



ORGANIZACIÓN DE LOS  
ESTADOS AMERICANOS



PROGRAMA HIDROLOGICO  
INTERNACIONAL



## 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 AMERICAS  
SISTEMA ACUÍFERO YRENDA-TOBA-TARIJEÑO  
ARGENTINA-BOLIVIA-PARAGUAY**

**AREA BOLIVIA**

**Hernán Villena Gutiérrez**

**Diciembre - 2004**

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>ÍNDICE</b>   | 2  |
| <b>RESUMEN EJECUTIVO</b>  | 4  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | 5  |
| <b>1 ANTECEDENTES</b>   | 6  |
| <b>2 OBJETIVOS</b>  | 6  |
| 2.1 Objetivo General.....   | 6  |
| 2.2 Objetivo Específico de la Consultoría.....                    | 7  |
| <b>3 METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>                                   | 7  |
| 3.1 A Nivel de Gabinete.....                                      | 7  |
| 3.2 A Nivel de Campo .....  | 8  |
| <b>4. SITUACIÓN GENERAL DEL CHACO BOLIVIANO</b>                   | 8  |
| 4.1 Características Generales.....                                | 8  |
| 4.2 Clima.....  | 9  |
| 4.3 Población e Idioma .....                                      | 9  |
| 4.4 Socioeconomía .....   | 10 |
| 4.5 Necesidades Básicas Insatisfechas.....                        | 10 |
| 4.6 Tipo de abastecimiento de agua en el sector del Acuífero..... | 10 |
| 4.7 Costo del Agua.....   | 11 |
| 4.8 Suelos.....   | 11 |
| 4.9 Vegetación.....   | 11 |
| 4.10 Impacto sobre el Medio Ambiente.....                         | 12 |
| 4.11 Áreas Protegidas.....  | 13 |
| <b>5. ACUÍFERO TARIJEÑO</b>                                       | 14 |
| 5.1 Límites.....  | 14 |
| 5.2 Geomorfología.....  | 14 |
| 5.3 Geología.....   | 14 |
| 5.3.1 Estratigrafía.....  | 15 |
| 5.3.1.1 Terciario.....  | 15 |
| Formación Chaco Superior.....                                     | 15 |
| Formación Chaco Inferior.....                                     | 15 |
| 5.3.2.1 Cuaternario.....  | 16 |
| 5.4 Hidrogeología del Sector de Acuífero Tarijeño.....            | 16 |
| 5.5 Extensión.....  | 17 |
| 5.6 Potencia del acuífero.....                                    | 17 |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.7       | Área de Recarga.....   | 17        |
| 5.8       | Balace Hídrico.....  | 19        |
| 5.9       | Área de Descarga.....  | 20        |
| 5.10      | Tipos de Acuíferos.....  | 20        |
| 5.11      | Calidad de las Aguas Subterráneas .....  | 21        |
| 5.12      | Datos Hidráulicos del Acuífero.....  | 22        |
| 5.13      | Relación entre el Agua Subterránea Dulce y Salada en el Sector del Acuífero..... | 22        |
| 5.14      | Pozos perforados en el Área del Acuífero.....                                    | 23        |
| <b>6</b>  | <b>LEGISLACIÓN SOBRE RECURSOS HIDRICOS</b>                                       | <b>23</b> |
| 6.1       | Gestión de los Recursos Hídricos .....   | 23        |
| 6.2       | Organismos e Instituciones encargados del manejo de los Recursos Hídricos.....   | 24        |
| <b>7</b>  | <b>RELACIONE ENTRE EL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS</b>              | <b>24</b> |
| <b>8</b>  | <b>CONCLUSIONES</b>  | <b>25</b> |
| <b>9</b>  | <b>RECOMENDACIONES</b>   | <b>26</b> |
| <b>10</b> | <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>27</b> |
| <b>11</b> | <b>ANEXOS</b>  | <b>29</b> |

## RESUMEN EJECUTIVO

Bolivia cuenta con abundantes recursos hídricos. La red hidrográfica en el país es muy densa, grandes volúmenes de agua están almacenados en lagos y en innumerables lagunas. El país tiene además una increíble riqueza de humedales, siendo los más importantes las planicies de inundación en los llanos y los bofedales en el altiplano. Además, se cuenta con enormes volúmenes no cuantificados de aguas subterráneas cuya ocurrencia está determinada por procesos geológicos históricos.

La variación en la disponibilidad de las aguas superficiales está correlacionada en gran medida con las tasas de precipitación. Las aguas subterráneas en cambio generalmente son reservorios de agua más permanentes, sin embargo éstas recientemente también están afectadas por su explotación para consumo humano y riego.

El presente trabajo de Consultoría es auspiciado por la SG/OEA y tiene como objetivo específico diseñar y elaborar los Términos de Referencia para los Casos-Piloto, Sistema Acuífero Transfronterizo Yrendá-Toba-Tarijeño dentro del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, del Componente: Aguas Subterráneas, en coordinación con el equipo técnico conformado por los representantes de los tres países involucrados, Paraguay, Argentina y Bolivia.( Figura N° 1)

Este informe tiene resultados de evaluación y análisis de datos hidrogeológicos existentes en el país, que en general son escasos, a excepción del estudio del Convenio Alemán Boliviano de Aguas Subterráneas (CABAS), que es un estudio hidrogeológico efectuado específicamente sobre el Chaco Tarijeño y que forma parte del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño.

El Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño, en Bolivia está constituido por un sistema multicapa, con acuíferos superficiales libres, confinados y semiconfinados en profundidad, abarcando una parte importante del chaco Tarijeño, Chuquisaqueño y Cruceño . (Figura N° 2)

Las aguas subterráneas yacen en acuíferos de sedimentos no consolidados del Terciario (Formación Chaco Superior e Inferior) y Cuaternario aluvial de origen continental.

## **ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO YRENDA-TOBA-TARIJEÑO**

### **SECTOR BOLIVIANO**

#### **INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, la escasez de agua dulce ocupa el primer lugar en la lista de las amenazas que afectan a la humanidad en el siglo XXI. Según Naciones Unidas, aproximadamente 1.200 millones de personas beben agua no potable y cerca de 2.500 millones carecen de sistemas sanitarios o de sistemas de drenaje adecuados. En todo el globo, agricultores y autoridades municipales extraen agua del subsuelo más rápidamente de lo que se recarga. En un mundo donde el agua cada vez es más escasa, ciertos sectores tienden a utilizar el agua en desmedro de otros, lo cual puede generar conflictos locales, regionales e internacionales.

En Bolivia, los recursos hídricos constituyen un elemento frágil, y esto se debe en parte a que este recurso es escaso en casi la mitad del territorio en particular en el sector del Chaco Boliviano, donde la lluvia es muy concentrada, con precipitaciones que en la llanura chaqueña alcanzan a los 300 mm anuales, es un país que está azotado por sequías, granizos, inundaciones y otras manifestaciones climáticas, que en muchos casos son impredecibles y además agravados por fenómenos como El Niño. El hecho de que la economía rural depende del recurso hídrico hace necesaria la aplicación de estrategias de manejo del recurso hídrico.

El último censo de población y vivienda del INE (2002), ha mostrado que miles de personas siguen sin acceso a agua potable y/o no tienen servicios sanitarios adecuados. Existen todavía serias deficiencias en la distribución, el uso y el manejo racional de agua de riego y de agua potable. Además, la calidad del agua está disminuyendo debido a la contaminación, un impacto humano que sólo recientemente se está estudiando en detalle y que según expertos en algunos casos puede significar una "bomba de tiempo".

En Bolivia, igual que en otros países andinos, se observa una creciente competencia por el uso múltiple del agua. Las demandas para uso agrícola, doméstico e industrial ya no están geográficamente tan separadas como antes. Estas demandas sectoriales incrementan y se traslapan cada vez más, lo que ocasiona nuevos conflictos de diferente índole por el agua.

Bolivia carece de instrumentos de manejo y gestión, tampoco dispone de una ley de aguas que regule el uso de los recursos hídricos existe una ley de 1906 pero que es obsoleta, ni existen sistemas que integren toda la información sobre el tema. Es notoria la variedad de organismos e institutos que trabajan en diferentes aspectos relacionados con el tema agua, pero al mismo tiempo es llamativa la falta de coordinación entre éstos.

Recientemente, se han conformado algunas instituciones y movimientos sociales que pretenden abarcar el tema agua desde puntos de vista más globales. El CGIAB (Comité de Gestión Integral del Agua en Bolivia), ha sido creado como plataforma boliviana para

discutir el tema entre todos los actores, gracias a su impulso y como parte de su estrategia el año 2002, se creó CONIAG (Consejo Inter-Institucional del Agua), cuya finalidad es abrir un espacio de diálogo y concertación entre el gobierno y las organizaciones sociales y económicas para adecuar el actual marco relacionado con la temática del agua. El CONIAG, reconociendo la necesidad de centralizar y sistematizar la información sobre el tema agua, ha dado prioridad a la elaboración de un estudio preliminar del uso, la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos en Bolivia.

## **1.- ANTECEDENTES**

El Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño, forma parte del Chaco Sudamericano en Paraguay, Argentina y Bolivia, corresponde a una amplia región cuyas características morfológicas, climáticas, geológicas y litológicas son similares. Desde el punto de vista geológico, el acuífero formaría parte de los sedimentos de edad del Terciario-Cuaternario, que tienen amplia distribución en el Chaco boliviano.

El presente informe incluye datos obtenidos de trabajos realizados por diferentes instituciones públicas ligadas a la explotación e investigación de los recursos hídricos subterráneos, como ser proyectos de perforación de pozos de agua, dotación de agua para comunidades rurales, proyectos con financiamiento externo, como ser del gobierno de China Popular y Japón, para la dotación de agua a través de la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

En el chaco tarijeño en particular es muy importante el trabajo realizado por el proyecto CABAS, cuyo trabajo de cooperación entre la BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) de Alemania, conjuntamente con la Prefectura del departamento de Tarija, llevaron adelante un importante estudio hidrogeológico que permitió aumentar el conocimiento del comportamiento de los recursos hídricos subterráneos en la mencionada zona

## **2.- OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

El objetivo principal del sub-proyecto es asistir a los tres países en establecer las bases técnicas, legales e institucionales para la gestión sustentable del Sistema Acuífero Transfronterizo Yrenda Toba Tarijeño (SATYTT) como parte del manejo integrado de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata.

Con el fin de lograr este objetivo, los tres países, basándose en un Análisis Diagnostico Transfronterizo, definirán un Programa de Acciones Estratégicas (PAE) a ser integrado en el PAE general de la Cuenca del Plata, y desarrollaran actividades para:

Confirmar el potencial del acuífero y la posibilidad de acceso a la utilización sustentable de este recurso, esencial para el desarrollo económico y social del Chaco Central y Norte, constituyéndose en una alternativa de abastecimiento válida para la región.

Sentar las bases, en los tres países, para la creación de normativas comunes en los temas del manejo de los acuíferos transfronterizos, en articular del SAYTT y facilitar la creación de un sistema de manejo transfronterizo involucrando a los usuarios y a los beneficiarios. Estudiar y comprender las modalidades y las consecuencias, actuales y futuras, del cambio climático en la región chaqueña, como parte del mas amplio contexto de la Cuenca del Plata.

Implementar un Banco de Datos común para los tres países que comparten el acuífero, convirtiéndolo en base de recolección, actualización y mantenimiento de todas las informaciones relativas al agua subterránea de la región, diseñar un sistema de monitoreo transfronterizo del acuífero, herramienta esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos y del uso del suelo. Fortalecer la capacidad técnica e institucional de los entes involucrados en el sub-proyecto y diseminar las informaciones a todos los niveles.

La acción conjunta y coordinada de los países permitirá asegurar la continuidad de la recarga, el mantenimiento de la calidad del agua, la protección de los ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas y la identificación de las opciones para la mitigación de los riesgos asociados con los cambios climáticos globales a nivel general de la Cuenca del Plata. Además, el sub-proyecto servirá como ejemplo a ser replicado en el mas amplio contexto de los acuíferos pede-andinos que se encuentran al interior de la Cuenca del Plata.

## **2.2 Objetivo específico de la consultoría**

Diseñar y elaborar los Términos de Referencia (TORs) para los Casos-Piloto, identificados en el Sistema Acuífero Transfronterizo Yrendá-Toba-Tarijeño, del Componente: Agua Subterránea del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en coordinación con el equipo técnico conformado por los representantes de los tres países involucrados.

## **3.- METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **3.1 A nivel de Gabinete**

Inicialmente se procedió a la tarea de recopilación de datos, informes y documentos hidrogeológicos, cartográficos, geológicos, hidrográficos, suelos, vegetación, infraestructuras y de perforación de pozos, además se ha compilado materiales bibliográficos de diferentes disciplinas, para la zona del Chaco boliviano, esta labor fue acompañada por entrevistas, reuniones y encuentros con profesionales que de alguna u otra manera tienen afinidad con el sector de los recursos hídricos.

Posteriormente los datos fueron clasificados, sistematizados evaluados y analizados con la finalidad de elaborar un informe sobre el Acuífero Transfronterizo compartido con Paraguay y Argentina .

### **3.2 A nivel de Campo**

Se ha realizado un viaje de reconocimiento por el área del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño, comenzando por la zona que abarca la superficie correspondiente a Bolivia, en esta región se apreció la zona de recarga en el sector boliviano, como así también la parte de la llanura chaqueña, tanto al norte como al sur del río Pilcomayo, ingresando por el sector de Villamontes, pasando por Ibibobo hasta llegar al Puesto El Tigre en la frontera boliviano-paraguaya, finalmente se ingreso al Paraguay por Infante Rivarola, recorriendo toda la llanura chaqueña paraguaya, hasta llegar a Asunción, punto final del recorrido.(Figura N° 3)

## **4.- SITUACIÓN GENERAL DEL CHACO BOLIVIANO**

### **4.1 Características Generales**

El ecosistema del Chaco boliviano, comprende tres grandes unidades fisiográficas que tienen características particulares respecto a los aspectos climáticos, poblacionales, socioeconómicos e hidrogeológicos.

- Subandino
- