



ORGANIZACIÓN DE LOS
ESTADOS AMERICANOS



PROGRAMA ESTRATEGICO
DE ACCION - COBINABE



PROYECTO:
**“PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA
EN RELACIÓN CON LOS EFECTOS HIDROGEOLÓGICOS
DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO”**

COMPONENTE: “AGUAS SUBTERRÁNEAS”

CASO DE ESTUDIO
UNESCO/OEA ISARM Américas
SISTEMA ACUÍFERO YRENDA-TOBA-TARIJEÑO
PARAGUAY-ARGENTINA-BOLIVIA

INFORME DE SÍNTESIS

Ronald C. Pasig

Proyecto de gestión
Integrada y Plan
Maestro de la Cuenca
del Rio Pilcomayo
BIBLIOTECA

Información recopilada y preparada por:

Alfredo Fuertes (Argentina)
Hernán Villena (Bolivia)
Juan Ríos (Paraguay)

Enero 2005

PROLOGO

El Proyecto denominado **“PROGRAMA MARCO PARA LA GESTION SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA EN RELACION CON LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMATICO”** se encuentra en preparación dentro del Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC-Plata).

Una de las actividades del Proyecto es desarrollar los Términos de Referencia para el Sub-Proyecto, ISARM Américas, Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño (SAYTT) del componente, **Aguas Subterráneas**. A tal efecto se desarrolló entre los días 16 y 17 de agosto de 2004 en la ciudad de Tarija – Bolivia el “Taller Internacional sobre el Acuífero Transfronterizo Yrendá Toba Tarijeño”, a través del Programa Estratégico de Acción de la Cuenca Binacional del Río Bermejo y con los auspicios de la Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija, del Programa UNESCO/OEA, ISARM Américas y de la ODSMA/OEA. El principal objetivo de este taller fue de definir un plan de trabajo para la preparación de los Términos de Referencia para el caso piloto SAYTT, cuyo Proyecto ya había sido seleccionado anteriormente por el Programa UNESCO/ISARM/OEA, como caso de estudio prioritario para la instrumentación de posibles proyectos del componente aguas subterráneas.

La fase de preparación del componente: Agua Subterránea, basado en el SAYTT, ha sido desarrollada con fondos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente de Italia, que ofreció un cofinanciamiento para el desarrollo de las diferentes actividades que concluirá con la elaboración de los Términos de Referencia para los Casos – Piloto ISARM/Américas.

INTRODUCCIÓN

El presente informe sintetiza los resultados de los trabajos de consultoría que los expertos de los tres países involucrados en el SAYTT han realizado como parte de la preparación de los Términos de Referencia para la presentación de un Sub-Proyecto dentro del Programa Marco de la Cuenca del Plata.

Los gobiernos de Argentina, Bolivia y Paraguay a través de sus respectivas instituciones, han visto por conveniente el evaluar el potencial y la calidad de agua subterránea del SAYTT, en un área (conocida como el Chaco Sudamericano) y donde el desarrollo socio-económico está limitado por la falta de agua en cantidad y calidad adecuada. Bajo esta perspectiva, el presente documento pretende dar una síntesis de las informaciones obtenidas en los tres países, con el objeto de servir como documento base para la solicitud de financiamiento ante el Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF) y/u otros organismos de financiamiento.

El Chaco Sudamericano ocupa una extensión de aproximadamente 840.000 km² en el corazón de Sudamérica y se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones que varían entre los 400 y 1000 mm/anuales y elevadas temperaturas medias anuales (alrededor de 21 °C). Los cauces superficiales permanentes son escasos y solamente los ríos Pilcomayo, Bermejo, Juramento y Dulce se presentan como cauces superficiales de importancia. La falta de agua

superficial para consumo humano, ganadero y riego ha sido paleada en gran parte mediante la extracción de agua subterránea a través de perforaciones.

El SAYTT, con una extensión de aproximadamente 350.000 km², es parte del Chaco y representa el más importante reservorio de agua dulce de esta región y una de las más significativas en el continente Sudamericano. Su potencial de agua subterránea (tanto en cantidad como calidad) es hasta ahora poco conocido, lo que hace necesaria una extensiva investigación y análisis de los volúmenes de recarga, capacidad de almacenamiento y capacidad de explotación de este sistema acuífero y que pudiese en el futuro ser utilizado en forma sustentable entre los tres países involucrados.

Los países han adoptado el siguiente nombre para identificar el Sistema Acuífero (SA) en sus respectivos territorios:

Paraguay: Acuífero Yrendá (Y)

Argentina: Acuífero Toba (T)

Bolivia: Acuífero Tarijeño (T)

Lo que ha resultado en la abreviación de SAYTT (Sistema Acuífero Yrendá – Toba – Tarijeño)

OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Garantizar una Gestión Sustentable de los Recursos Hídricos del SAYTT, asegurando la continuidad de la recarga y el mantenimiento de la calidad del mismo, involucrando a los usuarios y a los beneficiarios del agua del acuífero, para un mejor manejo de los riesgos asociados con los cambios climáticos globales.

INDICE GENERAL

PROLOGO	a
INTRODUCCIÓN	a
OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	b
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DEL SAYTT	1
1.1 Ubicación y extensión	2
1.2 Clima	3
1.3 Fauna y Flora	3
1.4 Suelos	4
1.5 Humedales y áreas protegidas	4
1.6 Impacto sobre el medio ambiente	5
2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA	6
2.1 Geología general	6
2.2 Geomorfología	7
2.3 Estructura	7
3. HIDROGEOLOGÍA	8
3.1 Características de los acuíferos del SAYTT	8
3.2 Profundidad y geometría de los acuíferos	9
3.3 Calidad del agua subterránea	9
3.3.1 Relación entre el agua subterránea dulce y salada	10
3.4 Áreas de recarga y descarga	10
3.5 Datos hidráulicos de los acuíferos	11
3.6 Relación entre el SAYTT y los cambios paleoclimáticos de Sudamérica	12
4. DATOS SOCIO-ECONÓMICOS	12
4.1 Acceso al agua potable y condiciones de salubridad de la población en el sector del SAYTT	12
4.2 Desarrollo económicas de la población	13
4.3 Costo del agua	15
5. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL	15
5.1 Leyes, decretos y reglamentos que rigen el uso y gestión de los recursos hídricos subterráneos	15
5.2 Organismos y instituciones relacionados con los Recursos Hídricos Subterráneos a nivel nacional	18
6. CONCLUSIONES	20
7. RECOMENDACIONES	22
8. BIBLIOGRAFÍA	23

INDICE DE FIGURAS

Fig 1: Ubicación y extensión del SAYTT	I
Fig 2: Cuenca pericratónica del Chaco Sudamericano	II
Fig 3: Perfil NW-SE del SAYTT en el sector de la provincia de Formosa (Argentina)	III
Fig 4: Perfil NW-SE del SAYTT en el sector de la provincia de Salta-Santiago del Estero (Argentina)	IV
Fig 5: Evolución Hidroquímica del agua subterránea del sector de recarga (Bolivia y Argentina) hacia el sector de descarga (Paraguay)	V

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DEL SAYTT

1.1 Ubicación y extensión

La distribución y extensión del SAYTT es la siguiente (*Fig. 1*):

- **Argentina**

El **Sistema Acuífero Toba** abarca en la República Argentina una superficie aproximada de 200.000 km², correspondiendo a una cuarta parte de la Provincia Geológica Chaco-Pampeana y a un 7,7 % de la superficie continental del territorio nacional. Incluye a las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Formosa, Chaco y Santiago del Estero.

- **Paraguay**

Se ha determinado el área del **Sistema Acuífero Yrendá** en una superficie de alrededor de 120.000 km². La extensión que abarca con relación al total del territorio nacional es del 30 %. El Departamento de Boquerón con 91.669 Km² queda totalmente dentro del acuífero, la diferencia de 28.331 km² son distribuidas en los Departamentos de Alto Paraguay y Presidente Hayes.

- **Bolivia**

La superficie del **Sistema Acuífero Tarijeño** es de aproximadamente 32.000 km², abarcando parte de los departamentos de Tarija (provincia Gran Chaco), Chuquisaca (provincia Luis Calvo y Hernando Siles) y Santa Cruz de la Sierra (provincia Cordillera).

En total el SAYTT abarca una superficie total de unos **352.000 km²**, lo que representa aproximadamente el 40 % de la superficie del Chaco Sudamericano. De esta superficie, el 57 % se encuentra en territorio Argentino, 34 % en territorio Paraguayo y 9 % en territorio Boliviano.

