



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

**El Conocimiento para la Gestión
Sustentable.**

Jorge N. Santa Cruz
CARI, Argentina



GEF



/ WB



/ OAS

Ciclo del Agua o Ciclo Hidrológico

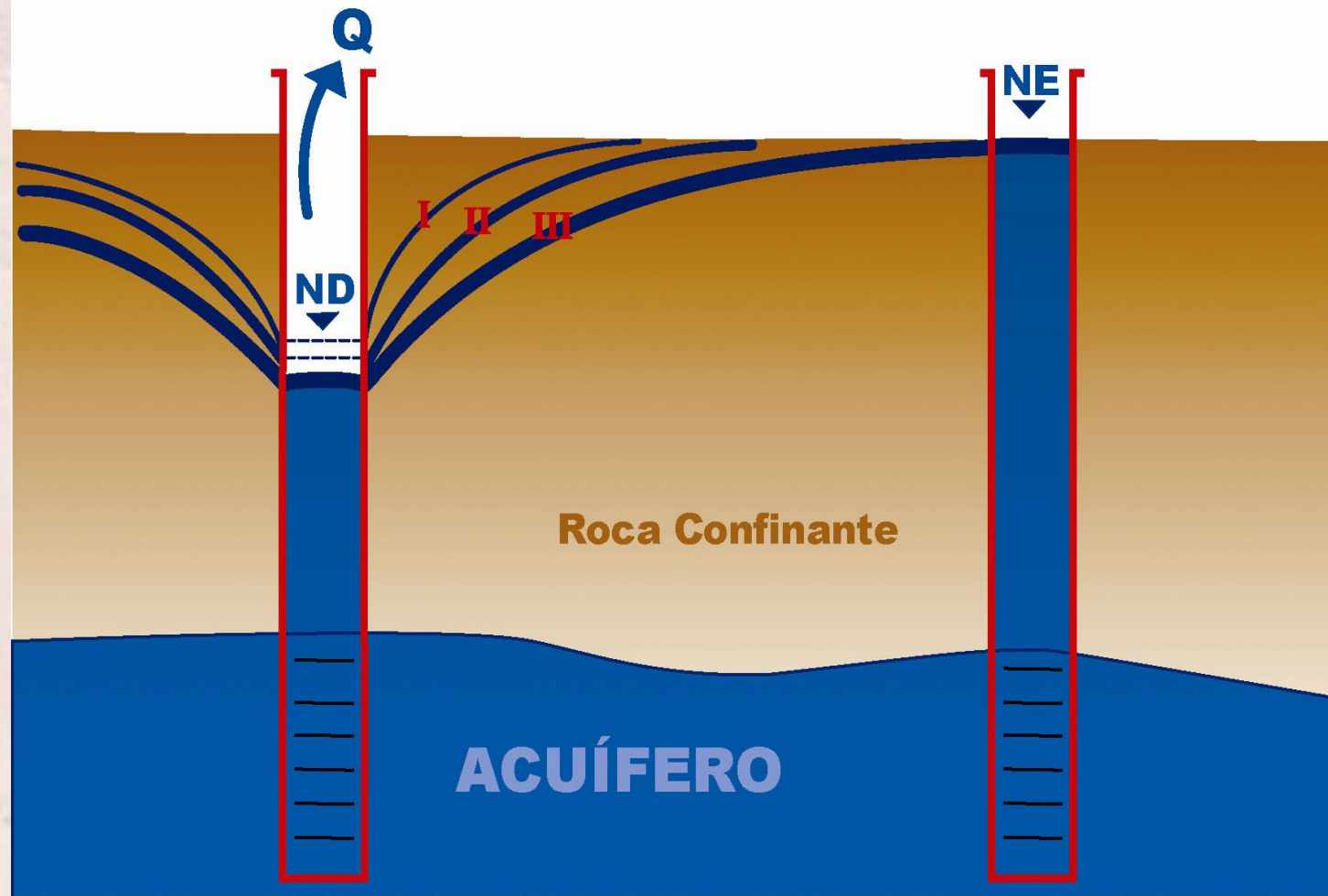
- El ciclo hidrológico es un ejemplo típico de la *Ley de Conservación de la materia*;
- Sin embargo no toda el agua participa constantemente del Ciclo: determinadas cantidades se acumulan en los reservorios por tiempos variables.

Tiempo de Residencia o permanencia: tiempo promedio que necesita una molécula de agua para pasar a través de un reservorio.

Cuerpo de Agua	Tiempo Medio de Residencia
Océanos y Mares	2500 años
Glaciares y Casquetes Polares	9700 años
Aguas Subterráneas Dulces	Decenas de miles de años
Lagos de Agua Dulce	17 años
Lagos de Agua Salada	150 años
Ríos	15-20 días
Biomasa	Algunas Horas
Atmósfera	8-10 DÍAS

Explotación de aguas subterráneas

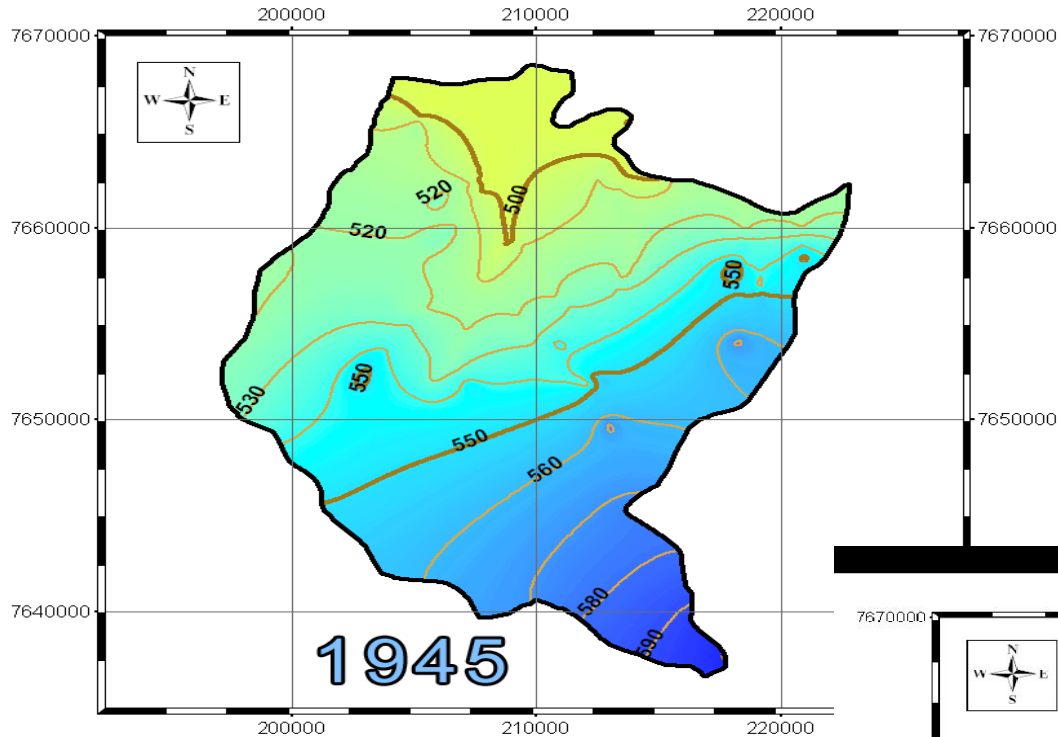
Conos de Depresión



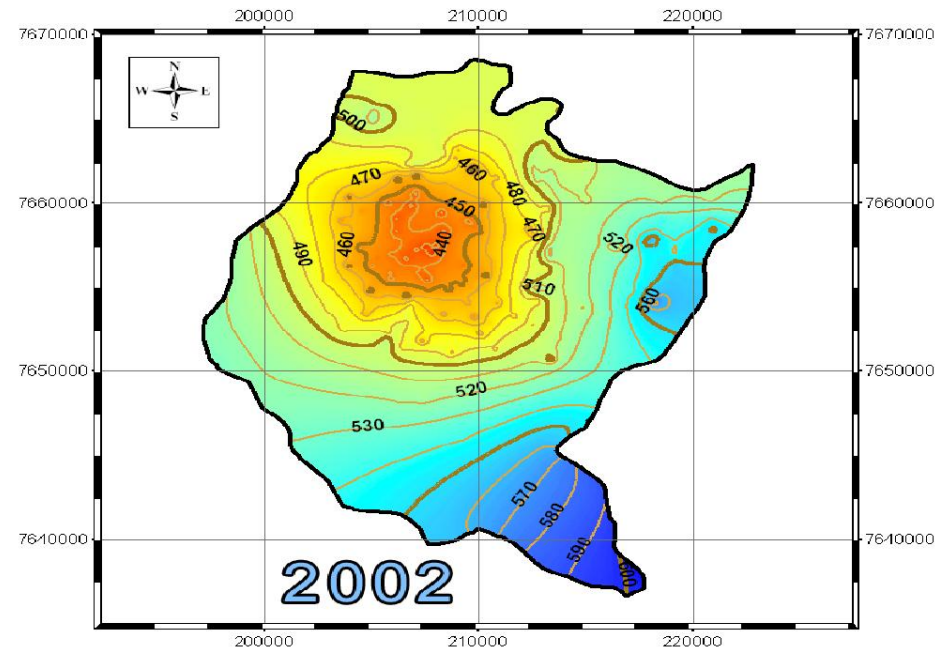


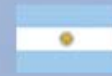
Ribeirão Preto

Evolución de niveles piezométricos



Ref.: Guido Blöcher





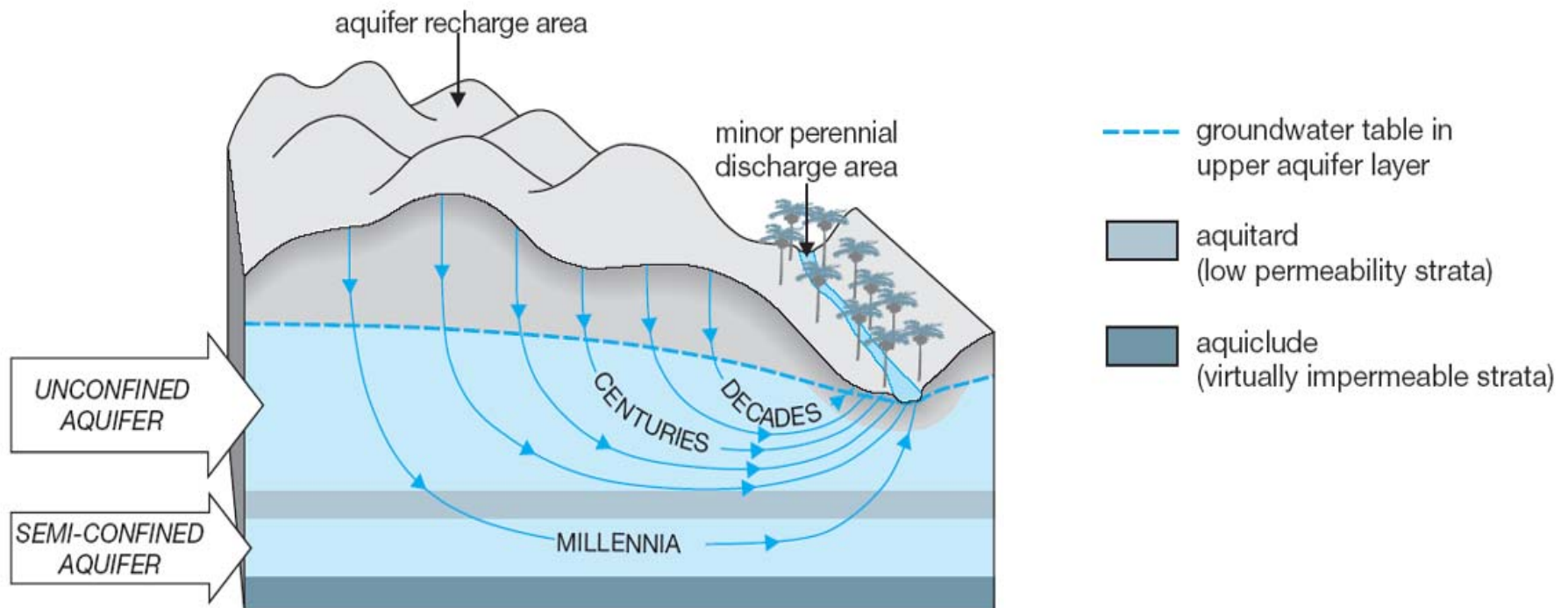
Todo Estudio Hidrogeológico de Acuíferos Implica:

- Estudios del Medio Físico (Geología)
- Estudios del Agua Subterránea
alojada en ese medio físico (Hidrología subterránea)

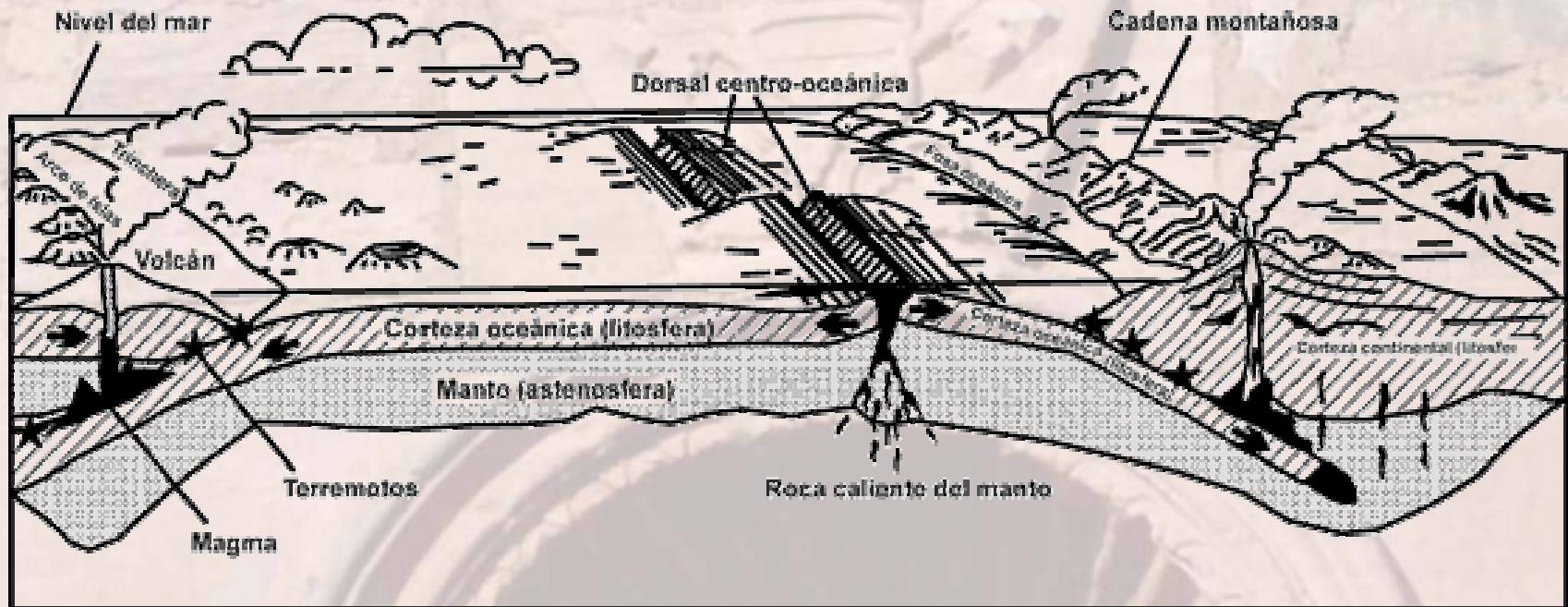
GEOLOGÍA: Estratigrafía y Geología Estructural

**AGUA SUBTERRANEA: Abarca diversas
disciplinas y actividades**

Sistemas Temporales de Flujo Subterráneo



Aguas Termales



Son aguas subterráneas con temperaturas mayores que las usuales.
La variación de la temperatura en la tierra con la profundidad se denomina “gradiente geotérmico”.

Áreas geológicamente estables: $3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ metros}$
Áreas geológicamente inestables: varias veces superior



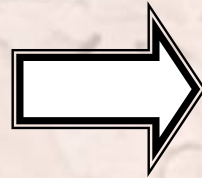
Agua subterránea, el “recurso invisible”

- Más de 2 mil millones de personas por todo el mundo dependen de ella;
 - Gran parte de agricultura mundial es irrigada con este recurso;
 - Gran aprovechamiento de industrias;
- Su escasez y contaminación afecta particularmente a sectores más pobres.

En Sudamérica: atraso en recursos hídricos subterráneos

- Factores legales: faltan normativas
- Factores Institucionales: deficiencia o carencia de sectores específicos;
 - Factores Culturales: preconceptos anacrónicos;
- Factor Conocimiento: no se considera posibilidad de evaluar disponibilidad.

**Sustentabilidad
del recurso agua**



**Correcta Gestión y
Protección de los acuíferos**

- El uso sustentable del agua subterránea normalmente comprende la explotación, a lo sumo, del promedio de recarga del acuífero, o sea de sus **RESERVAS RENOVABLES DULCES** en un período determinado (anual o interanual);
- Conocimiento hidrogeológico necesario para validar metodologías y brindar los elementos científicos-tecnológicos de apoyo a las decisiones de los administradores del agua.



GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Implica actividades técnico-hidrogeológicas tales como:

- Implementar y mantener una red de monitoreo y un Sistema de Información;
- Determinar prioridades de usos solicitados y velar por su mayor eficiencia
- Otorgar o denegar permisos, precisando:
 - * caudales máximos de explotación/niveles;
 - * ubicación y separación entre pozos

GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Implica actividades técnico-hidrogeológicas tales como:

- Aprobar o dictaminar sobre proyectos de construcción de pozos;
- Delimitación de áreas de protección y zonificaciones;
- Difundir y promocionar la capacitación y educación hídrica en distintos niveles.

