujo regional de agua subterránea y cierto flujo adicional sea inducido a muy largo plazo. El agua subterránea está protegida totalmente contra la contaminación antropogénica y en general es de calidad potable (aunque se encuentran algunos problemas locales).
 - Hay grandes cantidades de agua subterránea en el almacenamiento confinado en esta zona - y se estima que la cantidad total explotable es cercana a 10 km³. En la práctica la cantidad y la extensión del abatimiento de los niveles del acuífero en respuesta a la extracción de agua subterránea está controlada por el coeficiente de almacenamiento del acuífero - y en áreas donde la cima del SAG no está demasiado profunda el ritmo de abatimiento en los pozos de agua se reducirá bastante al alcanzar y desecar los horizontes superiores del acuífero (donde el almacenamiento de agua subterránea disponible es varios órdenes de magnitud mayor).
 - Debido al continuo descenso de los niveles dinámicos en pozos de agua hasta alcanzar la cima del SAG, se estableció el límite de esta zona (algo arbitrariamente) definida como la cota donde la cima del SAG confinado está a menos de 400 m de la cota del terreno, porque esta profundidad corresponde al límite económico de la carga hidráulica para las bombas de agua convencionales - no obstante que muchos pozos de agua se han perforado a 1.000 m de profundidad total.

- IV – Zona Confinada Profunda.
 - La mayor parte de las consideraciones discutidas anteriormente en lo referente a la zona III también se aplican a la zona IV, pero en esta zona la cima del SAG está a más de 400 m abajo del nivel del terreno y la única agua subterránea explotable es el almacenamiento confinado. Debajo de este nivel, la explotación es poco probable que sea económica a excepción de usos geotérmicos, aunque la cantidad total del almacenamiento confinado sea cercana a 40 km³.
 - En esta zona el agua subterránea también está totalmente protegida y generalmente presenta agua de buena calidad, aunque en ciertas áreas presenta algunos problemas y/o concentraciones de elementos traza.
- V – Zona Confinada con Agua Subterránea Salina.
 - Hay una extensa área en Argentina donde el SAG confinado contiene agua subterránea con alta salinidad. En esta zona el agua subterránea se puede utilizar en balnearios, y otros usos geotérmicos, o para otros propósitos después de un tratamiento donde esto sea económicamente factible.

Avances Institucionales y Legales Generales para la Gestión del Recurso

- Para la mayoría de los aspectos de gestión y protección de los recursos hídricos subterráneos en los países Guaraní existe una base jurídica adecuada (a nivel nacional y/o sub-nacional) , con la notable excepción de atribuciones claras para la protección del agua subterránea en las áreas de recarga que permitan influir en:
 - la política agrícola como factor dominante en el uso del suelo en zonas rurales
 - la toma de decisiones a nivel municipal sobre el uso del suelo en zonas urbanas.
 Hay, sin embargo, amplias deficiencias en la regulación, las herramientas y la capacidad para poner en práctica y hacer valer medidas para la gestión del agua subterránea.
- A través de la puesta en práctica del Programa GEF se estableció el consenso entre los países para desarrollar un marco jurídico coordinado y la armonización de sus leyes con respecto a la gestión del recurso hídrico subterráneo, mientras que se reconocía las diferencias y particularidades nacionales.
- Paraguay y Uruguay son estados unitarios y las atribuciones sobre los recursos hídricos subterráneos corresponden a los respectivos gobiernos nacionales, y:
 - en Uruguay está claramente establecido el ‘código de los recursos hídricos’ y un decreto específico que se ocupa de la energía geotérmica y que establecen un comité consultivo - la autoridad competente es la Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (DINASA) aunque no tiene jurisdicción alguna sobre la contaminación
 - en Paraguay la Ley Nacional del Agua todavía tiene algunos aspectos relevantes pendientes de regulación – la Secretaria del Ambiente (SEAM) tiene responsabilidad sobre los recursos hídricos y la Empresa Reguladora de Servicios de Saneamiento (ERSSAN) sobre la regulación de los servicios de agua.
 En cambio, Brasil y Argentina son países federales en los cuales la administración de los recursos hídricos subterráneos se ha delegado en gran parte al gobierno estatal o gobierno provincial - pero varios estados/provincias (incluyendo algunos muy grandes) todavía no han desarrollado una capacidad institucional adecuada y/o no son muy activos en su implementación.

Tabla 3: Consolidación de las disposiciones legales del agua subterránea y de las herramientas reguladoras

PAÍS	DISPOSICIÓN	ALCANCE
Argentina	Plan Federal de Aguas Subterráneas (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • todas las provincias implicadas en el SAG estuvieron de acuerdo con la planeación y la coordinación de la gestión del agua subterránea • marco regulador para los recursos geotérmicos
	Ley de Aguas Termales de Entre Ríos)	
	Ley del Acuífero Guaraní de Chaco, Corrientes y Misiones (2004, 2004 y 2006)	<ul style="list-style-type: none"> • medidas para el uso y la protección del SAG con la declaración de dominio público provincial
Brasil	Reglamentos de CONAMA (2005 y 2008)	<ul style="list-style-type: none"> • medidas para la clasificación de cuerpos de agua • áreas de protección de los pozos de agua y control de la contaminación
	Deliberación de CERH Sao Paulo (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • áreas de restricción y control de la extracción y uso del agua subterránea
Paraguay	Ley Nacional de Aguas (2007) Acuerdos de SEAM (2005, 2006 y 2007)	<ul style="list-style-type: none"> • gestión y protección de los recursos hídricos • guías para la perforación de pozos para la extracción de agua subterránea • regulación de los consejos de agua • registro nacional de los derechos de agua
Uruguay	Enmienda Constitucional (2004) Ley de Políticas del Agua (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • principios para el dominio público y la gestión del agua subterránea • posibilidad de creación local de 'comités de gestión del agua subterránea'
	Decretos Nacionales (2004 y 2006)	<ul style="list-style-type: none"> • guías técnicas para la perforación de pozos profundos • instalación de la Comisión Nacional de Agua y Saneamiento

- El Programa GEF ha realizado esfuerzos significativos para remediar las deficiencias en las regulaciones del agua subterránea y /o las herramientas, al grado de que los cuatro 'países Guaraní' han mostrado avances importantes (Tabla 3). Además, los 7 estados brasileños y las 3 provincias argentinas han adoptado medidas específicas para la gestión del acuífero Guaraní, y las resoluciones para la protección del SAG del Comité de Cuenca del Río Pardo (CBRP) en Brasil han provocado deliberaciones sobre áreas de restricción del agua subterránea para el Consejo de los Recursos Hídricos del Estado de São Pablo. Sin embargo, sigue habiendo preocupaciones importantes y generalizadas sobre la capacidad institucional para su aplicación. El Programa GEF también ayudó a consolidar la capacidad institucional a través de la formación y del incremento de personal, y en los centros académicos con el desarrollo de un 'fondo especial universitario' (apoyado por el Banco Mundial-BNWPP).
- A nivel internacional un resultado legal importante del Programa GEF es el acuerdo para continuar con la cooperación regional para la gestión y la protección del SAG a través de:
 - asegurar la continuidad de las principales actividades, haciéndose cada país responsable de proporcionar (en coordinación con los otros) las herramientas y los recursos necesarios para – gestión de la base de datos SISAG (Argentina), monitoreo y modelación del agua subterránea (Brasil), desarrollo de capaci-

- dades y difusión (Paraguay) y coordinación de las actividades mediante una oficina base (Uruguay)
- continuar con las actividades iniciadas en los proyectos piloto - Concordia/Salto coordinado por Argentina, Rivera/Santana por Uruguay, Riberao Preto por Brasil e Itapúa por Paraguay - aunque ha habido rechazo o dificultad para conservar los servicios de los Facilitadores de los Proyecto Piloto, los cuales constituyen un aspecto crítico para la continuidad y la eficacia. Una opción, de atención urgente, para resolver este asunto, sería designar responsable a personas pertenecientes a las agencias directamente involucradas en lugar de contratar personal externo.