Los límites del SAYTT quedan determinados de la siguiente manera:

- **Límite Norte:** línea imaginaria que se ubica aproximadamente a los 20° 00' de latitud sur, al sur del río Parapetí.
- **Límite Sur:** se sitúa en el borde noreste de los afloramientos de Sierras Pampeanas (Sierras de Sumampa y Ambargasta) y es coincidente con el escurrimiento del río Dulce.
- **Límite Oeste** (zona de recarga): se ubica -en parte- en la divisoria de aguas que conforman los últimos afloramientos orientales de las Sierras Subandinas, con las interrupciones que generan los grandes cursos de agua que la surcan como: río Pilcomayo, río Bermejo, río Juramento y río Dulce. Particularmente en la Sierra de Aguaragüe, este límite superficial también coincide con el borde de una cuenca hidrogeológica.
- **Límite Este** (zona de descarga): si bien debería contemplarse hasta la confluencia de los grandes ríos en los colectores principales Paraguay-Paraná, el SAT ha sido acotado hasta el del acuífero libre del sistema (aprox. a los 59° 30' 00" de longitud oeste).

1.2 Clima

El Chaco se caracteriza por ser seco y caluroso en el período de verano (entre noviembre y marzo), mientras que en los meses de junio y julio se presentan como los más fríos del año.

Según la clasificación climática de Thornthwaite, la llanura Chaqueña, por su régimen hídrico, puede clasificarse como semiárida, con temperaturas anuales de 21 °C y máximas extremas diarias que pueden alcanzar los 45 °C.

El clima es cálido y árido a subhúmedo con una precipitación media anual de 400 mm en el sector más oriental (límite Paraguay-Bolivia) hasta 1000-900 mm próximo al Subandino (serranía del Aguara Güe). La época seca dura de 7 a 9 meses por año, con algunas lloviznas esporádicas en el invierno. Durante la época invernal se pueden presentar frentes fríos (conocidos como surazos) y en donde las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C.

Los cálculos efectuados para determinar la evaporación potencial son muy puntuales, pero en general se estima que la misma puede llegar a valores de unos 2.200 mm/anuales en el sector del Chaco central Argentino y Paraguay.

1.3 Fauna y Flora

La vegetación es la denominada "montes fuertes", es decir bosques con una importante presencia de especies taníneras, estrato arbustivo y sotobosque denso de bromeliáceas. Las especies arbóreas más conspicuas son, el quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), el palo piedra (*Diplokeleba floribunda*), el urunday (*Astronium balansae*), el guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*), el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), algarrobo (*Prosopis* sp.), etc.

A lo largo del vasto territorio de la región chaqueña encontramos mamíferos, como por ejemplo: quirópteros o murciélagos, gatos onza, pecarí de collar o chanco moro, guazuncho mediano o birá Pitá, zorro de monte, comadreja, zorrino, coatí, oso hormiguero o yurumí, oso melero o caguaré, lobito de monte o gato eira, quirquincho o tatú bolita, mapache u osito lavador, roedores como la rata de campo, la laucha, el cuis (aperea), lobito de campo, etc.

Respecto a los reptiles y batracios, podemos citar a: víboras de distinto tipo como la coral, la yarará, la yarará de la cruz, la yarará falsa, la curiyú, la culebra verde, etc.; iguana o teyú o tegú, sapo común, escuerzo, lagartija, etc. Entre las aves encontramos: perdiz, palomas, tero, cuervo, halcón, gavilán, caracolero, picaflor, loro, cotorra, lechuza, chimango, búho o ñacurutú, urraca, jilguero, chingolo, churrinche, charata o faisán americano, cardenal, tuyuyú o tuyango, gallareta, calandria, gallito de agua, Cabureí, carancho, tordo, hornero, pico blanco, espátula rosada, jabirú, zorzal, caraó, boyero, frutero.

Por último cabe agregar que en toda la región existe una gran diversidad de insectos y arácnidos. Entre ellos se hallan los gorgojos, taladrillos, cucarachas, chinches, pulgas, moscas bravas (transmisoras del mal de las caderas), mosquito anofeles (portador del plasmodio, que provoca la enfermedad de paludismo) y la vinchuca (transmisora del mal de Chagas-Mazza).

1.4 Suelos

El Gran Chaco es una extensa llanura que ocupa la mayor parte de una cubeta sedimentaria, que a rasgos generales, abarca desde el cratón de Brasilia al este, las Sierras Subandinas y pampeanas al oeste, la llanura pampeana al sur y la amazonía al norte. En ella predominan los sedimentos de origen fluvial y eólico. En general, la textura aumenta de este a oeste debido a los sedimentos aportados por los ríos que provienen de las regiones montañosas que limitan al Chaco en el oeste. Esta cubeta fue paulatinamente rellena con sedimentos cuaternarios de tipo fluviales, lacustres y loessicos.

Al oeste, en la zona del límite Bolivia-Paraguay el desarrollo de los suelos es incipiente (Arenosoles, Regosoles). En el Chaco central paraguayo, se identifican suelos más desarrollados (Luviosoles) y hacia el este predominan los suelos arcillosos (Gleysoles, Vertisoles).

1.5 Humedales y áreas protegidas

El Chaco posee una gran abundancia y diversidad de humedales que según Dugan (1992) se pueden dividir en:

1. Lagunas permanentes
2. Lagunas temporarias
3. Ambientes continentales hipersalinos
4. Bañados
5. Ríos y arroyos de llanura (permanentes o temporarios)
6. Canales artificiales de drenaje
7. Embalses artificiales

En el sector Paraguayo las áreas de humedales identificadas son las siguientes:

Nombre	Departamento	Superficie
Río Negro	Alto Paraguay	370.000 ha
Tinfunque	Pte. Hayes	280.000 ha
Laguna Rojas Silva	Pte. Hayes	12.000 ha
Chaco Lodge	Boquerón	2.500 ha

Las áreas protegidas existentes en la región occidental del Paraguay son las siguientes.

Nombre	Decreto	Superficie
Parque Nacional Defensores del Chaco	Decreto N° 16.806/75	720.000 ha
Parque Nacional Agripino Enciso	Decreto N° 15.936/80	40.000 ha
Reserva de Recursos Manejados Tinfunquen	Decreto N° 18.205/66	280.000 ha
Reserva de Biosfera del Chaco	Decreto N° 13.202/01	4.707.250 ha
Reserva para Parque Nacional Río Negro	Decreto 13.202/01	281.630 ha
Reserva Natural Cerro Cabrera – Timane	Decreto 13.202/01	502.520 ha
Monumento Nacional Cerro Chovoreca	Decreto 13.202/01	247.150 ha
Parque Nacional Medanos del Chaco	Decreto 13.202/01	597.500 ha

En el sector Boliviano se presentan las siguientes áreas protegidas, parques nacionales y/o reservas:

1. Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado de la Serranía del Aguaragüe, con una superficie de 118.300 ha., creada mediante la Ley N° 22.083 de abril del 2000.
2. Área protegida en proceso de creación, denominada "Cabo Juan", con una superficie de 129.810 ha.
3. Reserva privada de patrimonio natural "Corvalán", administrada por la organización "Protección del Medio Ambiente de Tarija" (PROMETA) de aprox. 4500 ha.
4. Reserva forestal "Huacaya", ubicada en la Provincia Luis Calvo del Departamento de Chuquisaca (cantones Huacaya, Machareti y Ñancaroinza), tiene una superficie aproximada de 110.000 ha.
5. El refugio de Vida Silvestre, ubicado en la provincia Luis Calvo del departamento de Chuquisaca (cantón Carandayti), con una superficie aproximada de 150.000 ha.
6. El Parque Nacional integrado Kaa-Iya (traducción al español: Amos míticos del Monte), se encuentra en el primer distrito municipal indígena de la Capitanía del Izozog (Provincia Cordillera del Departamento de Santa Cruz), con una superficie de 3.444.000 ha.

En el sector Argentino podemos identificar las siguientes áreas protegidas:

1. Parque nacional Campo de los Alisos, creado en 1995 para proteger a un sector representativo de la selva y bosque montano y del bioma alto andino. Ocupa una superficie aproximada de 10.000 ha.
2. Reserva Natural de Formosa, creada en el año 1968 para proteger una muestra del Chaco Occidental. La superficie es de unas 10.000 ha.
3. Parque nacional Copo, fue declarado Reserva Natural Provincial en 1968 y a partir de 1993 constituye el Parque Provincial Copo. Tiene una superficie de 114.250 ha.
4. Área de Reserva hidrogeológica del Río Dulce; el 17 de marzo de 1998 la Municipalidad de Santiago del Estero sancionó la Ordenanza N° 2996/98 que crea la mencionada reserva. En esta área se prohíbe la eliminación de todo deshecho cloacal y también el relleno sanitario de desechos sólidos que puedan contaminar el acuífero.

1.6 Impacto sobre el medio ambiente

En todo el Chaco se observa un proceso generalizado y de creciente desertificación, resultado de la sobreexplotación de los recursos naturales, y más específicamente de la deforestación y sobrepastoreo, caza y pesca excesiva, expansión de la agricultura en tierras marginales, erosión generalizada y salinización de suelos por mal uso de la irrigación.

Esta situación ha llevado a que las convenciones internacionales de Cambio Climático, Desertificación y Biodiversidad (ratificada por los tres países miembros del SAYTT) hayan realizado grandes esfuerzos de intervención en el área chaqueña.

Seguidamente se detallan los factores más sobresalientes de degradación:

- Deforestación y erosión masiva de las cuencas de drenaje
- Re – estructuración de los ríos
- Desertificación (Salinización)

- Contaminación
- Uso no sustentable de los recursos hídricos
- Administración fragmentada de los recursos hídricos regionales

Otro aspecto importante es la utilización de fertilizantes y agroquímicos en las tierras de cultivo y que ocasiona problemas de contaminación de los acuíferos someros (libres).

En los centros poblados (como es el caso de Yacuiba, Villamontes, Mariscal Estigarriba y San Miguel de Tucumán entre otros) y en donde la red de alcantarillado sanitario es ineficiente y en muchos casos inexistente, los desechos humanos, industriales y de otra naturaleza son evacuados directamente a los lechos de las quebradas y/o infiltrados al subsuelo, con lo que se produce una contaminación areal continua y muy significativa en los acuíferos. Igualmente se genera una contaminación puntual en aquellos sectores donde los pozos de extracción de agua profunda no están adecuadamente sellados para evitar la infiltración hacia las capas acuíferas más profundas.

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA

2.1 Geología general

Geológicamente el Chaco es una cuenca pericratónica y forma parte de la Gran Cuenca del Chaco, que abarca la llanura de Beni, en Bolivia, hasta la llanura Chaco Pampeana en la Argentina (*Fig. 2*).

Coincide con una parte poco móvil de la corteza terrestre, de tendencia negativa, donde en el pasado geológico se depositaron espesas series sedimentarias marinas y continentales. El espesor de esta cubierta sedimentaria no se mantuvo uniforme y presenta numerosas variaciones que reflejan, en la mayoría de los casos, la existencia en el subsuelo de grandes depresiones, separadas por altos o dorsales.

En general, la columna estratigráfica del Chaco se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias del Paleozoico al Cenozoico, dentro de esta columna, solamente los sedimentos no consolidados del Terciario-Cuaternario, son de interés hidrogeológico y que se presentan con una litología relativamente homogénea, constituida por gravillas, arenas, limos y arcillas con niveles de cristales de yeso y concreciones carbonáticas. El límite Terciario-Cuaternario es muy difícil de determinar por la gran similitud litológica entre las formaciones.

Según Cabrera (1988), existen dos formaciones del Terciario que tienen las siguientes características:

- a. *Formación Chaco Inferior*: compuesta por areniscas con intercalaciones de bancos de limonitas y arcilitas color marrón claro a rojizo.
- b. *Formación Chaco Superior*: se presenta como una alternancia de areniscas, limonitas y arcilitas rojizas. Las areniscas son de grano fino a grueso, subredondeadas y de regular a buena selección. Esta formación tiene un menor porcentaje de limonitas y arcilitas que la formación Chaco Inferior.

Las secuencias del Cuaternario (Holoceno – Reciente) se caracterizan por lo siguiente:

Secuencias de origen poligénico, compuestas preferentemente por arenas varicolores, castañas, blanquecinas, rojizas y grisáceas, de grano muy fino hasta muy grueso y pobremente seleccionadas, limos color castaño claro a gris claro y bancos de arcillas, color rojizo y castaño claro con presencia de venillas y pequeños cristales de yeso. Una característica común de estos depósitos es su heterogeneidad litológica y su errática distribución y extensión de tal forma que es común que se produzcan fuertes variaciones faciales.

La secuencia descrita tiene suprayaciendo los grandes abanicos aluviales de los ríos Pilcomayo, Bermejo, Juramento y Dulce, que constituyen los principales reservorios de agua dulce y están representados por sedimentos arenosos y gravas que conforman los conocidos paleocauces, dentro de una geoforma mayor. Los espesores tienen en término medio entre 50 y 100 metros.

2.2 Geomorfología

La llanura chaqueña se caracteriza por una morfología homogénea y casi plana con algunas ondulaciones aisladas, donde se tienen formas, tanto deposicionales como erosionales, notándose también la presencia de terrazas aluviales y amplias llanuras aluviales. En las llanuras aluviales, la pendiente topográfica con relación al drenaje casi ha desaparecido completamente. Todos los depósitos superficiales en las llanuras aluviales y terrazas son sedimentos cuaternarios de origen aluvial.

Las llanuras son el gran paisaje característico de la Llanura Chaqueña. En general se presentan con características homogéneas, disección moderada a ligera, con pendientes menores a 2 %, sin pedregosidad o rocosidad superficial.

2.3 Estructura

Del análisis de algunas líneas sísmicas, preferentemente aquellas orientadas oeste-este, se advierte que el tren estructural que conforman las Sierras Subandinas continúa en el subsuelo, en estructuras anticlinales y sinclinales cada vez más atenuadas a medida que se avanza hacia el este.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estas estructuras al afectar a las secuencias terciarias, donde se presume que existen importantes reservorios de agua, pueden condicionar la presencia y direcciones de flujo del agua subterránea en ciertos sectores de la región chaqueña.

Otra observación que se desprende del análisis de algunas líneas sísmicas, es que los sistemas de grandes fallas que afectan a las secuencias pre-terciarias, no lo hacen en la misma magnitud hacia las secuencias suprayacentes. Esta situación permite inferir que la presencia y continuidad del recurso hídrico subterráneo en muchos sectores de la región chaqueña, debe estar más condicionado por las variaciones de facies, que por la presencia de fracturas.

3. HIDROGEOLOGÍA

3.1 Características de los acuíferos del SAYTT

El SAYTT está constituido por acuíferos libres poco profundos y confinados/semiconfinados profundos. Estos últimos representan los más importantes del Chaco central paraguayo y argentino, ya que almacenan grandes volúmenes de agua de buena calidad, que pueden ser aprovechadas económicamente. Se presentan en varios niveles y a diferentes profundidades, constituyendo sistemas multicapas interdigitados y que a escala regional forman un solo sistema hidrogeológico.

En términos generales se puede expresar que los grandes ríos que surcan la planicie chaqueña (Pilcomayo, Bermejo, Juramento, Dulce, etc.) brindan geoformas en las cuales se desarrollan un sistema de acuíferos que desde el oeste a este pasan de libres a confinados. Su potencia es variable y puede llegar a 200 metros.

Por debajo de estas geoformas modernas, los sedimentos Terciarios poseen intervalos productores de agua dulce y de agua salada, cuya relación aún no está aclarada. En el límite interprovincial Salta/Formosa (sobre el sector Argentino) existe un acuífero de agua dulce entre los 325 a los 385 metros de profundidad recientemente descubierto, debajo de una secuencia de intervalos de agua salada. Esta situación es un indicio sumamente alentador como indicador de agua dulce en capas acuíferas profundas.

En términos generales se puede expresar que las configuraciones de las líneas isopiezas y las direcciones de las líneas de flujo, indican una fuerte influencia de los grandes cursos fluviales sobre los reservorios subterráneos someros y una independencia del escurrimiento subterráneo profundo del escurrimiento superficial.

Sobre el sector argentino del acuífero se habla incluso de complejos acuíferos, identificándose el complejo Acuífero Tobantirenda, complejo Acuífero Pilcomayo, complejo Acuífero Tonono - El Chirete, complejo Acuífero Bermejo, complejo Acuífero Lomas de Olmedo y complejo Acuífero Terciario Subandino.

La hidrogeología del Chaco Tarijeño en Bolivia puede definirse como un sistema acuífero multicapa, con acuíferos interconectados e interdigitados. De acuerdo al sector se presentan acuíferos libres, semiconfinados ó confinados. En los sectores de paleocauces del cono aluvial del río Pilcomayo, los acuíferos son de características libres y/o semiconfinados superficiales (ubicados hasta los 130 - 150 metros de profundidad). Se presentan como lentes de agua dulce, generados a partir de capas sedimentarias lenticulares de materiales gruesos, con una reducida continuidad horizontal. La recarga a éstos acuíferos se produce a través del agua del río Pilcomayo y también por infiltración local del agua meteórica que se acumula en grandes cantidades en las cañadas. El agua subterránea extraída en estos sectores ha dado edades de ^{14}C convencionales comprendidas entre 700 y 4000 años, lo que indica la presencia de agua relativamente joven. Estas áreas son favorables para la perforación de pozos y la extracción de agua dulce, cuyos caudales de explotación varían entre 1 y 3 l/s aproximadamente.

En el área de la llanura chaqueña y elevaciones terciarias, los acuíferos son de características semiconfinados y/o confinados profundos, ubicados a partir de los 180 - 200 metros de

profundidad. Las aguas subterráneas son dulces, no superando los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica y los pozos existentes en el área no superan generalmente los 3 l/s de caudal. Esta misma situación se presenta en el área de valle y piedemonte, con la diferencia que los acuíferos existentes están constituidos por sedimentos más finos, por lo que los caudales de producción de agua pueden ser algo menores.