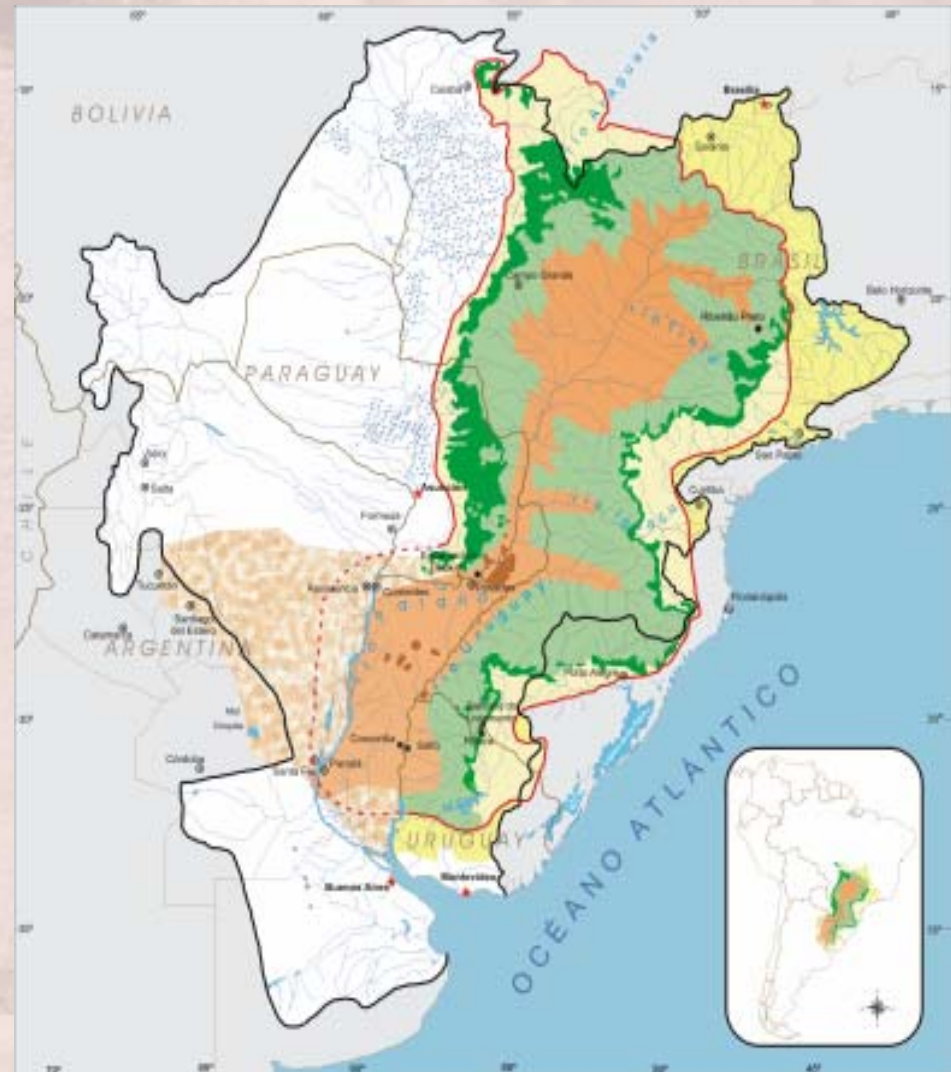


Efectos indeseables por la explotación no sustentable de acuíferos

- **Disminución de caudales**
- **Presencia de sedimentos en perforaciones**
- **Profundización de niveles piezométricos o reducción de presión hidrostática**
- **Degradación de la calidad del agua subterránea**
- **Reducción de termalismo**
- **Subsidencia de terrenos**
- **Afectación de ecosistemas**

Ubicación General del SAG

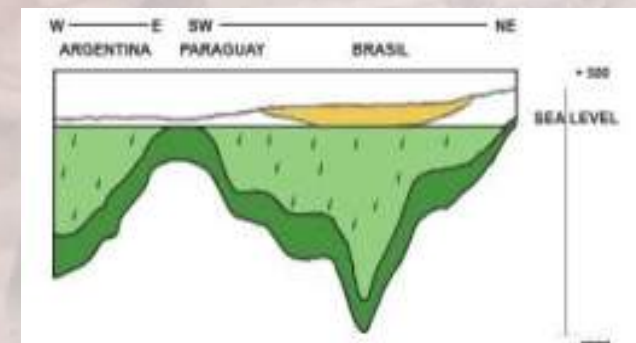
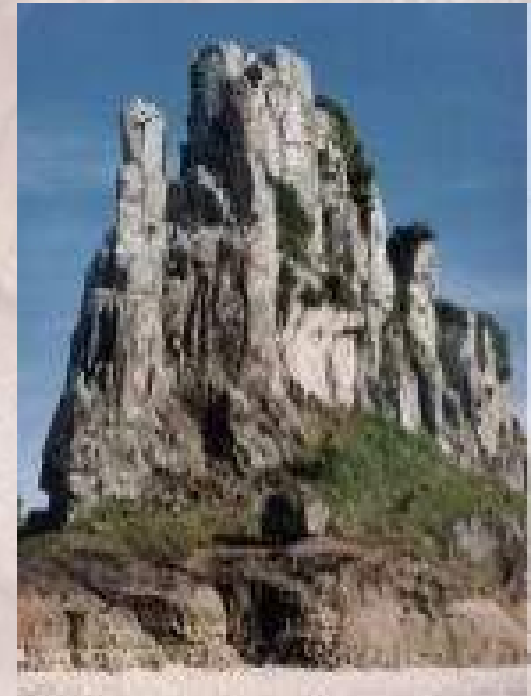
El Sistema Acuífero Guaraní está localizado en el centro este de América del Sur, entre los 12° y 35° de latitud sur y 47° y 65° de longitud oeste.



Ubicación y Características

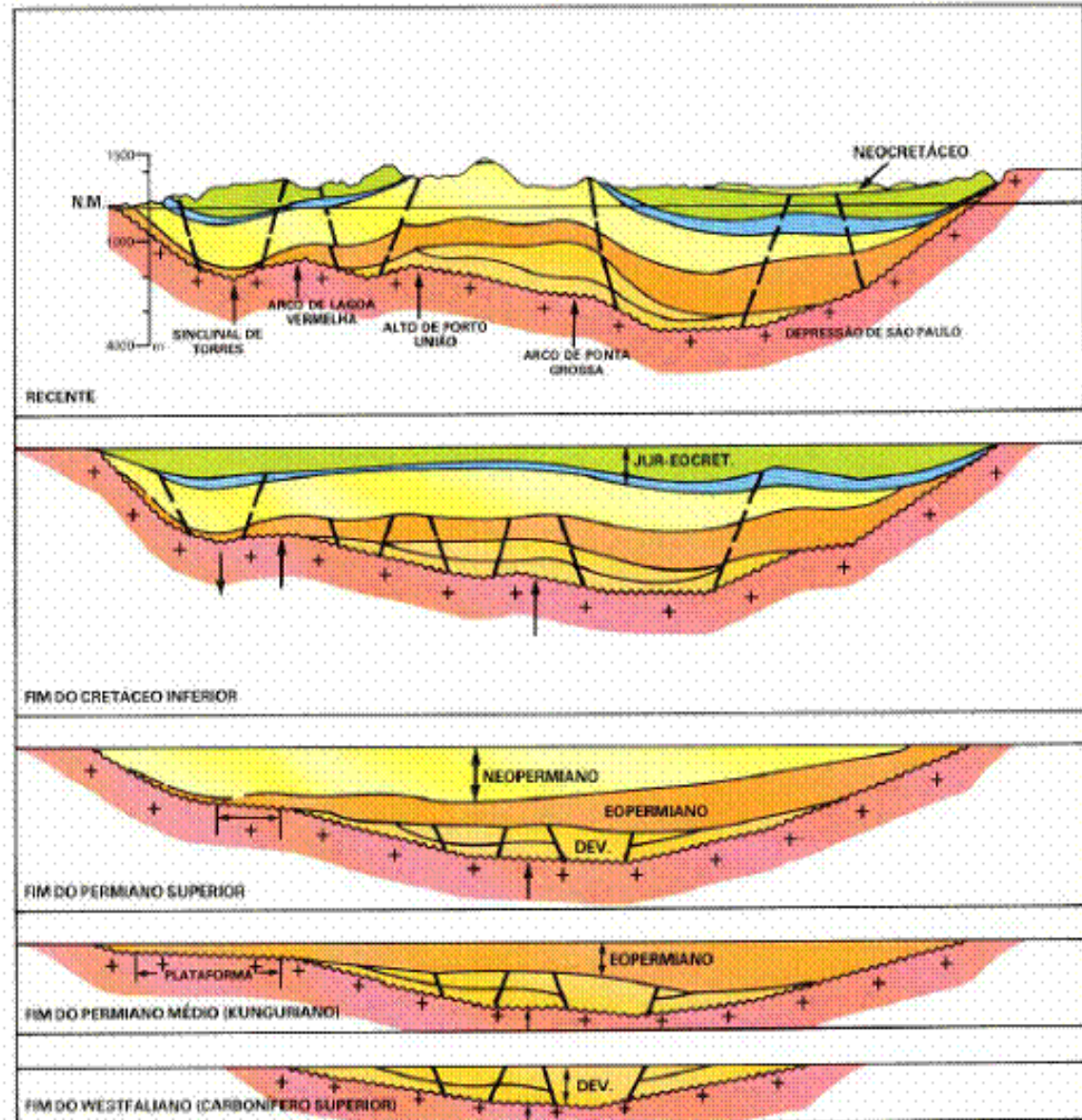
Área: 1.2 millones km²

- Habitantes en la región: 70 millones
- Profundidad del acuífero: superficie -1800 m
- Espesor medio estimado: 250 m
- Capacidad máx. de pozos: 1.000.000 l/h
(278 l/s)
- Temperaturas: 33°C - 65°C
- Reserva Total 37.000 kms cúbicos
- Recarga Anual Estimada: 40 km³



Evolución estructural del SAG y su contexto en la Cuenca del Paraná

(Fúlfaro et.al. 1982)