Escala de Necesidades para la Gestión del Acuífero Transfronterizo

- El programa GEF confirmó que la mayoría de las necesidades actuales y potenciales de gestión y protección del agua subterránea del SAG fundamentalmente no tienen un 'carácter transfronterizo internacional' - no obstante que existen algunos 'temas transfronterizos preocupantes' localmente entre naciones, y de hecho individualmente entre estados de Brasil que comparten el acuífero. La necesidad predominante de cooperación internacional y federal se presenta en las ventajas de compartir avances en la comprensión científica y experiencias positivas de gestión - así un compromiso claro de los países implicados ayudaría a continuar desarrollando investigación y difusión del conocimiento.
- Las valoraciones equivocadas y generalizadas sobre el SAG fueron reveladas entre la administración pública y la misma comunidad - particularmente sobre la naturaleza de sus recursos hídricos subterráneos, la escala de los problemas que pudieran afectarle y el nivel más apropiado de gestión para su

Tabla 4: Escala del potencial para la gestión transfronteriza del agua subterránea necesario para el Sistema Acuífero Guaraní

ACCIONES LOCALES DE COOPERACIÓN CON BENEFICIOS MUTUOS	SITUACIONES ACTUALES Y POTENCIALES CON EFECTOS TRANSFRONTERIZOS LOCALES	SITUACIONES POSIBLES CON IMPACTOS SIGNIFICATIVOS A ESCALA DE CUENCA
<ul style="list-style-type: none"> evaluación de la incidencia y control de la contaminación natural del agua subterránea (F, U, Rd, Rn) que afecta el uso del agua para suministro potable definición de estrategias para la explotación eficiente y la gestión sostenible del recurso evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero y medidas adecuadas para proteger las zonas de recarga 	<ul style="list-style-type: none"> contaminación de los pozos de agua potable por el saneamiento inadecuado y el uso del suelo sin control impactos en los humedales* y reducción del flujo base de los ríos* como posible consecuencia de explotación potencial intensiva del agua subterránea para el riego agrícola impactos en la calidad y tasa de recarga del acuífero como resultado de cambios extensivos en el uso del suelo agrícola así como en los tipos y sistemas de cultivo 	<p>los impactos descritos podrían crecer si las políticas agrícolas regionales y el mercado favorecieran el uso intensivo y extensivo del suelo local y/o de los recursos de agua subterránea, pero solamente si las investigaciones en curso confirmaran (a) el papel ecológico actual que juega la descarga del acuífero y (b) la continuidad hidráulica del sistema acuífero en las zonas correspondientes</p>
<ul style="list-style-type: none"> evaluación de las opciones económicas y eficientes del uso de los recursos geotérmicos del acuífero. 	<ul style="list-style-type: none"> reducción del artesianismo y geotermalismo del acuífero a causa de la explotación no controlada de los pozos geotérmicos 	

resolución. Se elaboró un marco de referencia indicativo (tabla 4) mostrando que:

- los asuntos actuales de agua subterránea transfronteriza tienen una distribución estrictamente limitada y una naturaleza esencialmente local, y no tienen implicaciones importantes de tipo 'aguas arriba-aguas abajo' - por lo que su solución puede darse por medio de acuerdos y acciones en la escala pertinente
- solamente con la amplificación del uso intensivo del agua subterránea para el riego de auxilio podría potencialmente haber un efecto transfronterizo sobre el agua subterránea al ampliarse de la escala local a la de cuenca, y una evaluación preliminar sugiere que esto no es todavía económico excepto en áreas de recarga con niveles freáticos someros.

El programa GEF es así esencialmente de carácter 'preventivo' y de naturaleza cooperativa - por lo que no hay 'asuntos críticos' importantes por resolver y sí muchos beneficios potencialmente de la cooperación.

LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PRÁCTICA - LOS PROYECTOS PILOTO

Identificación de las Necesidades Requeridas en Diferentes Ambientes

- Se presentan cinco experiencias piloto de avanzada en la gestión y protección del agua subterránea del SAG, ubicadas en la Figura 5:
 - cuatro promovidas bajo el programa GEF a través de Facilitadores Locales de Proyecto o 'campeones' - dos de las cuales son de incidencia transfronteriza internacional
 - una que involucra la cooperación internacional (Paraguay-Brasil) facilitada con el soporte técnico de Alemania.

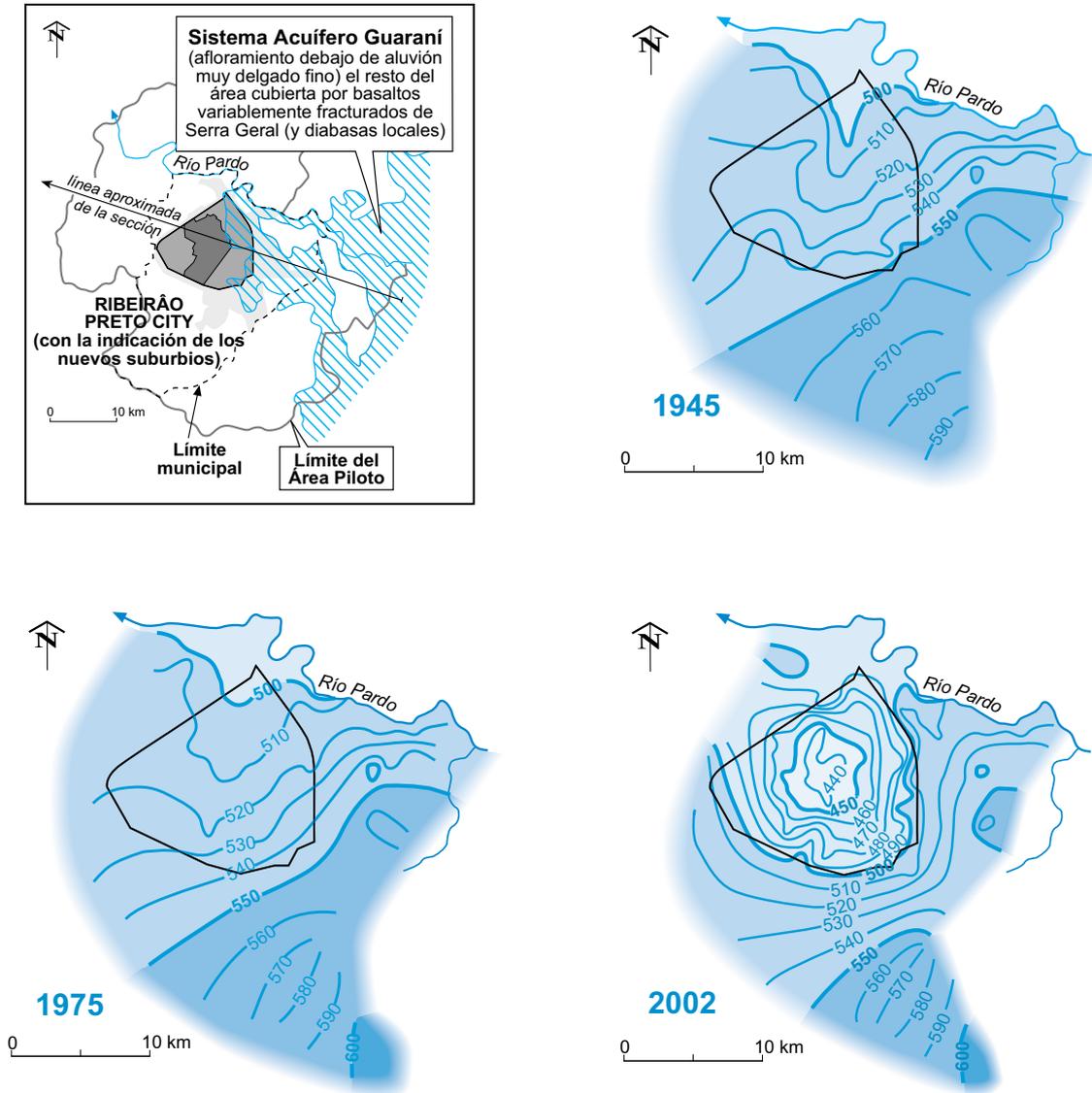
De los cinco proyectos pilots cuatro se ubican dentro de las zonas I y II para la gestión del recurso hídrico subterráneo del SAG y uno en la zona IV.

- Estos proyectos piloto para la gestión del agua subterránea cubren una gama representativa de casos de gestión y de la protección de la calidad del recurso, y buscan identificar soluciones a problemas específicos y a escalas específicas, capaces de ser implementados por acuerdos institucionales locales apropiados.

Ribeirão Preto (Brasil)

- El Proyecto Piloto de Ribeirão Preto se centra alrededor del municipio y ciudad del mismo nombre en la parte noreste del Estado de São Paulo-Brasil, tiene una población de unos 547.000 habitantes y un área de 652 km², incluyendo 137 km² de afloramiento del SAG pero extendida principalmente a través de los sobreyacentes basaltos de la Serra Geral (Figura 6), e incluye territorio que cae bajo la jurisdicción de varios municipios vecinos. En total, el área del proyecto piloto es cercana a 2.920 km² y tiene una población de 766.000 habitantes (2007), que según proyecciones del gobierno se duplicará para el año 2045.
- El área es un centro importante de producción agrícola, con caña de azúcar (para la refinación de azúcar y la destilación de alcohol), café y naranjas (para la producción de jugo de fruta) que son las cosechas

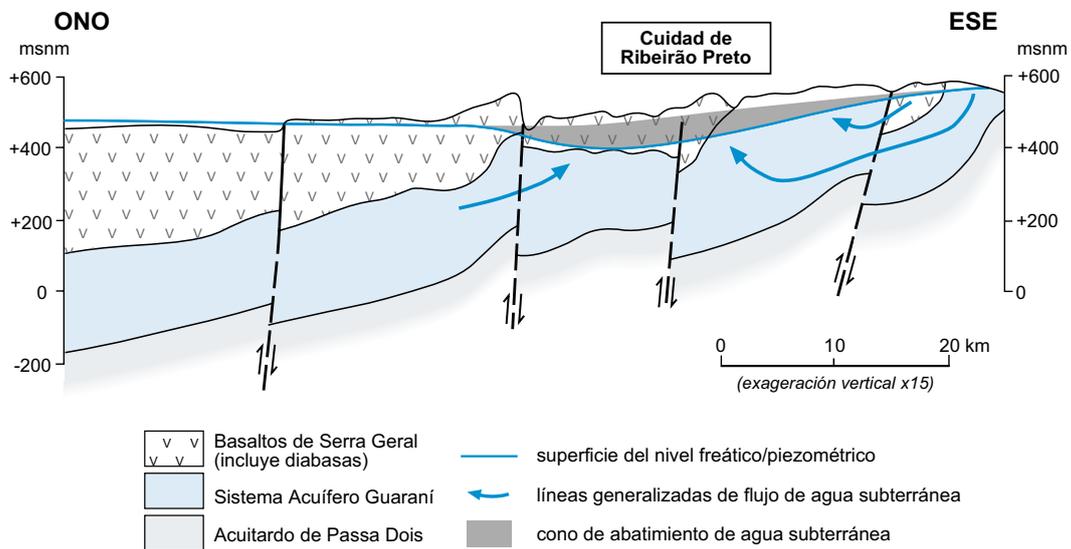
Figura 6: Evolución del descenso del nivel freático del agua subterránea en el Municipio de Ribeirão Preto



dominantes. La ciudad es también un centro industrial importante - con importante destilación de combustible de alcohol, productos agroindustriales y servicios, y una gran variedad de empresas manufactureras.

- La recarga del agua subterránea ocurre cuando la precipitación excede el requerimiento de las plantas sobre el afloramiento de la arenisca infiltrando durante noviembre-marzo con valores medios de alrededor de 250 mm/año. Estudios muy amplios y detallados conducidos en esta área concluyeron que poca recarga al SAG ocurre en el acuitardo del basalto de Serra Geral, dado que es un flujo continuo de lava basáltica sobreyacente (generalmente <30m de espesor).

Figura 7: Sección hidrogeológica del área del Proyecto Piloto Ribeirão Preto



- El SAG es explotado por más de 1.000 pozos – el Departamento de Águas e Esgotos (DAERP) tiene cerca de 95 actualmente en operación activa con una producción real estimada de alrededor 127 Mm³/año. Sin embargo, hay una incertidumbre significativa sobre el nivel total de extracción de agua subterránea, la cual se estima que ha crecido de 45 Mm³/año en 1976, a 96 Mm³/año en 1996 y a 133 Mm³/año en 2007. Para toda el área piloto (incluyendo otros municipios) la extracción total de agua alcanzó 186 Mm³/año en 2007.
- La explotación del agua subterránea y los descensos del nivel freático han reducido, y a la larga eliminado, la descarga natural del agua subterránea al escurrimiento (que ha sido remplazada por descargas de aguas residuales). La recarga contemporánea del agua subterránea es excedida por la extracción puesto que, sobre un área extensa a través de la ciudad, los niveles del agua subterránea han bajado en un estimado de 30-40 m desde 1970 (Figura 7), con los efectos secundarios siguientes:
 - aumentos en los costos de operación del abastecimiento de agua, a causa de los descensos del nivel del agua y a la consecuente disminución de la eficiencia de los pozos debido a la pérdida de las secciones superiores de la rejilla de los pozos
 - arroyos que originalmente eran efluentes y que ahora son influentes con el aumento de riesgos de contaminación del agua subterránea.
- Se reporta que la calidad del agua subterránea de los pozos de agua más profundos de DAERP es buena, con resultados microbiológicos excelentes, salinidad total excepcionalmente baja (60 µS/cm), levemente ácidas con pH de 5.5-7.0 y las concentraciones de nitrato no exceden 10 mg/l de NO₃-N. Los herbicidas móviles (tales como tebuthiuron, diuron, ametrine, etc) ampliamente aplicados a la caña de azúcar todavía no se han detectado en muestras de agua subterránea, ni solventes clorinados de los usados en algunas industrias. Pero la mayoría de los pozos de agua de DAERP se localizan donde el SAG está protegido en parte por la cubierta del acuitardo de basalto. Por otra parte, en la zona mucho

más vulnerable del afloramiento, la zona vadosa generalmente es gruesa (a menudo 30-60 m) y ha aumentado como resultado del descenso del nivel freático - así la contaminación del agua subterránea por contaminantes persistentes de prácticas de saneamiento, de los efluentes industriales y de los cultivos agrícolas puede ser que todavía no se haya infiltrado hasta las zonas de captación de las rejillas de los pozos profundos de agua (ya que esto podría tardar varias décadas).

- Los asuntos apremiantes que requieren ser atendidos son:
 - promoción de la planeación del uso del suelo en la zona de recarga del SAG compatible con su función primaria como una fuente de abastecimiento de agua potable municipal de bajo costo y alta calidad- esto se debe basar racionalmente en el mapeo de la vulnerabilidad del acuífero y en la delimitación de las áreas de protección de las fuentes de agua subterránea
 - valoración de los riesgos a las fuentes municipales existentes de agua subterránea representados por las medidas urbanas actuales de saneamiento, actividades industriales y prácticas agrícolas, y promoción de acciones para manejar cualquier riesgo significativo identificado y confirmado - particularmente el ciclo del agua urbana necesita ser mejor entendido y manejado desde la fuente de abastecimiento hasta la reutilización de las aguas residuales
 - restricciones en la demanda para la extracción de agua subterránea - la producción media actual de agua es muy alta (350 l/d/h) y la demanda municipal se estima que se incrementara a 187 Mm³/año en 2030 como resultado del crecimiento demográfico a 867.000 habitantes- así se necesita tomar medidas para reducir la presión sobre los recursos del acuífero y para conservar un mínimo razonable del área de tierra que necesitará ser protegida especialmente en beneficio del abastecimiento de agua potable municipal
 - considerar el posible desarrollo de una cierta capacidad de producción del agua subterránea municipal de los campos de pozos situados en el área más protegida donde el SAG está confinado, en parte para substituir cualquier fuente existente que se encuentre en gran riesgo de contaminación y también para reducir la intensa interferencia hidráulica en el centro de la ciudad.

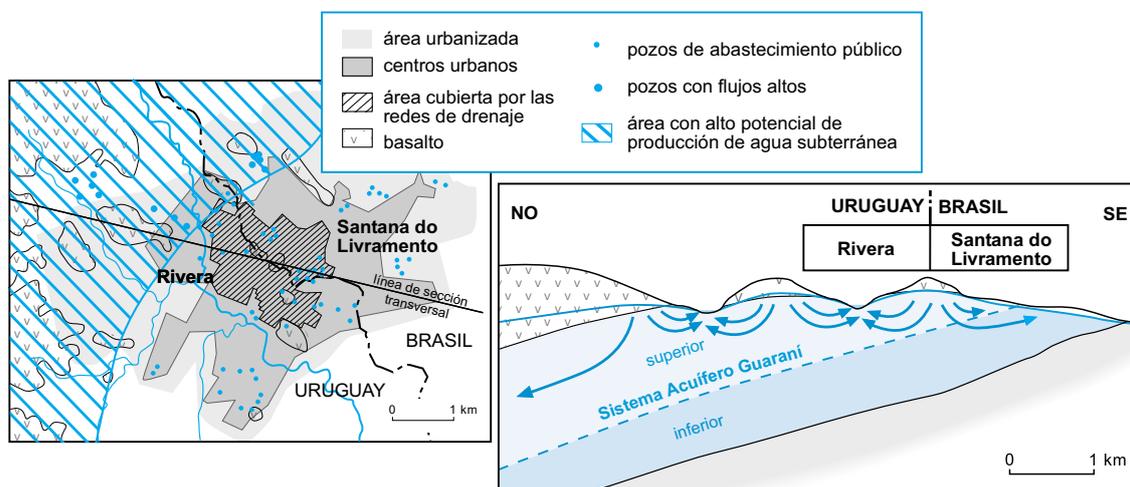
- Algunos avances importantes que ya se han promovido incluyen:
 - se tenían fuertes restricciones para la perforación y/o reemplazo de pozos de agua dentro del municipio de Ribeirão Preto hasta que se definió una política de gestión del recurso - según los términos de un acuerdo alcanzado entre el DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica - Estado de São Paulo) y el gobierno municipal
 - establecimiento de una red de pozos de observación (con la conversión de antiguos pozos de agua) por DAERP.

- La Ley Estatal de São Paulo y los Decretos Municipales de Ribeirão Preto adoptaron varias disposiciones para la gestión y la protección del recurso hídrico subterráneo, que si bien por lo menos se decretaron parcialmente requieren más integración, implementación y aplicación a través de la cooperación institucional y el involucramiento de los actores interesados. Adicionalmente varias iniciativas locales están contribuyendo al desarrollo de una visión más holística para el futuro:
 - el Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (CBHP) está promoviendo acciones para restringir la demanda de agua en la población urbana
 - el Instituto Geológico de São Paulo (IGSP), con el soporte técnico de Alemania, ha emprendido el mapeo de la vulnerabilidad del acuífero, la evaluación del riesgo de contaminación y la definición de zonas de protección de las fuentes a nivel piloto.

Rivera (Uruguay)-Santana do Livramento (Brasil)

- El Proyecto Piloto Rivera/Santana do Livramento (Figura 8) está encajado en la frontera Uruguay-Brasil (Estado de Rio Grande do Sul) cubre los alrededores de las ciudades fronterizas de Rivera y de Santana do Livramento, las cuales tienen una combinada y creciente población cercana a 162.000 habitantes y en gran medida actúan como una zona urbana continua (p. ej. un único suministro de electricidad y servicios de emergencia). La actividad económica se basa en gran parte en la agricultura - con ganado y ovejas para producción de pieles, carne y producción de lana, cultivos de maíz y cada vez más de soya, y del lado de Uruguay en la plantación forestal para la producción de madera y de pulpa.
- El SAG aflora a través de gran parte del área, y la otra parte está cubierta por una delgada cubierta de basaltos, con la frontera que sigue un bajo pero montañoso parteaguas superficial. El nivel freático del agua subterránea se encuentra a profundidad somera, con el flujo natural del agua subterránea que circula en dirección noreste y que se concentra a la profundidad de 40-80 m en los horizontes más permeables del acuífero - pero esto ha sido modificado por la extracción que ha abatido los niveles del agua subterránea en 5-10 m en los últimos 10 años (Figura 8).
- El SAG es la fuente principal de abastecimiento de agua – hay del orden de 300 pozos de agua incluyendo los de Obras Sanitarias del Estado (OSE) en Rivera y el Departamento de Aguas e Esgotos (DAE) en Santana do Livramento (Figura 8), que abastecieron unos 7.3 y 8.7 Mm³/año (70% y 100% del total correspondiente) respectivamente en 2002. La cobertura de las redes de abastecimiento de agua es superior al 95% de la población, pero los edificios multi-residenciales y las grandes residencias familiares también operan pozos privados para atenuar la discontinuidad del servicio y/o para reducir el costo total del abastecimiento de agua. Tal práctica fue prohibida en el Estado Rio Grande do Sul por una Declaración Sanitaria (1974) y reforzada por la Ley Federal (2005), porque se temía que el uso del agua subterránea somera con pozos de agua construidos en forma inadecuada podría presentar un serio peligro para la salud - pero la prohibición ha probado tener una fundamentación legal discutible (con la ley que ha sido judicialmente cuestionada) y no será ejecutada hasta que haya un pronunciamiento final.

Figura 8: Mapa esquemático de la infraestructura de agua y sección hidrogeológica del Proyecto Piloto de Rivera (Uruguay) - Santana do Livramento (Brasil)



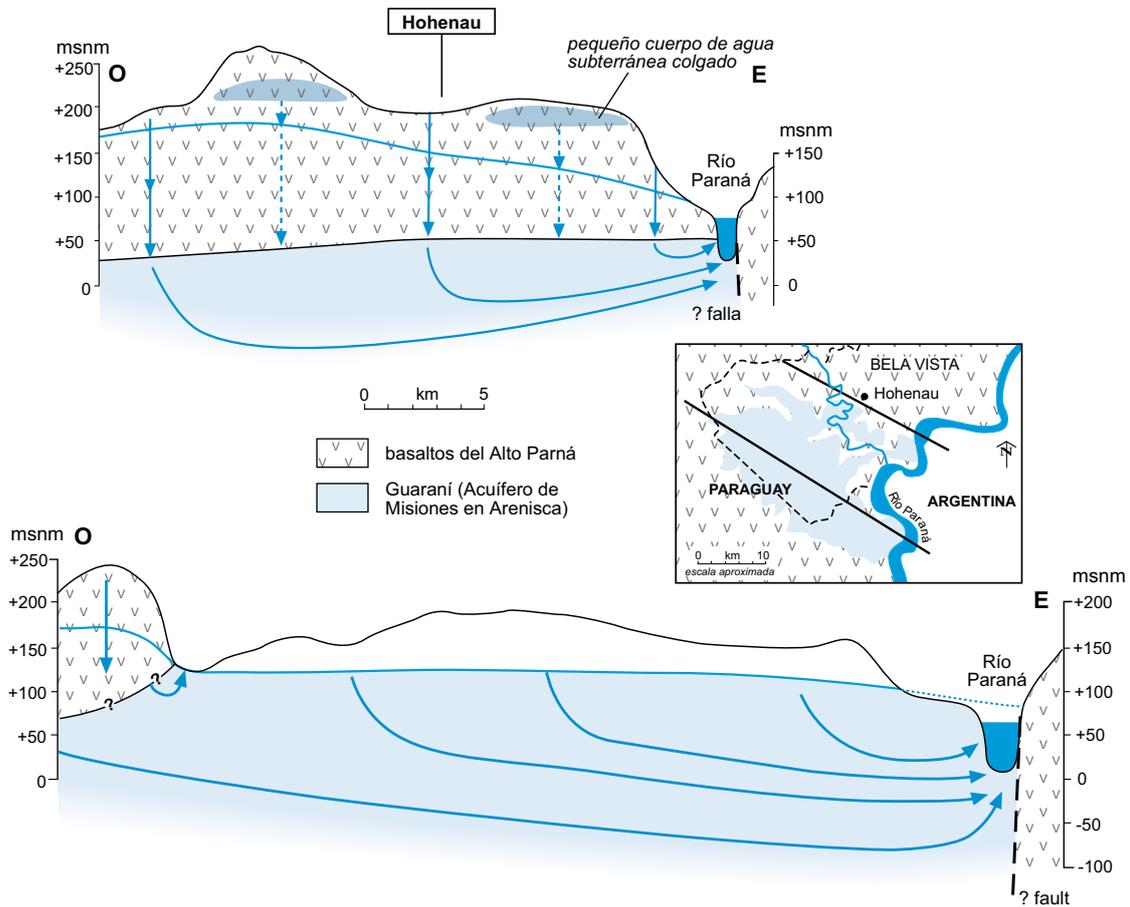
- La calidad natural del agua subterránea es excelente y de baja mineralización CaHCO_3 (80 mg/l) con valores medios de $\text{Cl} = 33$ mg/l, $\text{SO}_4 = 4$ mg/l y $\text{Na} = 6$ mg/l - pero pH bajo (menos de 6.0) y concentraciones elevadas de NO_3 (algo arriba de 10 mg/l de $\text{NO}_3\text{-N}$). El principal problema de gestión del agua subterránea se relaciona con la carencia de redes de alcantarillado, que resulta en una carga substancial de aguas residuales a un acuífero de significativa vulnerabilidad a la contaminación directamente desde los desagües o indirectamente desde corrientes contaminadas - y así se deben esperar problemas potenciales a más largo plazo con nitratos, cloruros y compuestos orgánicos persistentes por la continua infiltración de aguas residuales. La pasada costumbre de verter en el suelo los residuos sólidos municipales, la infiltración de algunos efluentes industriales (desde patios de proceso de madera y de mataderos de ganado) y la presencia de un número considerable de estaciones de servicio de gasolina con pobre mantenimiento representan otros peligros a la calidad del agua subterránea.
- La cobertura de las redes de alcantarillado se restringe al 30% y 40% en las poblaciones de Rivera y de Santana do Livramento respectivamente, lo que implica una substancial carga subsuperficial de aguas residuales sobre extensas zonas urbanas por el saneamiento 'in-situ'. También hay desbordamiento en ciertas áreas de numerosas unidades de saneamiento 'in-situ' (debido a construcción incorrecta, al escaso espacio para la construcción de las coladeras y localmente a la reducida capacidad de infiltración del suelo) llevando las condiciones insalubres a nivel de la calle. Ambas ciudades se están esforzando por ampliar su sistema de redes de alcantarillado (con OSE en el proceso de incrementar la cobertura de 30% a 50%) - pero el proceso es complicado debido a varios factores:
 - terreno muy irregular y accidentado que hace necesario muchas subestaciones locales para bombeo de aguas residuales y causa escalamiento de los costos de capital y problemas operacionales
 - baja densidad demográfica en las zonas urbanas externas que aumentan considerablemente el costo unitario de proporcionar el alcantarillado
 - antipatía de parte de la población por pagar el costo de capital para conectar sus propiedades a la red de alcantarillado cuando existe y/o pagar el cargo anual por usar la red de alcantarillado una vez que se ha conectado
 - conexiones ilegales a las redes de alcantarillado de las azoteas y del drenaje de patios de propiedades residenciales, causando sobrecarga del sistema, carga de sedimentos pesados y las excedencias de plantas de tratamiento durante los frecuentes episodios de precipitación intensa.Es entonces incierto si el aumento en la inversión dará lugar a una mejor protección del acuífero.
- OSE y DAE tienen pozos de agua del SAG de alto rendimiento (> 100 m³/hr) en zonas restringidas al oeste de la ciudad, cerca del principal escarpe del basalto donde están presentes el espesor completo y la mayoría de los horizontes permeables del SAG. El suministro derivado de estas zonas parece que representa más del 30% del total - estas localizaciones, las cuales están en el límite actual de la urbanización o más allá, son adecuadas para la construcción de campos de pozos de abastecimiento público de agua y para el establecimiento de áreas especiales de protección del agua subterránea. Este enfoque proporcionaría un abastecimiento de agua urbana más seguro, reduciendo la dependencia de los numerosos pozos que se encuentran dispersos en toda la zona urbana y que están bajo el mayor riesgo de contaminación con independencia de las decisiones sobre la extensión de la cobertura de las redes de alcantarillado. Una pregunta que surge es en cuanto a la ubicación de las atribuciones legales e institucionales para la posible declaración de áreas de protección de las fuentes de suministro de agua subterránea potable (de varios km² de extensión) para las cuales se podrían aplicar significativas restricciones sobre el uso del suelo - y es probable que tal acción tenga que ser llevada a cabo por petición del gobierno municipal o local.

- Los principales resultados deseados del Proyecto Piloto a más largo plazo son:
 - establecimiento de zonas/perímetros de protección alrededor de las fuentes más importantes de abastecimiento público de agua, con controles apropiados de planeación del uso del suelo (urbano y rural), para asegurar su sustentabilidad y proteger las inversiones en las mismas fuentes y en su infraestructura asociada
 - un plan de acción de la inversión común para mejorar el saneamiento urbano en lo que concierne a la eliminación de las aguas residuales y de los residuos sólidos - incluyendo en su caso la mejoría de la cobertura de las redes de alcantarillado y de otras medidas de control en áreas vulnerables del acuífero para el beneficio comunitario de conservar la calidad del agua subterránea.
- Teniendo como fondo el pasado acuerdo internacional ('Acuerdo sobre Cooperación Brasil-Uruguay en Materia Ambiental de 1992'), se formó la Comisión Transfronteriza del Acuífero Guaraní (COTRAGUA), con la representación de 5 organizaciones de actores interesados en cada lado (incluyendo oficinas gubernamentales locales, los correspondientes servicios de agua (OSE y DAE), los perforadores de pozos de agua, diversas ONG, organizaciones agrícolas, hidrológicas y de salud pública), con las funciones de:
 - apoyar en la recolección de materiales técnicos, económicos y legales relevantes
 - ser un punto focal para la encuesta social y participación en la gestión del agua subterránea, por ejemplo denunciando la construcción ilegal de pozos y descargas contaminantes
 - coordinación de los esfuerzos locales para el desarrollo de capacidades entre los actores interesados.
- El COTRAGUA ha cesado sus actividades desde que el Programa GEF terminó - la carencia de facilitadores locales y de coordinadores nacionales es una de las razones alegadas. Así, la interacción y el intercambio de información entre DAE y DINASA no están sucediendo en este momento.

Itapúa (Paraguay)

- El Proyecto Piloto del Departamento de Itapúa abarca un área predominantemente agrícola y de cría de ganado en el extremo sureste de Paraguay, con una precipitación media de 1.600 mm/año. El área fue poblada originalmente por indígenas Guaraní, e incluye importantes sitios coloniales españoles (ruinas de misiones jesuitas), pero tiene hoy una población cosmopolita de 45.000 habitantes incluyendo dos pequeñas ciudades, Hohenau y Trinidad.
- El afloramiento del Acuífero Guaraní representa cerca del 40% del 'área piloto' (800 km²) y en el resto está cubierta por un espesor variable de flujo de basalto (Figura 9). Se han registrado unos 60 pozos de agua por el Servicio Nacional de Agua y Saneamiento (SENASA) con ayuda de la cooperación técnica de Alemania, que varían principalmente entre 70-120 m de profundidad pero algunos pozos alcanzan hasta más de 300 m de profundidad en áreas con gran espesor en la cubierta de basalto. Los pozos de agua, incluyendo algunos para el abastecimiento público, muestran señales de contaminación por nitratos.
- En los pasados 30 años la zona ha observado importantes cambios en el uso del suelo rural:
 - 1975-80: rápida deforestación para la producción de madera y ranchos ganaderos, facilitada por la construcción del primer camino-puente sobre el Río Paraná permitiendo la exportación
 - durante los 1990: rápida extensión del área bajo cultivos arables debido a la amplia introducción de rotaciones de fíjol de soya y girasol/maíz que proporcionan a los granjeros rentas mucho más altas que

Figura 9: Secciones hidrogeológicas del Proyecto Piloto de Itapúa-Paraguay



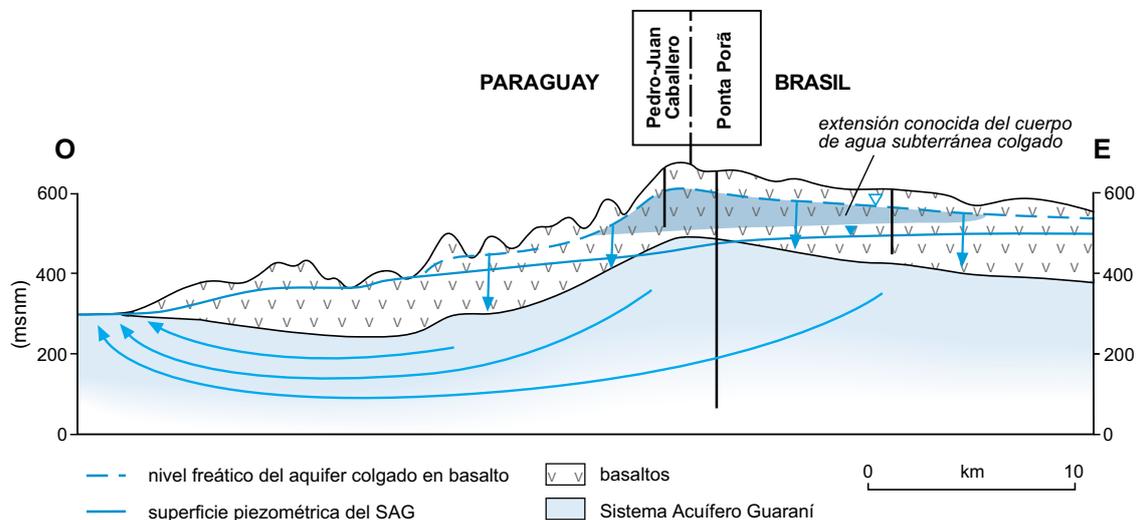
- los ranchos ganaderos (especialmente en los excelentes suelos lateríticos sobre los basaltos donde los precios de tierra rural se han elevado alcanzando alrededor de US\$ 4.000/ha recientemente)
- durante los 2000: introducción extensa en los campos arables de la siembra de semillas por perforación directa para reducir la erosión del suelo, requiriendo uso intenso de herbicidas tales como glifosato. Estos cambios han causado importantes impactos hidrológicos (según lo registrado por la macro-medición de los sistemas de agua superficiales), pero todavía no se conocen sus efectos sobre el agua subterránea.
 - El Proyecto Piloto es de potencial importancia para la planeación del uso del suelo, la producción agrícola y la gestión de los recursos hídricos en grandes zonas del Mercosur - y tiene como sus objetivos principales:
 - revisar la evolución agroeconómica del área desde 1960, incluyendo el mapeo del uso del suelo y los cambios en los cultivos agrícolas, para confirmar la intensificación del cultivo de frijol de soya y de su relación con condiciones hidrogeológicas y pedológicas
 - clasificar los pesticidas de aplicación más intensa con base en su solubilidad en el agua y movilidad en el suelo, y después evaluar (usando datos sobre intensidades de precipitación típicas en su época de uso) la probabilidad de que sean lixiviados al agua subterránea en los perfiles de suelo típicos desar-

- rollados en el afloramiento de areniscas y en la cubierta de basalto
- establecer una red de piezómetros relativamente someros y de pozos de agua para el monitoreo del agua subterránea en el acuífero de areniscas y los basaltos sobreyacentes, y tomar análisis para determinar el grado de lixiviación agroquímica pasada y actual al agua subterránea
- determinar los procedimientos usados para desarrollar y proteger las fuentes de agua subterránea para el abastecimiento público, y el diseño y operación de los sistemas de saneamiento en pequeñas ciudades.
- A la terminación del Programa GEF la participación de 'actores clave' de ambas nacionalidades y localmente de los sectores agrícola y de riego (junto con representantes del gobierno local y de dirigentes de la comunidad), necesaria para alcanzar estos ambiciosos objetivos, había sido completado solo parcialmente. Sin embargo, la Comisión del Proyecto Piloto está participando en el Consejo de Aguas de Capibari, como una unidad técnica para asuntos del agua subterránea - y continúan las actividades a través de la participación de otras instituciones tales como la Gobernación de Itapúa.

Pedro-Juan Caballero (Paraguay)/ Ponta Porã (Brazil)

- El Piloto de Pedro-Juan Caballero/Ponta Porã está alojado en la frontera entre Paraguay y Brasil y cubre los alrededores de estas ciudades fronterizas, que tienen una población combinada de cerca de 135.000 habitantes y que crecen a un ritmo de 1% y 2% anual respectivamente. La 'economía urbana de la frontera' está dominada por el sector de comercio y servicios, que tiene un buen potencial para el desarrollo adicional, ubicado en una región de agricultura floreciente de buenos suelos y una precipitación anual media de 1.200 mm/año. En el lado brasileño, el uso del suelo y la producción agrícola del Estado de Mato Grosso do Sul están actualmente dominados por rotaciones intensivas de frijol de soya/cereal junto con la cría de ganado, mientras que en el lado Paraguayo la deforestación para éstos propósitos ha llegado más tarde y todavía está sucediendo (Figura 4).

Figura 10: Sección hidrogeológica del área del Proyecto Piloto de Pedro-Juan Caballero (Paraguay) - Ponta Porã (Brasil)

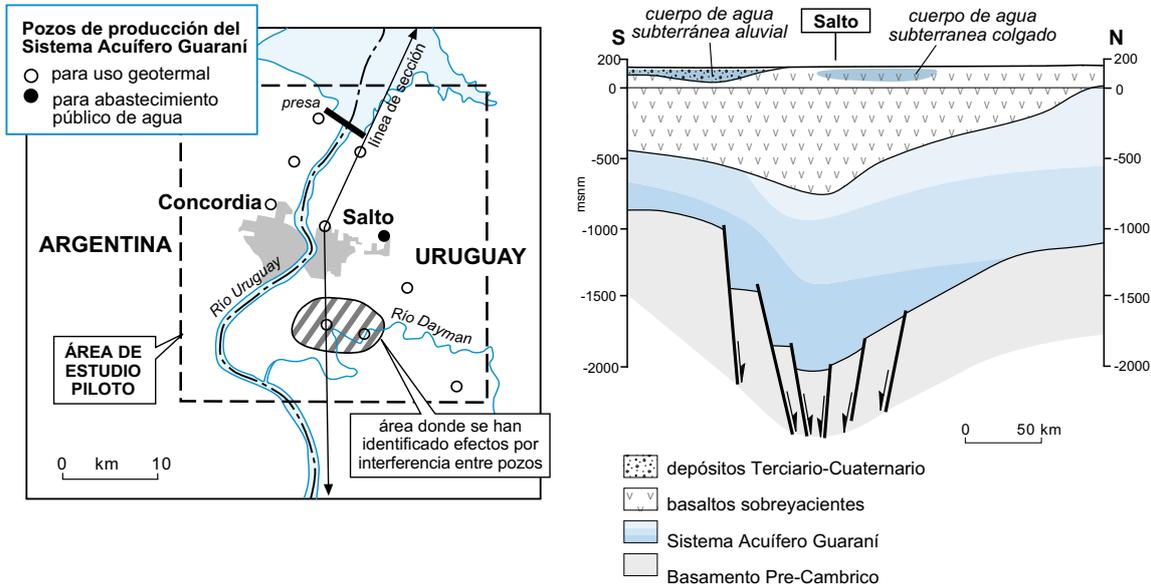


- La mayor parte del área del SAG está cubierta por más de 100 m de basaltos (y aflora solamente en el extremo oeste), y su agua subterránea presenta condiciones de confinado (pero no descargas artesianas) (Figura 10) - con la frontera siguiendo el parteaguas del agua superficial de Serra/Sierra de Amambai. La parte superior del basalto está fracturada e intemperizada lo suficiente para formar un acuífero semi independiente a través de un área extensa, la cual produce recarga por infiltración al SAG con flujo de agua subterránea hacia el oeste de Brasil a Paraguay bajo gradientes hidráulicos de 6-7 m/km.
- El agua subterránea de los basaltos es actualmente la principal fuente de abastecimiento de agua urbana con más de 100 pozos de agua (principalmente 70-120 m de profundidad), incluyendo los de la Empresa de Servicios Sanitarios de Paraguay (ESSAP) y el Servicio Nacional de Agua y Saneamiento (SENASA) alrededor de Pedro-Juan Caballero y de la Empresa de Saneamiento de Mato Grosso do Sul (SANESUL) en Ponta Porã, los cuales pueden producir un total de 1.200 m³/hora o más. Sin embargo, no hay un sistema de redes de alcantarillado en Pedro-Juan Caballero/Ponta Porã, por lo que toda la disposición urbana de aguas residuales va al suelo vía unidades de saneamiento in-situ, y el acuífero de basalto está mostrando señales de contaminación con el abandono de algunos pozos de agua.
- La solución más satisfactoria sería desarrollar una pequeña cantidad de pozos de agua debidamente construidos en el SAG semi-confinado y proteger cuidadosamente sus áreas de cabeceras de pozo contra la contaminación - SANESUL ha terminado recientemente la construcción del primer pozo profundo (750 m) perforación que por sí sola puede producir 260 m³/hora adicionales.
- El primer taller transfronterizo sobre el agua y la gestión ambiental fue realizado en febrero de 2009 y atendido por especialistas del agua subterránea y actores interesados representativos de ambos lados de la frontera, en el cual se concluyó que:
 - se requiere la terminación del inventario de pozos de agua y la base de datos hidrogeológicos, con el establecimiento de un modelo conceptual y numérico del SAG local y de una renovada red de monitoreo para niveles, calidad y uso del agua subterránea
 - el desarrollo adicional de los recursos del SAG para el abastecimiento público de agua requerirá de un estudio de viabilidad y planos de localización de los pozos de agua, y es necesario un enfoque de política común para racionalizar tal desarrollo
 - se requieren medidas para reducir la carga contaminante al acuífero de basalto, especialmente en esas partes de la zona urbana donde es probable que continúe el abastecimiento de agua desde una 'fuente única'
 - se requieren campañas de información pública y de concientización para ganar apoyo para una aplicación más estricta de las leyes ambientales y regulaciones relevantes existentes, y para facilitar la puesta en práctica de medidas futuras de protección del agua subterránea.

Concordia (Argentina) – Salto (Uruguay)

- El Proyecto Piloto de Concordia/Salto ocupa una extensa área (500 km²) a ambos lados del Río Uruguay, que forma la frontera Argentina-Uruguay, y donde el SAG se encuentra abajo de 800-1000 m de flujos de basalto (Figura 11) con su agua subterránea que presenta descargas con carga hidráulica artesiana y marcado potencial geotérmico (temperaturas de 44-48 °C). Las producciones de las perforaciones hidrogeotérmicas se encuentran normalmente en el rango de 100-300 m³/hora con profundi-

Figura 11: Mapa hidrogeológico esquemático y sección del área del Proyecto Piloto Concordia/Salto



dades de perforación de hasta 1.400 m. En esta área el SAG no está desarrollado importante para el abastecimiento público de agua - con plantas de tratamiento en el Río Uruguay que proporcionan la mayor parte del abastecimiento, complementado con pozos de agua someros en los delgados depósitos terciarios/cuaternarios y la parte superior fracturada de los basaltos de Serra Geral para el abastecimiento público y el riego en pequeña escala.

- Ésta es la parte más poblada de la frontera con cerca de 256.000 habitantes, repartida entre Salto (99.100) y Concordia (157.000). Las principales fuentes de ingresos son la citricultura en expansión y la industria hortícola, junto con el turismo hidrogeotermal. Salto (Uruguay) es la base más desarrollada del turismo de balnearios termales en el MERCOSUR con una historia de más de 10 años. Para finales de los 90 el número de turistas alcanzó 368.000/año que genera un ingreso de US\$ 58 millones/año y que producen empleo (directamente e indirectamente) para 3.500 personas- en cambio en Concordia (Argentina) es solo recientemente que se inició el mismo tipo de actividad.
- El objetivo del Proyecto Piloto es proporcionar los fundamentos para el uso sustentable y eficiente de los recursos hidrogeotérmicos del SAG y los principales problemas a enfrentar son:
 - la interferencia hidráulica entre pozos hidrogeotérmicos vecinos (hay 8 perforaciones en un área relativamente restringida, extrayendo en conjunto 2,9 Mm³/año), que puede reducir (y eventualmente eliminar) las descargas por cargas hidráulicas artesianas que son una atracción turística especial
 - una simulación numérica elaborada con datos hidrogeológicos escasos ha demostrado que cualquier extracción incremental perforando nuevos pozos podría provocar una seria reducción de la carga hidráulica y cualquier plan para aumentar la explotación se debe hacer basada en un estudio muy cuidadoso
 - el riesgo de incremento de la salinidad por intrusión de fondo (en las Termas de Dayman se han observado incrementos de Na y de Cl de 135 a 205 mg/l y de 100 a 200 mg/l respectivamente durante

- 1992-2000) y/o la intrusión desde el sureste (donde el SAG contiene agua subterránea termal de alta salinidad natural); es importante precisar que el agua del SAG presenta concentraciones naturalmente altas de As (20-40 µg/l) que excede los estándares de agua potable
- la gestión inadecuada de la demanda y del uso del agua en muchos balnearios - con necesidad de diseminar más eficientemente las prácticas de uso del agua geotérmica- (incluyendo el reciclado del agua para cultivos de jardín, calefacción de instalaciones en hoteles e invernaderos, y piscicultura) y asegurar la descarga segura de efluentes.
- Pero ya se han hecho progresos importantes en lo que se refiere a la adopción conjunta de:
 - estándares apropiados para el diseño, construcción y operación de pozos para evitar la pérdida innecesaria de agua geotérmica o presión artesiana, y el ingreso de agua subterránea somera de baja temperatura
 - una separación mínima provisional de 2 kilómetros para pozos hidrogeotérmicos.
 - se estableció un Comité del Proyecto Piloto, que incluye representantes del gobierno local y de los municipios, las agencias nacionales/federales y provinciales de los recursos hídricos, asociaciones de usuarios del agua geotérmica y centros académicos, con las siguientes funciones:
 - asistir en la recopilación de materiales técnicos, económicos y legales relevantes, de su difusión a la comunidad y del desarrollo de capacidades entre los actores interesados
 - ser el punto focal para las requeridas encuestas sociales y promover la participación de la comunidad en la toma de decisiones sobre la gestión del agua subterránea, incluyendo la denuncia de la construcción ilegal de pozos.
 - Los actuales arreglos institucionales para la gestión del agua subterránea son distintos en ambos lados de la frontera internacional - en Argentina la responsabilidad es de la Secretaría de Recursos Hídricos- Entre Ríos y de los departamentos federales, y en Uruguay es de las Direcciones Nacionales de Aguas y Saneamiento y Medio Ambiente (DINASA y DINAMA). Pero las disposiciones legales respectivas tienen muchos puntos en común y podrían fácilmente ser la plataforma para el desarrollo de un 'sistema de regulaciones legales paralelas'.
 - Desde que terminó el programa GEF el comité local ha suspendido la interacción transfronteriza - alegando que la razón es la carencia de un facilitador. En Argentina el gobierno local (Municipio de Concordia), con el apoyo técnico del gobierno provincial, apoya fuertemente las actividades locales y ha creado una unidad con una oficina y personal técnico asignado. En Uruguay, el gobierno local (Municipalidad de Salto) tiene intenciones similares y las autoridades nacionales han manifestado que se podría crear una Unidad del Acuífero Guaraní dentro de las disposiciones de la nueva Ley de Política del Agua.

Disposiciones institucionales y legales para la continuidad del Proyecto Piloto

- Los principales avances institucionales generados por el Programa GEF en lo que se refiere a la gestión del agua subterránea a nivel local, junto con las recomendaciones para su seguimiento dentro del marco de referencia existente, se resumen en la Tabla 5. La base jurídica para la 'comisión de trabajo local' emana de la responsabilidad estatal o provincial para la gestión de agua en general y de la gestión del agua subterránea en particular.

- El Programa GEF ha demostrado, a través de sus proyectos piloto, cómo se debe de hacer la gestión local, y también ha proporcionado varias herramientas de gestión útiles (tales como sistemas de información, guías prácticas, etc). También ha ayudado a consolidar el núcleo institucional para la gestión local futura y ahora los países tienen interés por construir sobre esto. Por otra parte, como se vio en Concordia-Salto, Rivera-Santana do Livramento, Ribeirão Preto e Itapúa, el involucramiento del gobierno nacional y estatal/provincial ha sido esencial para avanzar.
- A nivel nacional y provincial/estatal cada país tiene las regulaciones necesarias y las instituciones competentes para actuar en la gestión y protección del agua subterránea, y la cooperación entre países se contempla en los tratados internacionales existentes. Pero a nivel local, los acuerdos de los actuales proyectos piloto, la capacidad institucional y la participación de los actores interesados en Concordia-Salto y Rivera-Santana do Livramento necesitan ser consolidados más a fondo para la eficaz puesta en práctica de las medidas necesarias para la gestión y protección del agua subterránea.

Tabla 5: Avances institucionales del Programa GEF para mejorar la gestión del agua subterránea a nivel local

PROYECTO PILOTO	AVANCES	RECOMENDACIONES
Concordia-Salto (Argentina-Uruguay)	<ul style="list-style-type: none"> • el comité transfronterizo local (con oficina local en cada país) se estableció para apoyar las actividades del proyecto piloto (CLAP) - aunque está inactivo desde que terminó el Programa GEF • los municipios convinieron el registro de la perforación de pozos profundos y el control de la calidad para la reutilización del agua y la descarga de efluentes 	<ul style="list-style-type: none"> • el acuerdo entre municipios necesita ser implementado por medio de acciones específicas (ej. muestreo, análisis, monitoreo, etc) • se deben de reforzar las guías técnicas para la perforación de pozos profundos incorporándolas al reglamento provincial de Entre Ríos • considerar la recolección de tarifas para apoyar la consolidación de la gestión a nivel local
Itapúa (Paraguay)	<ul style="list-style-type: none"> • establecimiento del comité local para apoyar las actividades de los proyecto piloto (CLAP) • desarrollo de interacción relevante entre el gobierno local, actores interesados, académicos, municipios, etc • interacción de CLAP con la Comisión Aguas del Arroyo Capibari 	<ul style="list-style-type: none"> • el control de las actividades se debe delegar por los municipios para el soporte técnico del CLAP • se podría implementar un acuerdo entre la universidad (FUCAI) y el gobierno nacional (SEAM) para el monitoreo, etc • divulgación de las reglamentaciones de la nueva Ley del Agua entre los actores interesados con el apoyo del CLAP
Ribeirão Preto (Brasil)	<ul style="list-style-type: none"> • se han implementado a nivel local regulaciones federales y estatales, en paralelo con el desarrollo de protección específica y medidas de control para apoyar el Comité de Bacia do Rio Pardo (CBRP) 	<ul style="list-style-type: none"> • involucrar a las autoridades a todos los niveles del CBRP para articular las necesidades de gestión del agua subterránea con respecto a los controles del uso del suelo municipal • consolidar el control regulatorio a través de foros de difusión con el apoyo del CBRP • consolidación institucional y desarrollo de capacidades en la gestión del suelo, el ambiente y los recursos hídricos
Rivera-Santana do Livramento (Uruguay-Brasil)	<ul style="list-style-type: none"> • se estableció la comisión local transfronteriza para apoyar las actividades del Proyecto Piloto (COTRAGUA) – aunque está inactiva desde que terminó el Programa GEF • acuerdo internacional para proteger los recursos hídricos compartidos y la gestión de los asuntos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> • el acuerdo internacional se podría implementar mediante acciones específicas, tales como el intercambio de información sobre la extracción de pozos de agua • COTRAGUA podría articular modificaciones a los planes de uso del suelo y el agua basados en la información generada por el Programa GEF

OBSERVACIONES FINALES: PRIORIDADES PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

- El carácter fundamental del programa GEF es que ha sido esencialmente preventivo y con espíritu cooperativo. Tres aspectos merecen destacarse:
 - la importancia de haber abordado la carencia de una adecuada comprensión común, dado que representaba una amenaza para la conservación cooperativa, la protección y el uso sustentable del agua subterránea y los recursos hidrogeotérmicos
 - el valor de promover acciones concretas de gestión a la escala local pertinente, con la apropiada integración transfronteriza, para generar la experiencia de las mejores prácticas que se puedan replicar en otras áreas según se necesite
 - la factibilidad de tomar medidas basadas en la información existente y bajo el actual marco de referencia legal e institucional, mientras que paralelamente se mejora la información científica de base y se identifican, mediante la implementación piloto, los aspectos débiles que ameritan mejorarse.

- Las futuras prioridades para la cooperación internacional deben enfocarse en:
 - encontrar los mecanismos prácticos y los medios financieros para continuar los Proyectos Pilotos ya que éstos no sólo abordan los temas ‘críticos’ sino que también proporcionan ideas muy prácticas sobre la gestión de los recursos hídricos subterráneos del SAG en general
 - continuar con el desarrollo adicional y la operación de la base de datos del SAG (SISAG) y del intercambio regular de datos científicos y de experiencias de gestión
 - promover un ‘foro de investigación’ y el inicio de otros proyectos colaborativos de investigación sobre los asuntos predominantes en los cuales sigue existiendo significativa incertidumbre científica incluyendo lo siguiente (en orden de importancia decreciente):
 - el impacto de los cambios importantes en el uso del suelo en las áreas de recarga del SAG (descritas anteriormente) en calidad y tasas de recarga del agua subterránea
 - la variación vertical de la calidad del agua subterránea en las áreas de recarga del SAG bajo presión de la urbanización y de la agricultura intensiva
 - la variación geográfica en las tasas de, y sobre los controles de, recarga del SAG en áreas poco confinadas con cubierta de basalto
 - el monitoreo y modelación de la respuesta del SAG a la extracción importante de agua subterránea de la zona altamente confinada del acuífero, y sobre cualquier descarga natural localizada en esta zona.

- En los países del ‘Acuífero Guaraní’ hay una larga historia de cooperación ambiental dentro de una red compleja de tratados multilaterales y bilaterales:
 - CIC-Tratado de la Cuenca de La Plata (1969) en el cual los gobiernos de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay acordaron realizar a largo plazo, estudios integrados y conjuntos de la cuenca hidrológica
 - Marco de Referencia Ambiental del Mercosur (2002) en el cual los mismos gobiernos acordaron buscar ‘la protección del ambiente y el desarrollo sustentable a través de la articulación de las dimensiones económica, social y ambiental’ con políticas comunes sobre protección ambiental, conservación de los recursos naturales y el desarrollo sustentable con la armonización de la legislación ambiental y del intercambio de información.Además, y de mayor relevancia, el 30 de noviembre de 2009 el Parlamento del Mercosur (PARLASUR) aprobó la creación de un ‘instituto regional de agua subterránea’ (INRA-Mercosur - Instituto Regional

de Investigación y Desarrollo del Agua Subterránea y de Protección Ambiental de Acuíferos del Mercosur), incluyendo la referencia específica a la gestión compartida del Sistema Acuífero Guaraní. Todo esto debe de ayudar a promover y a sostener las iniciativas futuras del agua subterránea del SAG, incluyendo las actividades prioritarias mencionadas anteriormente.

- La formación de una `semi independiente´ Comisión Transfronteriza del Acuífero Guaraní no ha sido favorecida, debido a los altos costos de transacción y el riesgo de pérdida de contacto con los asuntos, capacidades y procedimientos nacionales y estatales del agua subterránea. El modelo institucional transfronterizo preferido fue la creación de un Consejo Directivo del Acuífero Guaraní (CSDP), desarrollado a través del Programa GEF, involucrando a los responsables nacionales de los recursos hídricos subterráneos (o sus representantes) directamente. El CSDP podría evolucionar hacia una estructura más permanente para:
 - consultar y negociar sobre desarrollos importantes del acuífero con potenciales efectos transfronterizos
 - movilizar inversiones para el desarrollo local del agua subterránea y de las instituciones de gestión
 - desarrollar una `visión compartida´ del estado del recurso, el potencial del acuífero y las necesidades de gestión
 - promover la acción subsidiaria apropiada con intervenciones y procedimientos de gestión locales.

Publicación

La Colección de Casos Esquemáticos del GW•MATE ha sido publicada en inglés por el Banco Mundial, Washington, D.C., EEUU.

La traducción al español fue realizada por Oscar Escolero con la supervisión de Héctor Garduño.

También está disponible en formato electrónico en la página de Internet del Banco Mundial (www.worldbank.org/gwmate) y la página de Internet de la GWP – Asociación Mundial del Agua (www.gwpforum.org).

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Directorio Ejecutivo del Banco Mundial ni de los gobiernos en él representados.

Patrocinio económico



El GW•MATE (Groundwater Management Advisory Team – Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas) es financiado por el Water Partnership Program (WPP) del Banco Mundial y usa fondos de fideicomiso de los gobiernos danés y holandés y de apoyo suplementario del

UK Department for International Development (DfID).