3.2 Profundidad y geometría de los acuíferos

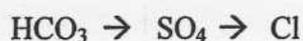
Tomando la sumatoria de sedimentos cuaternarios y sedimentitas terciarias se puede expresar que la geometría del reservorio en un corte vertical, conforma un gigante trapecioide de base plegada, con un lado mayor al oeste –en el área de recarga- de aproximadamente 4.000 metros de sedimentos y un lado menor (al este) de 300 metros en el área de descarga sobre la alineación estructural Charata - Chaco-Formoseño. La distancia de percolación entre la recarga y la descarga parcial del sistema -por sedimentos de variada permeabilidad- tiene en promedio 250 kilómetros. El Corte Esquemático N° 1 (*Fig. 3*) y N° 2 (*Fig. 4*) muestra en un perfil (de orientación este-oeste) las características geológicas-estructurales e hidrogeológicas del SAYTT¹.

3.3 Calidad del agua subterránea

Existe una gran heterogeneidad en la calidad físico-química de las aguas del SAYTT. No hay toma de muestras selectivas por intervalos de producción, lo que implica desconocer el comportamiento en profundidad en la mayoría de las perforaciones.

En el sector paraguayo del SAYTT, la calidad química de las aguas subterráneas es el factor limitante para su utilización doméstica, ganadera y agrícola. La presencia en la mayor parte del área de aguas con elevados contenidos de sales se debe a que entre los sedimentos que rellenan la cuenca se encuentran sales evaporíticas (principalmente Yeso), que por su solubilidad dan origen a aguas salobres o saladas. Por otra parte, el periodo de permanencia y los recorridos del agua subterránea a través de los acuíferos del Chaco son muy largos aumentando las posibilidades de disolución de sales.

De acuerdo a Oosterbaan, (1988), la concentración iónica del agua subterránea de los acuíferos profundos del Chaco seco aumenta hacia del oeste al Sur-Este, a lo largo de la línea de flujo subterráneo. Entre los cationes el sodio es el dominante, mientras que la dominación aniónica cambia a o largo de la línea de flujo de oeste a este de la siguiente manera:



En la *Fig. 5* se grafica un perfil de características químicas del agua, desde la zona de recarga en Bolivia, hasta la zona de descarga en el chaco central de Paraguay.

¹ Debido a la falta de información y correlación de secuencias estratigráficas entre Bolivia y Paraguay, solamente se presenta los perfiles producidos en el sector Argentino (de orientación este-oeste) como representativas del SAYTT.

Esta configuración química del agua subterránea debe ser estudiada en detalle, debido a que se contraponen en ciertos lugares a los datos isotópicos existentes.

3.3.1 Relación entre el agua subterránea dulce y salada

Generalmente los acuíferos someros son de agua dulce a excepción de los situados cercanos a afloramientos que están conformados por sedimentitas terciarias muy mineralizadas.

Si bien en profundidad se puede expresar que a medida que aumentan los tiempos de percolación las aguas se mineralizan, en el borde oriental de la provincia de Salta (Argentina) existe agua potable en sedimentitas terciarias a 325 metros de profundidad, por debajo de acuíferos salados. Es probable que la percolación tenga el mismo tiempo de permanencia en toda la secuencia y la explicación debe centrarse en los aspectos litológicos.

En el sector del chaco central paraguayo todos los acuíferos confinados y semiconfinados profundos contienen agua salada a partir de la isóclina de 2.000 mg/l en residuo seco. Hacia el oeste se presenta una franja de agua salobre que gradualmente pasa a agua salada en dirección este. En la región del chaco deprimido hacia el río Paraguay existe un constante flujo de agua salada de los acuíferos confinados hacia los acuíferos freáticos. Este fenómeno reduce considerablemente las posibilidades de la existencia de agua subterránea de buena calidad, especialmente cuando se reduce la distancia al río Paraguay.

3.4 Áreas de recarga y descarga

El área de recarga más importante proviene de las serranías que constituyen las últimas estribaciones del Subandino (tanto en el sector Boliviano como Argentino) y que es la zona donde se producen las precipitaciones más elevadas (alrededor de 1000 mm/año). El agua de lluvia se infiltra a través de los sedimentos arenosos pertenecientes al Cuaternario/Terciario, produciéndose la recarga de los acuíferos subterráneos por infiltración. La precipitación pluvial también produce recarga en las cañadas del abanico aluvial de los grandes ríos, mediante infiltración a través de los sedimentos cuaternario-terciarios en el sector de los paleocauces.

Los cursos de agua superficiales tienen influencia básicamente en la zona de recarga, piedemonte y llanura. El río Pilcomayo, con agua permanente durante todo el año, aporta en forma continua a los acuíferos del abanico aluvial a partir de la localidad de Ibibobo y representa probablemente el curso de agua superficial más importante de recarga al SAYTT.

En el sector argentino se han identificado tres tipos de recarga:

- a. Agua subterránea alóctona, proveniente de la precipitación de áreas intermontanas ubicadas al oeste de la llanura chaqueña
- b. Recarga de agua de lluvia local en el sector de pie de monte del Subandino
- c. Recarga vertical local (de precipitaciones) y alóctona (de cursos de agua superficial) en el sector de Paleocauces de los grandes ríos.

La descarga final del SAYTT lo constituyen los colectores principales de la Cuenca del Plata río Paraguay y río Paraná. El arrumbamiento de fluencias suroeste-noreste por encima de los altos estructurales Charata (continuidad hacia el norte de la Sierra de Ambargasta) y Chaco-Formoseño genera una descarga del acuífero libre y parcial del Sistema en el sector argentino.

Las dataciones isotópicas efectuadas en el sector Boliviano y Paraguayo, han demostrado que el agua subterránea tiene una dirección de circulación de oeste a este, con una importante descarga en los cursos de agua superficiales existentes en el chaco central paraguayo (p.ej. Río Montelindo, Negro, Siete Puntas, etc.) y que finalmente desembocan en el río Paraguay.

3.5 Datos hidráulicos de los acuíferos

Para el Chaco Boreal Salteño se pueden dar algunos valores hidráulicos de los acuíferos, pero debe expresarse que son muy pocos los pozos con ensayos de bombeo confiables. El Complejo Acuífero Bermejo, entre las localidades de Hickman y Los Blancos (110 km) tiene un gradiente de 0,00047, una permeabilidad promedio de 2 m/día, una transmisividad aproximada de 120 m²/día y un valor de coeficiente de almacenamiento de 0,007. El Complejo Acuífero Terciario tiene un gradiente aproximado de 0,00053, una permeabilidad promedio de 1,75 m/día y un coeficiente de almacenamiento aproximado de 0,0005.

En el Abanico Aluvial del río Dulce, la “cuña gravosa” tiene un entorno de permeabilidad de 8 a 86 m/día y una transmisividad de 200 a 1.400 m²/día. En la depresión central de los paleocauces del río Salado, conformados por gravas y arenas de aproximadamente 10 metros de espesor, la K determinada fue superior a los 43 m/día, en cambio la paleollanura de inundación que los bordea, representada por limos y arcillas su permeabilidad es menor a 0,008 m/día.

Los datos hidráulicos disponibles y que corresponden a los estudios realizados en el NW del Chaco paraguayo son los siguientes:

Gradiente hidráulico: 0,001

Permeabilidad: 6 a 9 m/día

Transmisividad: Varía de 6,7 a 226 m²/día con promedio de 80 a 120 m²/día

Porosidad eficaz: varía entre 0.07 a 0.10

Período de renovación: 6.000 años

Reserva: 1.45x10¹¹ m³ para un espesor promedio de 80 m y área de 26.000 km² y 4x10¹² m³ calculado con espesores de 40 a 250 y de 150 a 250 m

Recarga: 57 Millones de m³/año.

En tanto que los datos hidráulicos obtenidos de dos pruebas de bombeo en el Chaco Tarijeño de Bolivia a través del Convenio Alemán Boliviano de Aguas Subterráneas (CABAS) han dado los siguientes resultados:

T (transmisividad) = 1,9 m²/h = 5,3x10⁻⁴ m²/s

K(Conductividad hidráulica) = 1,5x10⁻⁵ m/s

Estos valores corresponden a acuíferos compuestos por arenas finas y limos.

3.6 Relación entre el SAYTT y los cambios paleoclimáticos de Sudamérica

En los últimos 35.000 años se sucedieron en el continente sudamericano dos fases húmedas muy importantes, intercaladas con sus respectivas fases secas. Estos cambios paleoclimáticos determinaron la recarga de los acuíferos del SAYTT y la conformación de las geoformas y los suelos existentes actualmente en el chaco.

Las fases húmedas más antiguas corresponden a la llamada Fase-Minchin (ocurrida entre los 35.000 y 25.000 años atrás) y la Fase Tauca-Coipasa (desarrollada entre los 12.500 y 8000 años atrás). Durante estas fases húmedas la precipitación media anual ha sido 2-3 veces superior a la actual. Debido a esta situación, se originaron en el sector chaqueño grandes inundaciones, con una importante deposición de sedimentos de granulometría muy variada y una significativa recarga de los acuíferos existentes.

A partir de los 8000 años atrás, se ingresó en una fase seca, con precipitaciones medias anuales similares e incluso menores a las actuales. Sin embargo, se sucedieron durante esta fase y en forma esporádica, períodos de intensas precipitaciones durante cortos períodos de tiempo, lo que produjo nuevamente la inundación de la llanura chaqueña y la formación de los conocidos paleocauces. A partir de los 3500 años atrás se ingresó entonces a la fase climática actual y donde las precipitaciones disminuyeron notablemente.

Los estudios efectuados a través de dataciones isotópicas en el sector Boliviano y Paraguayo del Sistema, han demostrado que el agua subterránea extraída en muchos de los pozos de producción presentan agua recargada durante las fases mencionadas anteriormente. Esta situación podría tener implicancias sumamente importantes en el momento de proponer un manejo sustentable del recurso hídrico subterráneo.

4. DATOS SOCIO-ECONÓMICOS

4.1 Acceso al agua potable y condiciones de salubridad de la población en el sector del SAYTT

Si bien no se dispone del número de habitantes exacto que se abastecen del recurso hídrico subterráneo en el sector argentino del acuífero, el cuadro siguiente muestra el porcentaje de viviendas que poseen agua de red.

Viviendas que disponen de agua corriente de red.
Total del país por provincia. Años 1960 - 1991.

Provincia	1991	1980	1960
	en porcentaje		
Jujuy	86,0	70,8	56,30
Tucumán	83,4	66,7	52,0
Salta	83,2	70,7	57,4
Chaco	61,6	33,9	16,8
Formosa	59,1	37,5	21,8
Santiago del Estero	57,9	39,5	26,5

Alrededor del 80 % de la población rural del chaco boliviano no tiene acceso al agua potable, la mayoría de las comunidades rurales no tienen sistema de alcantarillado, los desechos domésticos son evacuados mediante cámaras sépticas, noria y/o pozos ciegos.

En el subandino y pie de monte, los servicios de agua potable y alcantarillado son insuficientes. La cobertura de servicio en los principales centros urbanos (Villamontes, Yacuiba, Camiri y Monteagudo) cubre alrededor del 40 % de las viviendas. En el área rural, el abastecimiento de agua potable es más restringido. La mayor parte de las comunidades se proveen de agua de vertientes, norias, aljibes y quebradas, en otros casos de los atajados los cuales son llenados en la temporada de lluvias, con alto riesgo de contaminación.

El servicio de alcantarillado sanitario es deficiente y solamente se benefician seis centros urbanos: Entre Ríos, Caraparí, Monteagudo, Camiri, Villamontes y Yacuiba. El porcentaje de cobertura en estas ciudades es muy bajo, llegando a aproximadamente el 20 %.

La población del Chaco paraguay está conformada principalmente por los colonos menonitas, etnias indígenas, poblaciones campesinas, ganaderas, de ex-trabajadores asociados en la industria del tanino y de concentraciones urbanas y periurbanas. Según el censo realizado en el año 2002, la población del Chaco paraguay alcanza un total de 138.760 habitantes, siendo el departamento de Presidente Hayes el más poblado con el 59 % de la población (82.030 h). Los departamentos de Boquerón y Alto Paraguay cuentan con 43.480 habitantes y 13.250 habitantes respectivamente.

De todos estos grupos de comunidades, el grupo indígena del Chaco paraguay es el más importante con cerca de 45.000 habitantes. Viven en condiciones de pobreza extrema, los cambios de su medio ambiente físico y socioeconómico y la pérdida de sus recursos naturales hacen que, con su modo de vida tradicional, ya no pueden lograr ni siquiera una seguridad alimentaria. Los índices de salud de las poblaciones muestran una situación extremadamente precaria. Esta difícil condición también se ilustra en las tasas de mortalidad materno-infantil, las que sitúan a la Región Occidental como la más elevada del país.

Las 2/3 partes del agua disponible en el Chaco central (zona de mayor utilización de agua) provienen de fuentes superficiales y 1/3 de aguas superficiales. Se destaca que el sistema de abastecimiento es altamente vulnerable; se encuentra estrechamente relacionado al volumen y frecuencia de las lluvias. El abastecimiento de agua se realiza a través de aljibes, represas, molino de viento, redes de distribución, agua de lluvia acumulada en depresiones naturales o en reservorios. Estos métodos se complementan con la explotación de aguas subterráneas con pozos someros cavados o perforados. La demanda actual de agua para el Chaco Central es de cerca de 5.000 m³ por día, incluyendo el uso doméstico, industrial, comercial y público, no incluye el uso agropecuario. En la parte del Chaco central paraguay, los recursos de agua de buena calidad se encuentran en lentes de agua dulce renovables con las lluvias, razones que deberían tenerse en cuenta en la propuesta de extender los sistemas tradicionales: tajamares y aljibes.

4.2 Desarrollo económicas de la población

a. En el sector Argentino

La estimación provisoria del PIB en el segundo trimestre de 2004 en el sector argentino muestra una variación positiva del 7,0 % con relación al mismo período del año anterior (ver cuadro seguido).

Producto Interno Bruto (variación porcentual)

Período	Respecto al trimestre anterior (Desestacionalizado)	Respecto a igual trimestre Del año anterior	Acumulado del año respecto al acumulado de igual período del año anterior
2003			
I	3,0	5,4	5,4
II	2,2	7,7	6,7
III	3,4	10,2	7,8
IV	3,0	11,7	8,8
2004			
I	1,5	11,3	11,3
II	0,5	7,0	9,0

En particular, los sectores productores de bienes tuvieron durante el segundo trimestre de 2004 un incremento del 6,9%, determinado principalmente por el aumento del 13,2% en el nivel de actividad de la industria manufacturera y del 32,4% en la construcción.

Los sectores productores de servicios registraron un aumento interanual del 5,2%, especialmente influido por el crecimiento del 11,8% del comercio y del 10,1% del sector transporte, almacenamiento y comunicaciones.

Actividad económica	2004
Nominal (en MM de \$)	465.7
Nominal (en MM de U\$S)	158.5
Var % PBI (a/a)	8.2
Per capita (U\$S x habitante)	4273

b. En el sector Boliviano

La Llanura Chaqueña tiene su economía basada fundamentalmente en el sector agropecuario que significa el 54 % del PIB. Dentro de la actividad agropecuaria, la ganadería significa el 46 % y es el rubro más importante, tanto por el número de unidades de producción que la practican, como también por el tamaño de los hatos y por el valor generado, especialmente en la zona de llanura. Los niveles de capital utilizado y el nivel de manejo aplicado alcanzan niveles medios. Los rebaños generalmente son mixtos con vacunos, caprinos, ovinos y caballar. Los principales factores que afectan negativamente a la ganadería en la Llanura Chaqueña son la sequía prolongada y pronunciada escasez de agua en general.

Recientemente en la zona del subandino se ha reactivado la explotación de hidrocarburos, que tienen la mayor incidencia en la economía del departamento de Tarija, con un porcentaje alto de ingresos económicos en los cuales se basa el desarrollo del departamento.

c. En el sector Paraguayo

La participación del Chaco en la generación del Producto Interno Bruto asciende a aproximadamente 5.5 % (cerca de 600 millones de Dólares Americanos). Relación importante teniendo en cuenta las condiciones adversas del ámbito natural, falta de infraestructura y escasez de agua en la calidad y cantidad necesarias.

4.3 Costo del agua

El costo del agua en la zona del SAYTT en el área urbana del sector boliviano es de aproximadamente 0.005 \$us/m³; en el área rural depende de los factores climáticos, como ser las frecuentes sequías. Existe un alto costo que es el transporte y distribución de agua, mediante los camiones cisterna, labor que debe ser desarrollada por espacios largos de tiempo, lo cual incrementa los costos del agua, además existe un costo adicional que es el mantenimiento y operación de los sistemas de extracción de las aguas subterráneas, lo que sitúa a este costo en \$us 0.5 a 1,5 /mes. Los valores dados corresponden al sector boliviano, que es el que ha hecho referencia a los mismos.

5. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

5.1 Leyes, decretos y reglamentos que rigen el uso y gestión de los recursos hídricos subterráneos

ARGENTINA

Leyes Nacionales

OBRAS PÚBLICAS - Ley 13.064

INFRAESTRUCTURA HIDRICA - Decreto N° 1381/2001

Leyes Provinciales

CHACO

- a) Constitución provincial de 1994
- b) Ley N° 3230 Código de Aguas de la Provincia del Chaco. Abril 1992
- c) Ley de ministerios 2903, modificada por ley 4146, 4232 y 4270. Decreto 526/91
- d) Ley 3230 modificada por ley 4255, Código de Aguas y su decreto reglamentario 173/90
- e) Decreto 174/90. Aprueba el reglamento orgánico del Instituto Provincial de Agua del Chaco (I.P.A.CH.)
- f) Decreto 847/92, aprueba el reglamento de las condiciones físico - químicas a que deben ajustarse las descargas de líquidos residuales, industriales y/o cloacales, las aguas para riego de cultivos, los derrames a cursos y aguas lacustre, las aguas que se infiltran a través de suelos permeables hacia los acuíferos subterráneos
- g) Ley 4302. Ambiente y recursos naturales, normas para su protección. Residuos peligrosos. Tratamiento

- h) Actas, convenios y declaraciones específicas.

FORMOSA

- a) Constitución provincial de 1991
- b) Ley 398, Código de aguas y su decreto reglamentario 202
- c) Ley 305, modificada por ley 506 de caza y pesca y su decreto reglamentario 1584, modificado por decreto 1551
- d) Ley 1060 sobre política ecológica y ambiental
- e) Ley 1135 sobre residuos peligrosos; adhesión de la provincia a la ley nacional 24.051 y al decreto reglamentario 831/93
- f) Decreto 2633/88 de adhesión de la provincia a la ley 23.615 (Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento)
- g) Ley 831 de creación de la Administración General de Obras Sanitarias
- h) Ley 1171, creación del Ente Regulador de Obras y Servicios Públicos como ente autárquico.

JUJUY

- a) Ley 5114 Complementaria del Código de Aguas
- b) Ley 4401 Creación Administración General del Uso del Agua de Jujuy
- c) Ley 4090 de Administración de Recursos Hídricos y Régimen de Servicios de Agua, Saneamiento y Energía
- d) Ley 4396 Modificatoria del Código de Agua – Ley 161 – 1950
- e) Ley 4405 Creación Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento.

SALTA

- a) Ley N° 7071 Código de Aguas de la Provincia de Salta. Boletín Oficial del 11 de enero de 1999. Su reglamentación fue sancionada en febrero del 2004
- b) Compendio de las Leyes de Agua de la Provincia de Jujuy
- c) Art. 75 de la Constitución Provincial
- d) Ley 165/50 Código de Aguas
- e) Ley 4090/84 Administración de los Recursos Hídricos
- f) Ley 4396/88 Modificatoria del Código de Agua

También es importante mencionar las siguientes leyes en referencia a la protección del Medio Ambiente y Áreas Protegidas que en algunas áreas están relacionadas con la preservación de los recursos hídricos (áreas de recarga):

- a) Ley N° 7070 Protección del Medio Ambiente. Sancionada el 21 de diciembre de 1999
- b) Ley N° 7107 Sistema Provincial de Áreas Protegidas de Salta. Decreto Provincial N° 2901 del 31 de octubre de 2000.

SANTIAGO DEL ESTERO

- a. Constitución provincial de 1986
- b. Ley de ministerios 6001, modificada por ley 6038 y 6129

- c. Ley 4869 modificada por ley 4507 aprobatoria del Código de Aguas
- d. Ley 4745 modificada por ley 5584 de la Administración Provincial de Recursos Hídricos
- e. Ley 4420 de prohibición de la venta de agua con destino a consumo
- f. Ley 5787 de ambiente y recursos naturales
- g. Ley 4802 modificada por ley 5573 sobre protección de los recursos renovables, normas de caza y pesca
- h. Ley 6078 de residuos peligrosos, adhesión de la provincia a la ley nacional 24.051 y a su decreto reglamentario 831/93.

TUCUMÁN

- a) Ley 731 Riego
- b) Ley 1238 Contaminación de aguas surgentes y semisurgentes
- c) Ley 1406 Provisión de agua a la ganadería en los campos de dominio privado
- d) Ley 5192 Prohíbe descarga de cachaza en cursos de agua
- e) Ley 5814 Adhesión a la Ley Nacional N° 21.172 de fluoración y defluoración de las aguas de abastecimiento público
- f) Ley 5846 Adhesión de la provincia de Tucumán a la Comisión Nacional de la Cuenca del Plata
- g) Ley 6529 Marco regulatorio de la concesión de Servicio de Agua Potable y Efluentes Cloacales
- h) Ley 7141 Creación de la Dirección Provincial del Agua
- i) Decreto 4631 Creación del Sistema de Recursos Hídricos de la Provincia
- j) Decreto 660/03 (SESAP) Creación de la Comisión Permanente de Verificación de Calidad de Agua
- k) Resolución 174/3 – (S.O.) Misiones y Funciones de la Dirección Provincial del Agua
- l) Resolución 251/CPS Fiscalización Sanitaria de Efluentes
- m) Resolución 103/02 – DI Registro General de Perforaciones

BOLIVIA

La estrategia de desarrollo de los recursos hídricos contempla como principales objetivos la actualización de las disposiciones legales, el fortalecimiento de la estructura institucional, que facilite la ejecución y coordinación de las actividades relacionadas con los recursos hídricos, el establecimiento de sistemas de operación y manejo en el ámbito de las cuencas hidrográficas, la capacitación del personal relacionado con el sector, así como la participación de la población en el uso sustentable del recurso hídrico. También se considera rentable la construcción de pozos profundos en las zonas de los Valles Interandinos. Además se prevé que los rendimientos de los principales cultivos del país pueden incrementarse significativamente con el riego (papa en el Altiplano, maíz y hortalizas en Valles Interandinos y maíz y soja en el Chaco).

En Bolivia, se dispone de una Ley de Dominio y Aprovechamiento de Aguas que se basa en un Decreto del 8 de septiembre de 1879 que fue elevado a rango de Ley el 28 de Noviembre de 1906 y la cual ha sido derogada en varias partes por normas posteriores, Leyes y

Reglamentaciones sectoriales. Así, en cuanto al tema de la legislación del recurso agua, se tiene una variedad de normas formando parte de la legislación general.

No existe una ley que regule el uso y explotación de los recursos hídricos subterráneos y no existe una legislación relacionada a la construcción de pozos de agua, tampoco sobre las áreas a ser explotadas, pese a existir un Plan De Uso de Suelo, en los departamentos de Santa Cruz y Chuquisaca. En Tarija está en proceso de elaboración, pero no existe una definición en relación a los recursos hídricos subterráneos.

PARAGUAY

Las principales leyes que tienen incumbencia con los recursos hídricos son:

- a. Ley 1183/85 del Código Civil
- b. Ley 369/XX del SENASA
- c. Código Rural
- d. Decreto 3729/49 Consejo de Aguas Públicas
- e. Resolución 585 Control de la Calidad de los Recursos Hídricos
- f. Ley 1561 de creación de la SEAM
- g. Ley 1614 de creación del ERSSAN

5.2 Organismos y instituciones relacionados con los Recursos Hídricos Subterráneos a nivel nacional

ARGENTINA

Organismos Gubernamentales

- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Obras Públicas. Subsecretaría de Recursos Hídricos - www.obraspublicas.gov.ar/hidricos
- Instituto Argentino de Recursos Hídricos - <http://www.iarh.org.ar>
- Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) - <http://www.cicplata.org/>
- Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE) - <http://www.corebe.org.ar/>
- Comisión Administradora del Río de la Plata (CARP) - <http://www.comisionriodelaplata.org/>

Entes Reguladores

- Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) - <http://www.enohsa.gov.ar/>
- Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios (ETOSS) - <http://www.etoss.org.ar/>

Comités Científicos e Institutos de Investigación

- Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS) - <http://www.ina.gov.ar/internas>
- Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua - <http://www.congresosdelagua.org/>
- Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH) - <http://www.iarh.org.ar/>

-Instituto Nacional del Agua (INA) - <http://www.ina.gov.ar>

Provinciales

Chaco

Organismo: Administración Provincial del Agua - Marcelo T. de Alvear 32
Ciudad: Resistencia - Argentina - CP: H3500ACB
Teléfono: 03722-430942-448040 int. 8040 - Fax 03722-430942
Email: <mailto:hugorohrmann@ecomchaco.com> - <http://www.ecomchaco.gov.ar/apa/>

Formosa

Organismo: Dirección de Recursos Hídricos - Santa Fe 1216 y Fotingan
Ciudad: Formosa - Argentina - CP: P3600MXB
Teléfono: 03717-433626 - Fax 03717-426407

Jujuy

Organismo: Dirección Provincial de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Jujuy – Avda Belgrano 245
Ciudad: San Salvador – Argentina CP: 4600
Teléfono: 0388 4249533/34
Email: recursosnaturalesjujuy@latinmail.com.ar; mig@imagine.com.ar
Organismo: Dirección Provincial de Recursos Hídricos – Argañaraz 363
Ciudad: San Salvador – Argentina – CP: 4600
Teléfono: 0388 4221435/36/37
Email: hidricosjujuy@arnet.com.ar

Salta

Organismo: Agencia de Recursos Hídricos - Mitre 1017
Ciudad: Salta - Argentina - CP: A4400EIA
Teléfono: 0387-4316707 / 4210307 / 4312770 - Fax 0387-4310699
Email: agenciarh@copaipa.org.ar
Organismo: Ente Regional de Servicios Públicos - Ameghino 299
Ciudad: Salta - Argentina
Teléfono: 0387-4214579 - Fax 0387-4213021
Email: wcaramella@enresp.org.ar

Santiago del Estero

Organismo: Administración Provincial de Recursos Hídricos - Belgrano (N) N°924
Ciudad: Santiago del Estero - Argentina - CP: G4200AAW
Teléfono: 0385-4215021 /4222357 - Fax 0385-4215021
Email: <mailto:pbailon@unse.edu.ar>, subsec_opublicas@arnet.com.ar

Tucumán

Organismo: Dirección de Recursos Hídricos - Haití 197
Ciudad: San Miguel de Tucumán - Argentina - CP: T4000GBC
Teléfono: 0381-4280079/3370
Email: irrigacion@tucbbs.com.ar - <http://www.irrigaciontuc.com.ar/>

Organismo: Subsecretaría de Recursos Hídricos, Energéticos, Minería y Política Ambiental - Bolívar 1095

Ciudad: San Miguel de Tucumán - Argentina - CP: T4000ARU

Teléfono: 0381-42277805 - Fax 0381-42277805

Email: curahd@tucbbs.com.ar

BOLIVIA

En Bolivia no existe un organismo que se encargue de la investigación, explotación y conservación de los recursos hídricos subterráneos, en general es responsabilidad de los municipios y de la Prefectura, el aprovechamiento de los recursos hídricos en general, pero no existe un reglamento que norme la explotación y su conservación.

A nivel nacional el Servicio Geológico Minero (SERGEOMIN), a través de su Departamento de Hidrogeología, ha realizado la publicación del Mapa Hidrogeológico de Bolivia, además que se constituye en la contraparte oficial de proyectos de aguas subterráneas con financiamiento externo a nivel nacional, esta institución debería encargarse de la investigación de los recursos hídricos subterráneos, por la experiencia que tiene en esta clase de trabajos, además de contar con personal especializado.

El Plan Nacional de Cuencas Hidrográficas (PLAMACH-BOL) constituye un instrumento estratégico para el manejo productivo y sostenible de los recursos hídricos. Analiza las potencialidades y problemáticas y establece una priorización de acciones e intervenciones a nivel de las cuencas hidrográficas.

PARAGUAY

La Dirección de Recursos Hídricos del Chaco es la única institución en el Chaco que tiene la capacidad de investigar y ofrecer servicios de perforación de pozos profundos. Esta institución depende administrativamente de la Gobernación de Boquerón. Dentro de sus actividades realizadas se cuentan innumerables estudios en el área de la hidrogeología tanto a nivel regional como local.

6. CONCLUSIONES

Muchas son las conclusiones que pudiesen ser enunciadas y debatidas en este trabajo de síntesis, sin embargo, para poder organizar mejor los puntos más sobresalientes se ha optado por dividir las conclusiones en aquellas de índole técnico/investigativo y las que corresponden a los aspectos socio-económicos de relevancia.

a. De índole técnico/investigativo

- El SAYTT es un sistema multicapa, con acuíferos libres, al que infrayacen un número no determinado de acuíferos semiconfinados y/o confinados. La interconexión hidráulica de

los diferentes acuíferos es aún poco clara, pero se supone que en gran parte del Sistema existe.

- Los acuíferos yacen en material sedimentario no consolidados del Terciario (formación chaco superior y chaco inferior) y Cuaternario aluvial en la zona de piedemonte, como también en los distintos conos aluviales de los grandes ríos. La red hidrográfica superficial de mayor importancia de la zona del Sistema Acuífero es probablemente la correspondiente al río Pilcomayo. Internamente la red hídrica es pobre y predominan los cauces secos y/o de escaso caudal.
- Existe una gran heterogeneidad en la calidad físico-química del agua y en la productividad de los diferentes reservorios acuíferos que componen el Sistema. Por la calidad del agua subterránea y el gran volumen almacenado, únicamente los acuíferos confinados y semiconfinados de la parte del chaco oeste paraguayo son considerados de importancia hidrogeológica para su aprovechamiento y usos múltiples en este sector. Sin embargo, los datos contenidos en este informe deberían ser actualizados y/o confirmados con futuros estudios más detallados. En el sector Boliviano y del oeste de Argentina, las condiciones de calidad y cantidad de agua subterránea son notablemente mejores, aunque localmente puede presentarse un aumento en la concentración iónica del agua, como producto de la yacencia de sales evaporíticas (p.ej. yeso) de diferente composición química.
- Existen varios sectores de recarga del sistema, siendo el más importante aquel existente en las áreas pedemontanas de Bolivia y Argentina, donde la infiltración de agua de lluvia y aquella proveniente de cursos de agua superficial, contribuyen a la recarga del sistema. En los sectores de paleocauces de los grandes ríos, la recarga se produce en forma alóctona (a través de la infiltración del agua de los ríos) y en forma local (a través de las precipitaciones).
- En la República Argentina el Sistema Acuífero Toba es el conjunto de componentes físicos y geométricos que rigen la existencia y el comportamiento de los reservorios acuíferos que se extienden desde el pie de monte subandino hacia la llanura chaqueña. El límite este del Sistema se ha establecido en el umbral estructural que conforman los altos de Charata y Chaco-Formoseño que generan el área de descarga del acuífero libre del Sistema.
- A través de los estudios de dataciones isotópicas se ha podido comprobar que gran parte del agua subterránea existente en el SAYTT ha sido recargado durante épocas climáticas más húmedas a las actuales. Este aspecto resulta de vital importancia, en el momento de realizar una planificación para la explotación sustentable del recurso hídrico subterráneo por parte de los tres países involucrados.

c. De índole socio-económico

- Debido a las características climáticas del área y a la escasez de recursos hídricos superficiales, el agua subterránea en el SAYTT adquiere un interés estratégico en el desarrollo socioeconómico de la región.

- La falta de disponibilidad de agua potable en el sector del SAYTT queda demostrado en el hecho de que más del 80 % de la población rural del Chaco paraguayo no tiene acceso al agua potable y solo un 5 % cuenta con servicios sanitarios. La mayoría de las comunidades del Chaco central no cuenta con sistema de alcantarillado y las aguas residuales se disponen en el lugar mediante sistemas tradicionales, como letrinas de fosa seca, pozo ciego, cámaras sépticas y posos absorbentes.
- Las legislaciones relacionadas a la gestión y manejo de los recursos hídricos en cada uno de los tres países son sumamente dispares; debiendo compatibilizarse e uniformizarse las leyes y reglamentos existentes, con el fin de lograr una gestión integrada de todo el Sistema.
- El aumento de la actividad antrópica en la región está produciendo un aumento en los riesgos de contaminación del sistema. Igualmente se ha visto un avance alarmante en los efectos de la descertificación, como producto de la deforestación indiscriminada e inadecuado uso de los recursos naturales.
- El desarrollo socio-económico del área chaqueña se encuentra limitado fundamentalmente a la falta de agua dulce para consumo humano, ganadería y riego.
- No existen para el sector planes de ordenamiento territorial por parte de ninguno de los tres países

7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios integrales e interdisciplinarios a fin de comprender el comportamiento integral del SAYTT y poder interrelacionar las informaciones existentes entre los tres países.

Comprender que los estudios se deben realizar desde los que generan una idea de la geometría del reservorio del sistema: estratigrafía, litología, estructuras, correlación de hidrounidades, etc., para luego estudiar la relación medio-fluido: zona de recarga, conducción, zona de descarga, hidrodinámica, hidrogeoquímica, parámetros hidrogeológicos, etc.

Incrementar los conocimientos en las áreas de recarga del Sistema, por tratarse de zonas estratégicas a ser manejadas adecuadamente. Conocer los volúmenes de recarga provenientes de las precipitaciones directas y de los ríos y/o arroyos y volúmenes de circulación de agua subterránea profunda proveniente del sector boliviano.

Aumentar el conocimiento de las características paleoclimáticas actuantes sobre el sistema, incorporando estudios de dataciones isotópicas a lo largo de todo el sistema y en lo posible hacia profundidad. Para ello se recomienda extraer muestras dirigidas a diferentes profundidades y sobre diferentes capas acuíferas.

Aumentar la prospección de agua subterránea mediante la implementación de estudios geofísicos (geoeléctricos, electromagnéticos y/o sísmicos), según la profundidad de prospección que quiera ser alcanzada.

Ejecutar pozos pilotos (de investigación) con muy buen control geológico, con perfiles geofísicos y ensayos selectivos en las áreas piloto que puedan ser tomados como patrones en prospecciones geofísicas de superficie.

Ejecutar una modelación matemática de la dinámica de funcionamiento del SAYTT, para poder reproducir el funcionamiento del sistema e identificar las posibles áreas críticas de preservación y manejo sustentable del recurso en los próximos años. Es importante tener en cuenta los estos modelos para representar en forma aproximada el impacto que imprimiría la construcción de grandes obras de captación (como por ejemplo el Acueducto en el sector Paraguayo), sobre los acuíferos chaqueños y especialmente lo relacionado al efluente terminal, teniendo en cuenta las debilidades y fragilidades ambientales del entorno, y el consumo progresivo del agua transportada.

Efectuar un estudio minucioso referido a la relación agua dulce – agua salada, determinando la génesis y el origen del agua subterránea salada. Delimitar interfases de agua dulce-agua salado, asociando los aspectos litológicos y tiempos de tránsito a bien de identificar los orígenes.

Efectuar un balance hídrico integral de todo el SAYTT, con el fin de conocer a cabalidad las entradas y salidas de agua al sistema y con ello la disponibilidad real de este recurso.

Realizar ensayos selectivos de acuíferos, luego de haberse efectuado las correlaciones de hidrounidades, a bien de tener parámetros hidrológicos de cada intervalo de producción.

Lograr la puesta en marcha de un sistema de información geográfico integral entre los tres países, con el fin de intercambiar información a tiempo real. Esto permitiría la toma de decisiones consensuadas entre los tres países.

Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación de los acuíferos, especialmente en los sectores de recarga y de intensa actividad antrópica.

Proponer e implementar un plan de ordenamiento territorial en toda el área del SAYTT.

Compatibilizar las leyes de los distintos países en cuanto al uso y gestión de los recursos hídricos. Crear áreas de protección en los sectores de alta vulnerabilidad del Sistema (áreas de recarga, zonas de paleocauces, etc.).

Lograr la instrumentación de un Plan Maestro de Aguas en el ámbito del todo el Sistema, que tiendan a la utilización racional con un manejo adecuado y conservación del recurso hídrico subterráneo.

Definir las Autoridades de Aplicación y Control y Conservación del Recurso Hídrico Integral.

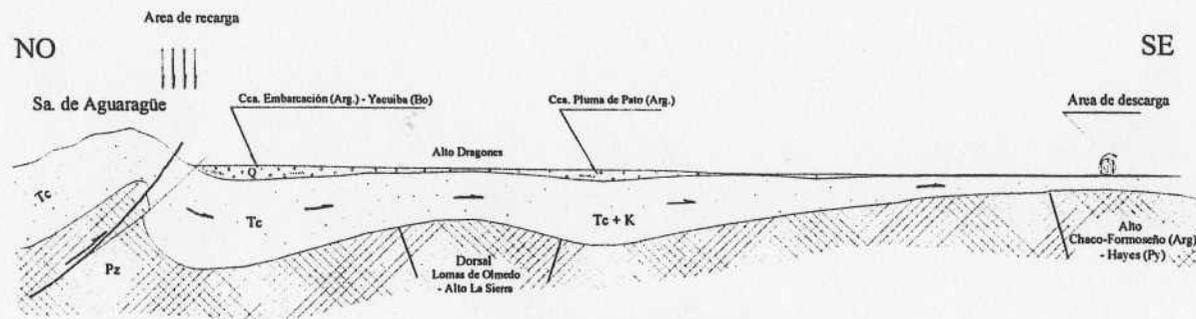
8. BIBLIOGRAFÍA

En esta síntesis no se detallan las citas bibliográficas utilizadas, pudiendo obtener las mismas en los trabajos de recopilación originarios (*Fuertes, Villena y Rios*).



Fig 2: Cuenca pericratónica del Chaco Sudamericano

Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño
Marco Geológico-Estructural



Corte Esquemático N° 1
Sa. de Aguaraque - Alto Chaco Formoseño

Referencias

- | | | | | | |
|--|-------------------------|--|-------------------------|--|----------------------|
| | Sedimentos Cuaternarios | | Sedimentitas Cretácicas | | Circulación Local |
| | Sedimentitas Terciarias | | Basamento Paleozoico | | Circulación Regional |

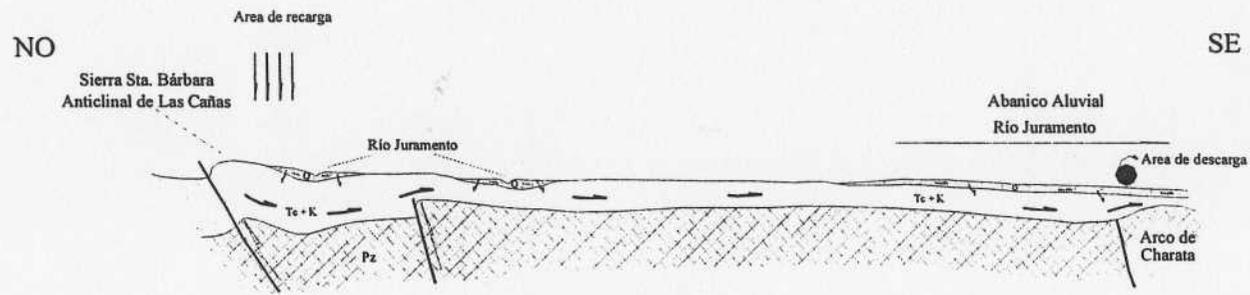
Sistema Acuífero
Yrendá-Toba-Tarijeño
(SAYTT)

Corte Esquemático N° 1

Figura 3 1. Fuente: 15/12/04

Fig 3: Perfil NW-SE del SAYTT en el sector de la provincia de Formosa (Argentina)

Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño
Marco Geológico-Estructural



Corte Esquemático N° 2
Sa. de Santa Bárbara - Arco de Charata

Referencias

- | | | | | | |
|----|-------------------------|----|-------------------------|---|----------------------|
| q | Sedimentos Cuaternarios | K | Sedimentitas Cretácicas | — | Circulación Local |
| Te | Sedimentitas Terciarias | Pz | Basamento Paleozoico | — | Circulación Regional |

Sistema Acuífero
Yrendá-Toba-Tarijeño
(SAYTT)

Corte Esquemático N° 2

Figura 3 A.Puerica 15/12/04

Fig 4: Perfil NW-SE del SAYTT en el sector de la provincia de Salta-Santiago del Estero (Argentina)

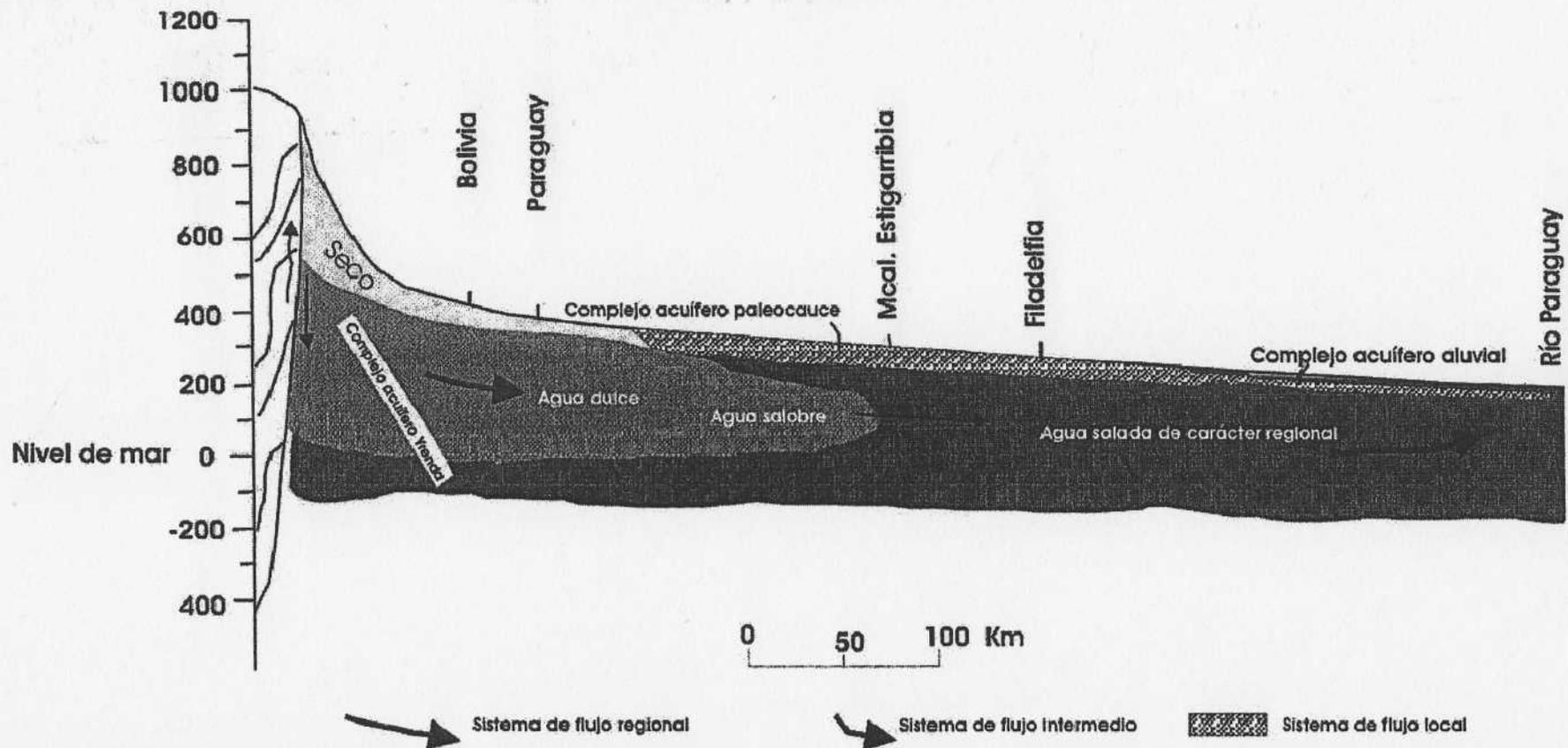


Fig 5: Evolución Hidroquímica del agua subterránea del sector de recarga (Bolivia y Argentina) hacia el sector de descarga (Paraguay)