Afloramiento Fm. Botucatu - Misiones



Formación Tacuarembó



Falla en Formación Tacuarembó



Ruinas Jesuíticas – Trinidad - Jesús



Afloramiento Basalto - Fm. Serra Geral

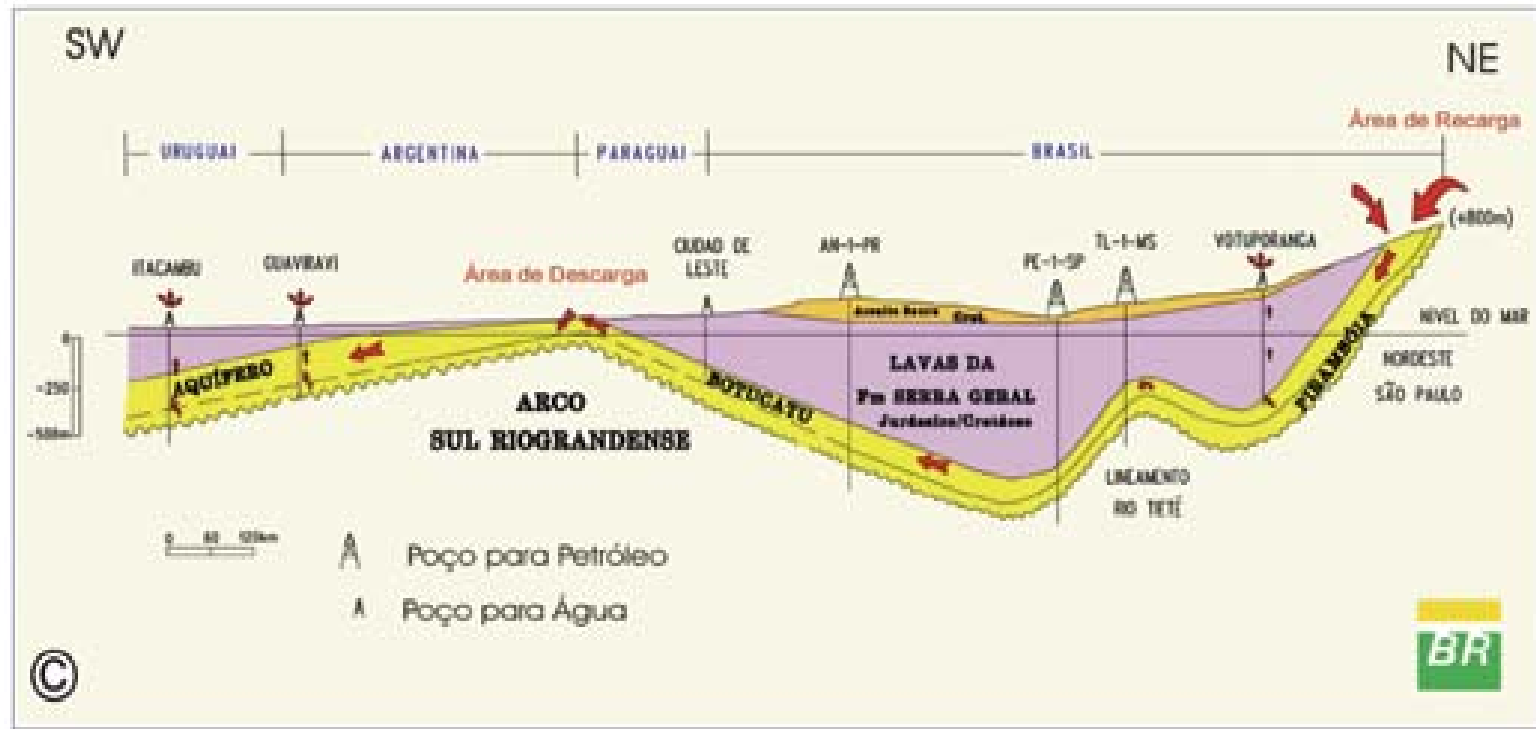




Afloramiento Natural en el territorio del Acuífero Guaraní



Corte estratigráfico

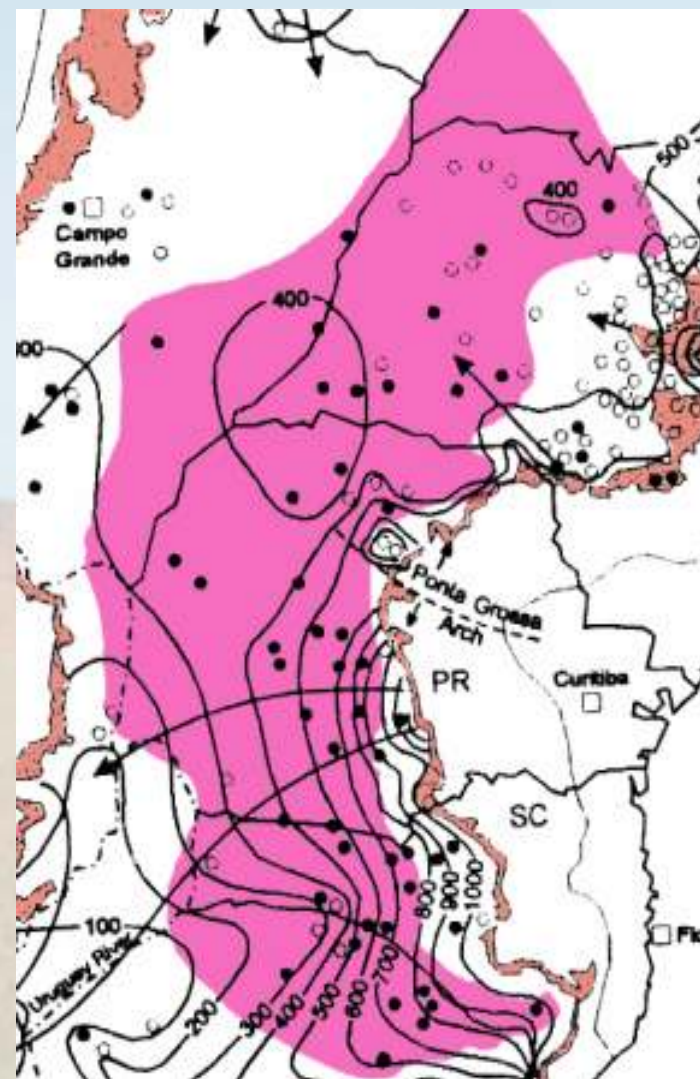
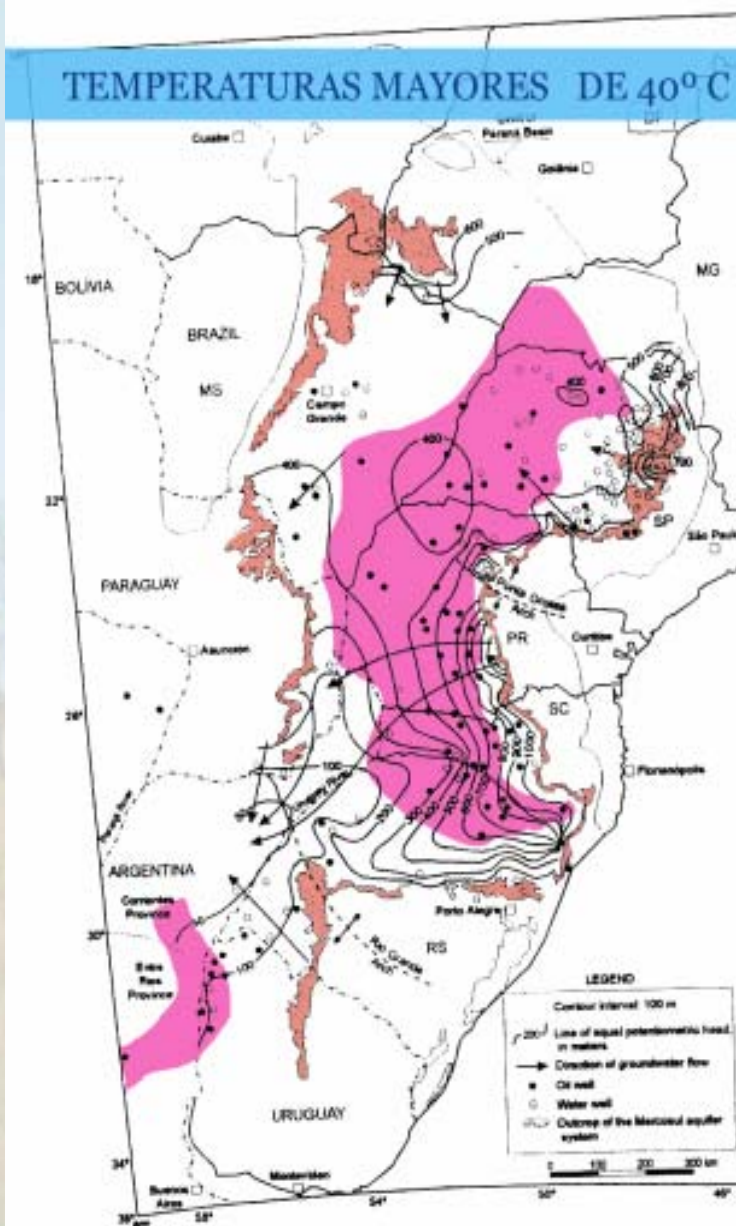


(Araújo et. al. 1995)

SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ //

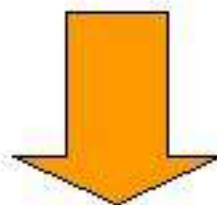


TEMPERATURAS MAYORES DE 40°C





Proyecto Sistema Acuífero Guaraní : componentes y productos



COMPONENTES:

- I. Expansión y consolidación de las bases del conocimiento científico actual del SAG;
- II. Desarrollo e implementación coordinada de un marco de gestión del SAG;
- III. fomento a la participación pública y de la educación ambiental;
- IV. Monitoreo del proyecto y disseminación de resultados;
- V. Desarrollo de medidas para la gestión de las aguas subterráneas en áreas críticas ("hot spots");
- VI. consideración del potencial para la utilización de la energía geotérmica;
- VII. Coordinación del proyecto.

➤ **Acuerdo entre países en el marco institucional y técnico**

➤ **Red de Monitoreo en funcionamiento**

Fase de Implementación de 4 años

➤ **Programa de Acción Estratégico**
➤ **Análisis de Diagnóstico Transfronterizo**

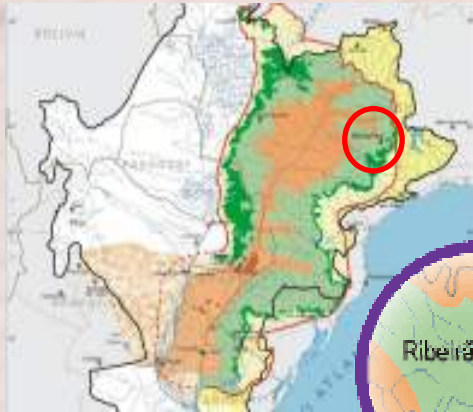
➤ **Propuesta para marco legal coordinado**

Proyecto Sistema Acuífero Guaraní : FONDOS ESPECÍFICOS

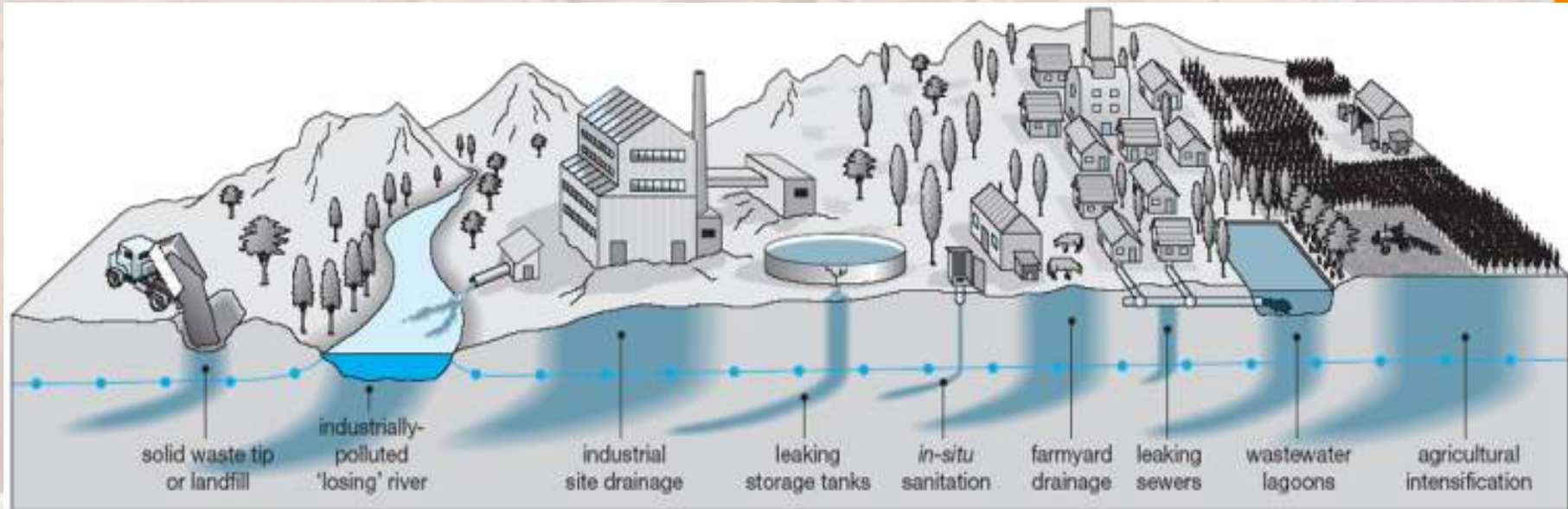


**Fondo universitario adicional SAG para la investigación y
entrenamiento;**

**Fondo de la Ciudadanía para apoyar proyectos
de ONGs en la temática ambiental (contrapartidas).**

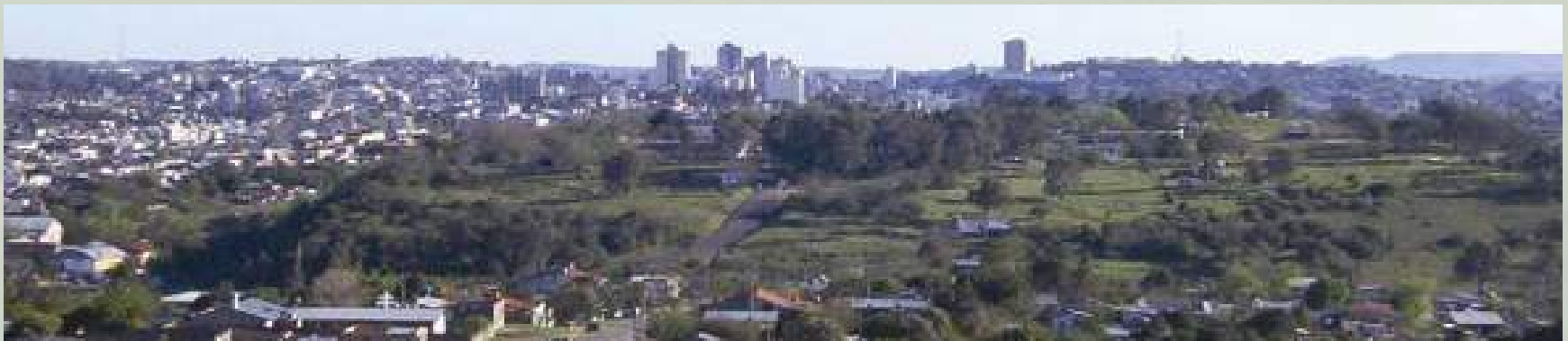


Proyecto Piloto Ribeirão Preto





Proyecto Piloto Riviera / Santana do Livramento





Proyecto Piloto Concordia / Salto



Proyecto Piloto Itapúa - Paraguay



ESQUEMA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Hidrogeología General, Termal y Modelo Regional

Enfoque:

Coordinación, Análisis,
Integración de datos
Hidrogeología Regional

- Diseño e implementación Banco de Datos hidrogeológicos SISAG
- Diseño Red de Monitoreo
- Investigación Técnico-Científica en Escala Regional
 - Integración, Compatibilización e Interpretación de Datos
 - Pesquisa Hidrogeológica Básica
 - Integración de Estudio de Áreas Críticas
- Manual de Tecnología Pozos Tubulares
- Mapa Hidrogeológico Regional del SAG
- Modelo Numérico Regional del SAG
- Evaluación del Potencial de Uso del Sistema Acuífero
 - Potencial del Recurso Geotermal
 - Potencial del Recurso de Agua No Termal

Subregión Operativa Norte

Enfoque:

Gestión, Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación Local, Estudio de Megaestructuras e Influencia sobre flujo subterráneo regional, Hidroquímica, Área-Piloto

- Obtención y Tratamiento de Datos Hidrogeológicos Preliminares – Inventario y Muestreo de Pozos a Escala Subregional y Escala Local
- Investigación Técnico-Científica a Escala Subregional y Escala Local
 - Geología / Geofísica
 - Hidroquímica / Isotopía
 - Isotopía Complementaria
- Continuación de Investigación Técnico-Científica en Escala Local de Área Piloto
- Red de Monitoreo

Subregión Operativa Sur

Enfoque:

Gestión, Estudio de Megaestructuras e influencia sobre flujo subterráneo regional, Límites y características, Agua dulce-salada Areas- Piloto

- Obtención y Tratamiento de Datos Hidrogeológicos Preliminares – Inventario y Muestreo de Pozos a Escala Subregional y Escala Local
- Investigación Técnico-Científica a Escala Subregional y Escala Local
 - Geología / Geofísica
 - Hidroquímica / Isotopía
 - Isotopía Complementaria
- Continuación de Investigación Técnico-Científica en Escala Local de las Áreas Piloto
- Red de Monitoreo

S I S A G



ACTIVIDADES TÉCNICAS DEL PSAG: HIDROGEOLOGÍA, TERMALISMO Y MODELO REGIONAL

- ✓ **Diseño e Implementación del Banco de Datos Hidrológico del SISAG, a nivel Regional y Local (Pilotos)**
- ✓ **Preparación de la Ficha de Pozos standarizada para el Inventario y Muestreo de los pozos.**
 - ✓ **Diseño de la futura Red de Monitoreo**
- ✓ **Investigación hidrogeológica Básica (conexiones hidráulica entre el SAG y acuíferos limitantes, recarga, tránsito y descarga del SAG, surgencia del SAG)**
- ✓ **Mapas temáticos diversos a escala regional (1:3.000.000 a 1:1.000.000).**

ACTIVIDADES TÉCNICAS DEL PSAG: HIDROGEOLOGÍA, TERMALISMO Y MODELO REGIONAL

- ✓ Integración de estudios en áreas piloto relacionadas a la contaminación e interferencia entre pozos.
- ✓ Manual de Tecnologías de pozos tubulares.
- ✓ Modelo Regional Conceptual y Numérico (simulación de flujos, de grandes extracciones y niveles piezométricos regionales, y de transporte general de contaminantes.
- ✓ Evaluación del potencial de uso (termal y no termal). Evaluaciones técnico-socio-económicas; proyección de demandas y escenarios futuros.



ÁREAS NORTE, SUR Y PILOTOS.

- ✓ Inventario y muestreo de pozos a nivel regional y local en las áreas piloto.
- ✓ Ejecución de transectas geológicas y geofísicas, estudios estratigráficos y estructurales.
- ✓ Análisis químicos e isotópicos de muestras en laboratorio.
- ✓ Implementación de la red de monitoreo del PSAG.
- ✓ Ejecución de estudios hidrogeológicos locales en las áreas piloto. Medidas de protección de acuíferos.
- ✓ Ejecución de los mapas Hidrogeológicos locales
- ✓ Modelos matemáticos locales. Simulación de explotación

PLAN DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

DESAGREGACION DE LOS ELEMENTOS A CONTROLAR

A) PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN DE LAS DIVERSAS ACTIVIDADES CIENTIFICO-TECNICAS DESARROLLADAS Y PRODUCTOS PRINCIPALES.

- Banco de Datos y obtención de información de datos y metadatos.
- Inventario y Muestreo de pozos. Hidroquímica e Isotopía.
- Geología y Geofísica.
- Diseño e implementación de la Red de Monitoreo.
- Mapas de SAG.
- Modelos numéricos del SAG
- Manuales

B) SISTEMAS

- Constitución de la Organización y Gerenciamiento.
- Infraestructura disponible.
- Interacción entre el Plantel de Recursos Humanos.
- Control de Calidad Interno de las Empresas.

C) RECURSOS HUMANOS.

- Grado de compromiso asumido
- Producción científico-tecnológica
- Lecciones aprendidas.

Estado del Programa

Proyecto Sistema Acuífero Guaraní - Programa Detallado de Trabajo - Fecha de Corte: Julio 15 de 2007																														
ID	Resource Name	Task Name	% Complete	2007																								2008		
				Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		
1		ACTIVIDADES PRELIMINARES	100%																											
4		INVENTARIO Y MUESTREO DE POZOS A ESCALAS REGIONAL Y LOCAL	89%																											
20		HIDROQUIMICA A ESCALAS REGIONAL Y LOCAL	43%																											
27		GEOLOGIA A ESCALAS REGIONAL Y LOCAL	89%																											
45		GEOFISICA A ESCALAS REGIONAL Y LOCAL	74%																											
58		ISOTOPIA A ESCALAS REGIONAL Y LOCAL	55%																											
67		MAPAS LOCALES EN LAS AREAS PILOTO	100%																											
72		HIDROGEOLOGIA LOCAL	6%																											
81		CONTAMINACION E INTERFERENCIA DE POZOS	46%																											
94		EVALUACION DEL USO POTENCIAL DEL ACUIFERO	31%																											
102		MODELOS NUMERICOS LOCALES	11%																											
107		IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE MONITOREO	17%																											

Región Operativa Norte

•Estado de los Trabajos de Campo

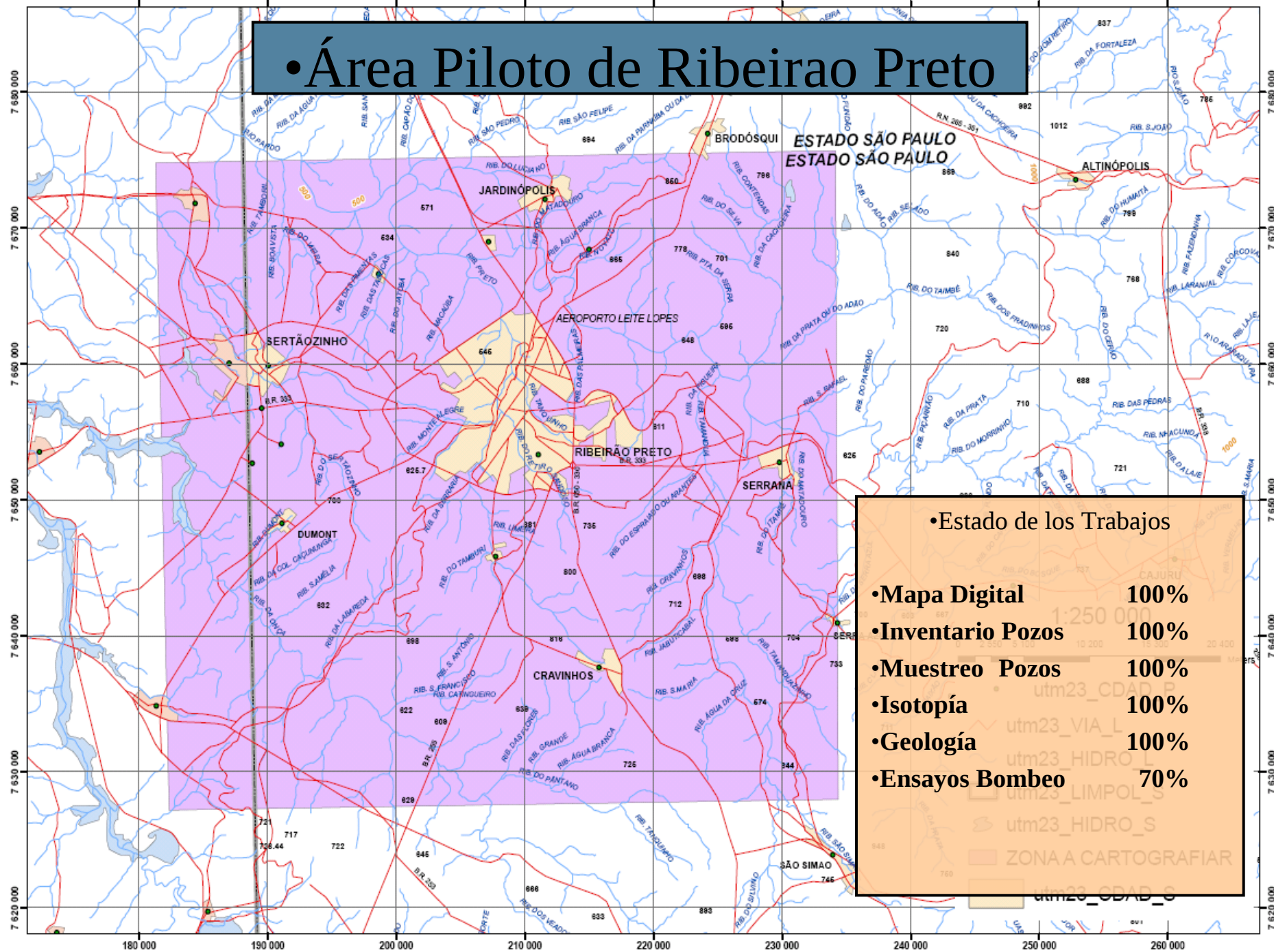
•Inventario de Pozos	100%
•Muestreo de Pozos	100%
•Muestreo para Isotopía	100%
•Geología	100%
•Geofísica	45%
•Ensayos de Bombeo	70%

Región Operativa Sur

•Estado de los Trabajos de Campo

•Inventario de Pozos	95%
•Muestreo de Pozos	85%
•Muestreo para Isotopía	85%
•Geología	100%
•Geofísica	78%
•Ensayos de Bombeo	100%

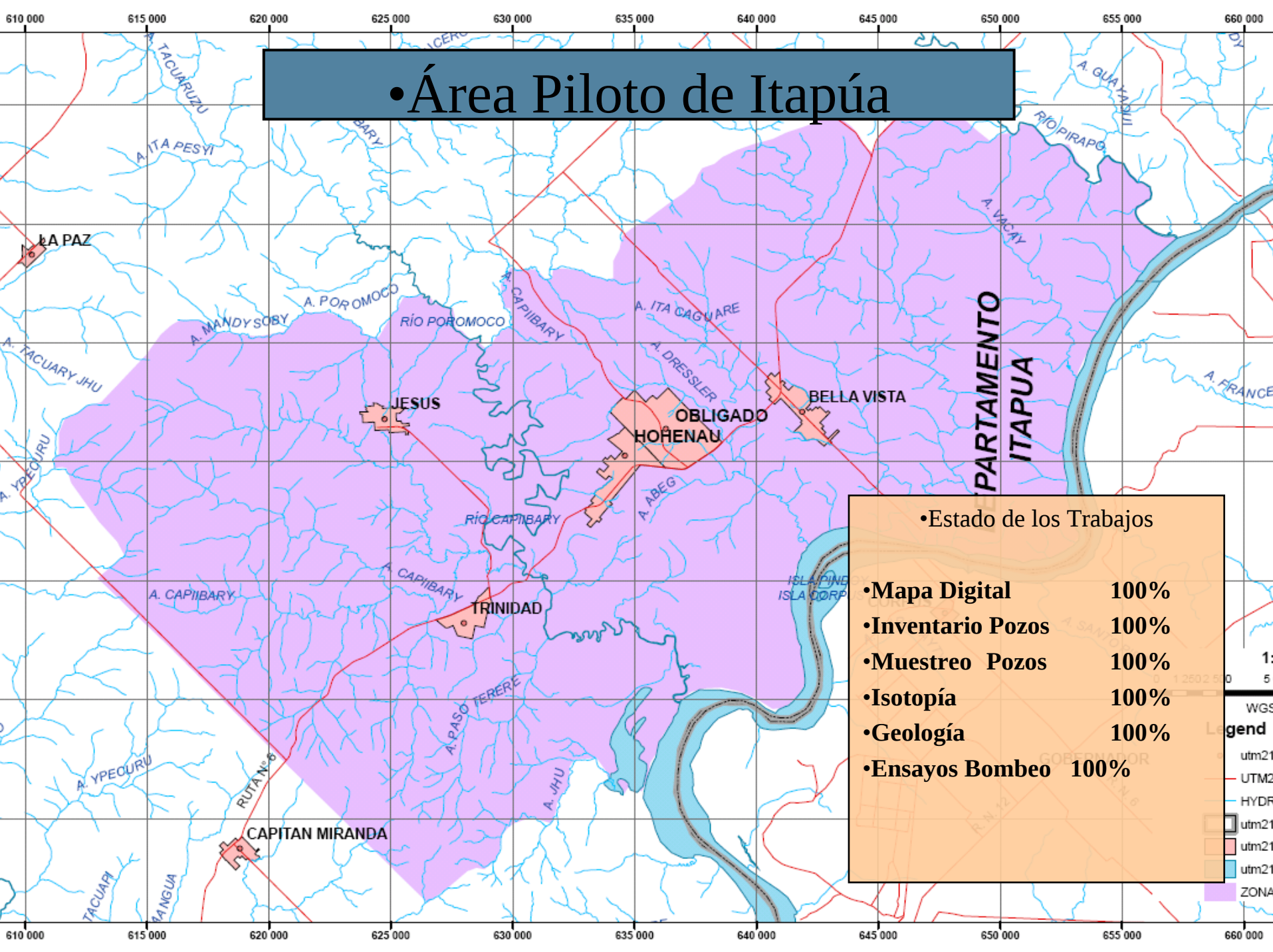
•Área Piloto de Ribeirao Preto



•Estado de los Trabajos

•Mapa Digital	100%
•Inventario Pozos	100%
•Muestreo Pozos	100%
•Isotopía	100%
•Geología	100%
•Ensayos Bombeo	70%

- Área Piloto de Itapúa



- Estado de los Trabajos

• Mapa Digital	100%
• Inventario Pozos	100%
• Muestreo Pozos	100%
• Isotopía	100%
• Geología	100%
• Ensayos Bombeo	100%

- Estado de los Trabajos

• Mapa Digital	100%
• Inventario Pozos	100%
• Muestreo Pozos	100%
• Isotopía	100%
• Geología	100%
• Ensayos Bombeo	100%

gnd

... 2

0012

— UTM2

— HYDR

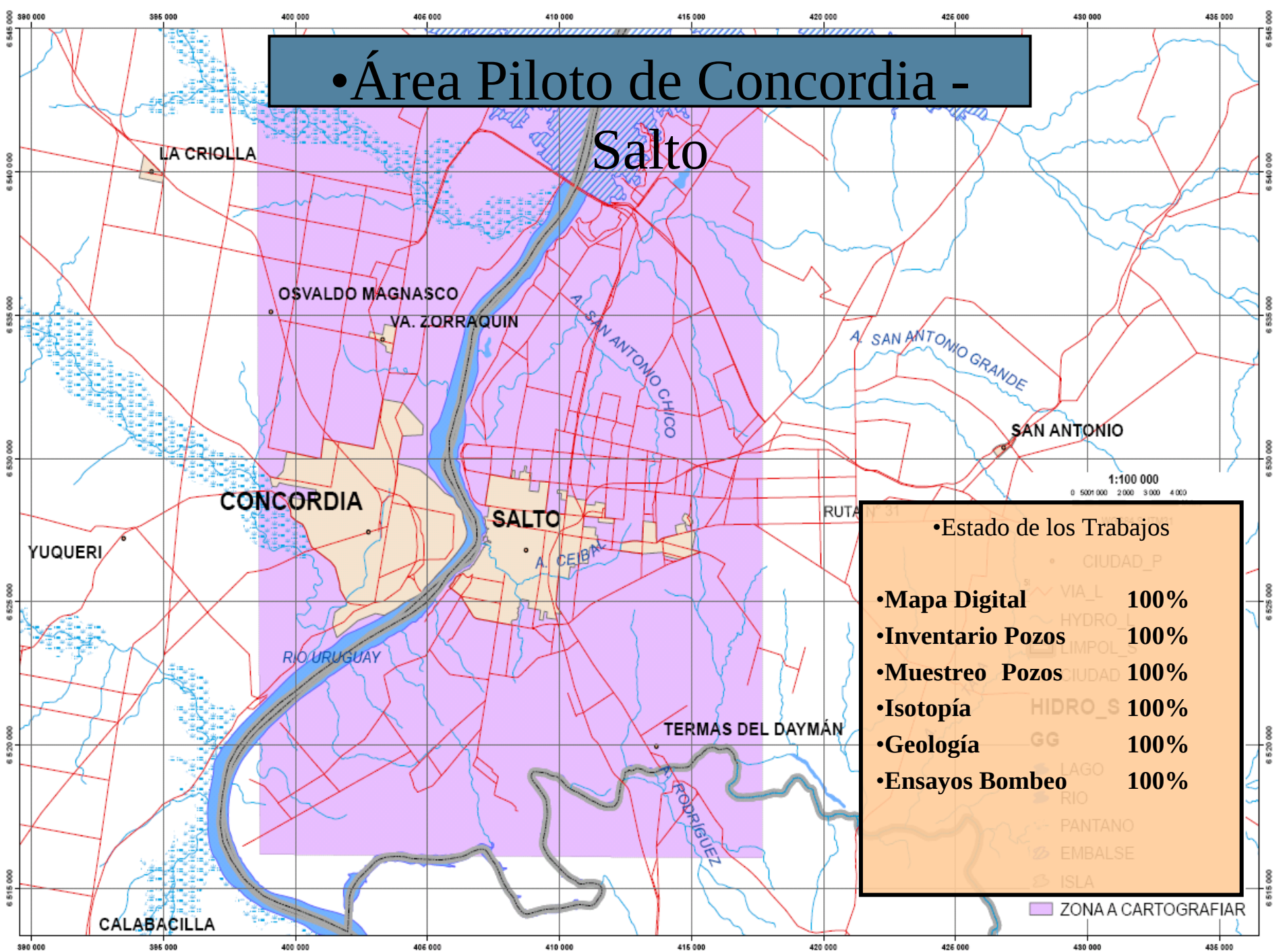
utm2

utm2

ultra2

0.012

•Área Piloto de Concordia - Salto

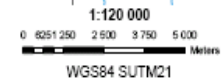


•Estado de los Trabajos

- Mapa Digital 100%
- Inventario Pozos 100%
- Muestreo Pozos 100%
- Isotopía 100%
- Geología 100%
- Ensayos Bombeo 100%

■ ZONA A CARTOGRAFIAR

ZONA A CARTOGRAFIAR



- CIUDAD P

•Mapa Digital	100%
•Inventario Pozos	100%
•Muestreo Pozos	100%
•Isotopía	100%
•Geología	100%
•Ensayos Bombeo	100%

ZONA A CARTOGRAFIAR

 40000

Mapas Digitales Áreas Piloto

Area Piloto	Escala		Total
	1:50.000	1:10.000	
Ribeirao Preto	4		4
Itapúa	2		2
Concordia - Salto	1		1
Rivera – Santana do Livramento	1	4	5

Inventario y Muestreo 1er año

Tipo	Región Norte	Región Sur	Total	%
Inventario	1100	566	1666	97.0
“in situ”	274	205	479	95.2
Muestreo	116	134	250	91.9
Análisis de Laboratorio				

Muestreo para Isotopía

No. de Pozos	Región		Total	%
	Norte	Sur		
Muestreo	80	135	215	90.0



Ensayos de Bombeo

Área Piloto	Total Ensayos	Realizados
Ribeirao Preto	10	7
Itapúa	4	4
Concordia-Salto	2	2
Rivera-Santana do Livramento	4	4
Total	20	17

Otros Análisis	
Muestreo Hidroquímica	8
Muestreo Isotopía	8

Geología

Actividades Desarrolladas en Campo

•Áreas Piloto:

Ribeirao Preto = 2600 km² (100%)
Itapúa = 828 km² (100%)
Concordia-Salto = 500 km² (100%)
Rivera-Santana = 750 km² (100%)

•Transectas:

Uruguay = 365 km (100%)
Brasil = 876 km (100%)
Argentina = 565 km (100%)
Paraguay = 875 km (100%)

•**Perfiles Estratigráficos** = 75 en total

•**Puntos de Control Geológico** = 3355 en total

•**Estaciones de Paleocorrientes** = 94 en total

Petrofísica - Petrografía

Muestras Recibidas

Muestras de Superficie	=	365
Muestras Cutting	=	139

Muestras Procesadas

Petrofísica Básica	=	241
Petrografía	=	56
Palinología	=	46
Cortes Delgados	=	62
Minerales Pesados	=	34
Microscopio Electrónico	=	10

Geofísica – Gravimetría de Campo

Actividades Realizadas

Relevamiento	= 3400 Km. (100%)
# de Estaciones	= 2470
Transectas	= 1, 2, 3, 4, 5 y 6



Ensayos MT - AMT

Ensayos Realizados

Argentina	=	42
Uruguay	=	0
Paraguay	=	0
Brasil	=	0
Total	=	42 (30.0%)

Fechas Estimadas de Terminación de las Actividades de Campo

- Hidroquímica 1er año
 - **Sector Norte:** terminado
 - **Sector Sur:** Septiembre 15 de 2007
- Geología:
 - **Campo:** terminado
 - **Gabinete:** Octubre 31 de 2007
- Geofísica:
 - **Campo:** Octubre 31 de 2007
 - **Gabinete:** Noviembre 30 de 2007
- Petrografía:
 - **Ensayos:** Agosto 31 de 2007
 - **Gabinete:** Septiembre 30 de 2007

BDH

El Banco de Datos Hidrogeológicos contiene información de pozos que alcanzan el SAG en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay

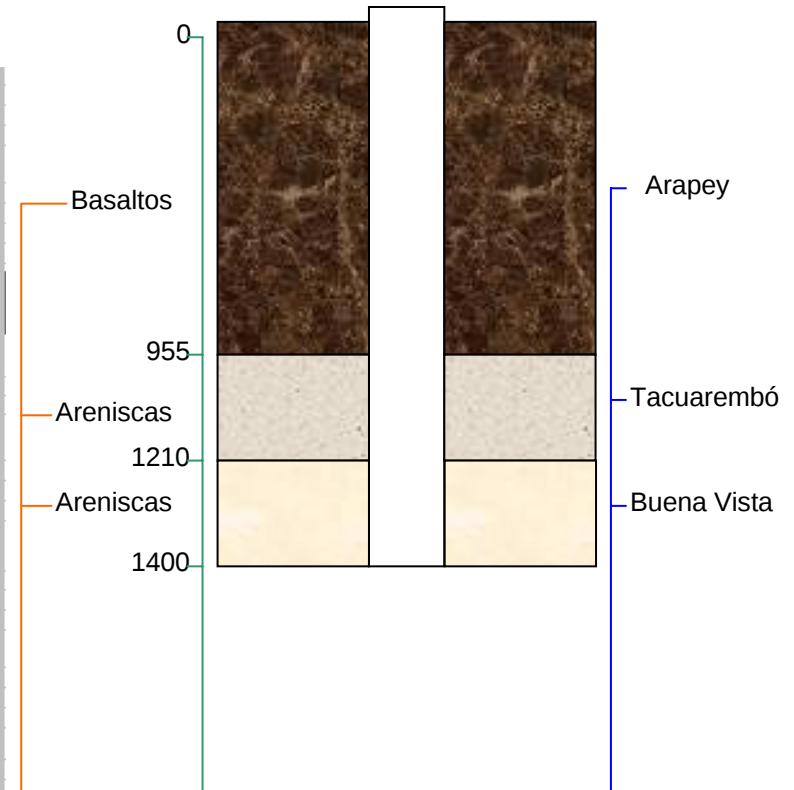
Sobre un total de 7020 pozos incorporados en la actualidad, 6741 tienen coordenadas y 1271 descripción litológica

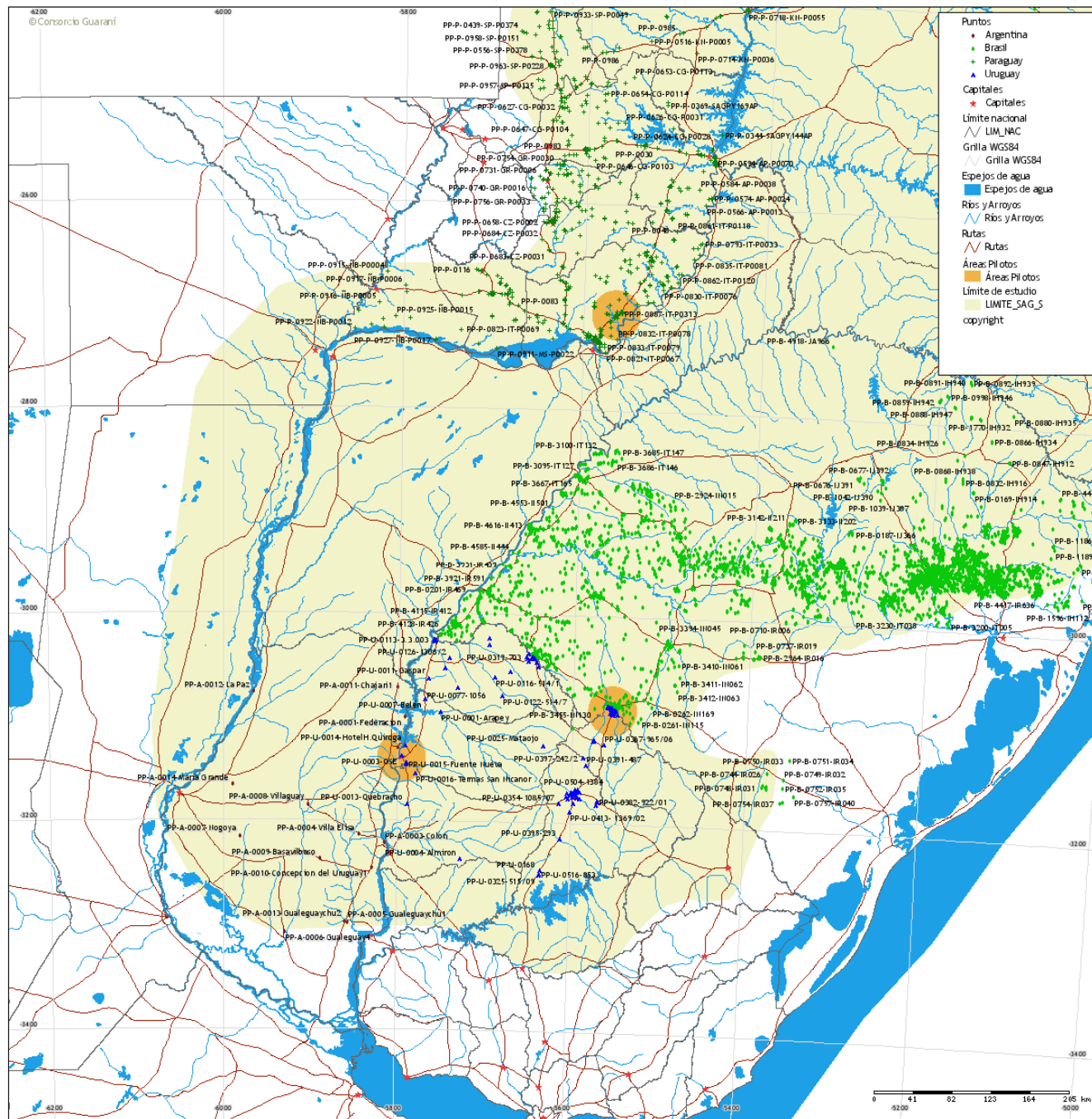
Unos 2000 pozos captan agua del SAG

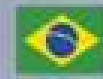
Ficha de pozo

Pozo de Daymán

FICHA DE POZO									
1/2									
UBICACIÓN									
Código	Nombre pozo	País	Provincia, Dpto, Distrito	Municipio, Localidad	Paraje, Barrio	Acceso			
	Dayman	Uruguay	Salto	Salto	Dayman	En parque termal municipal de Termas de Daymán			
PROPIETARIO									
Nombre	Ciudad	Dirección		Teléfono	Fax	Correo elect.	CP		
IM Salto	Salto	Juan Carlos Gomez 32		073-29898	073-32769				
UBICACIÓN									
Cuenca superficial									
Río Daymán									
RESPONSABLE TÉCNICO		INFORMACIÓN DEL POZO							
Nombre	Correo elect.	Método de acotamiento (GPS, carta, etc.)	Zona UTM	Coord. X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Cota de terreno (m)	Latitud (° ' ")	Longitud (° ' ")	Sistema de coord.
		GPS geodésico				19,5			UTM Uruguay
Fecha de inicio de explotación	Estado (activa, inactiva, abandonada)	Función (Extracción, minería, etc.)	Condición (Buena, regular, mala)	Acuífero	Altura de boca de pozo (m)	Caudal (m³/h)	Surgente (sí/no)	Prof. Niv. Estático (m)	Prof. Nivel Dinámico (m)
1957	Activo	Extracción	Buena	Guarani	0	180	sí	-77	0
INSTALACIÓN									
Marca de equipo de bombeo	Eq. de extrac. (vurgenta, bomba, etc.)	Potencia (Hp)	Profundidad de succión (m)	Fuerza Motriz (eléctricidad, combustible, etc.)	Diámetro descarga (cm)	Medición continua de caudal (sí/no)			
	Bomba superficial	35	0	Electricidad	200	sí			
PERFORACIÓN									
Perforado / Brocal	Método de perforación								
Perforado	Rotación								
PERFORACIÓN									
Equipo de perforación	Características del equipo	Empresa perforista	Dirección	Ciudad	País	Teléfono	Fax	Correo electrónico	
		ANCAP		Montevideo	Uy				
PERFIL ESTRATIGRÁFICO									
Desde (m.)	Hasta (m.)	Litología	Descripción						
0	955	Basaltos	←						
955	1200	Areniscas	←						
1210	1400	Areniscas	←						
PERFILES									
Fecha Interpretación		Empresa / Técnico responsable							
PERFIL GEOLÓGICO									
Desde (m.)	Hasta (m.)	Edad	Formación						
0	955	Cretácico	Arapey						
955	1210	Triásico	Tacuarembó						
1210	1400	Jurásico	Buena Vista						







Gracias por su atención

sag@sg-guarani.org / www.sg-guarani.org

jsantacruz@sg-guarani.org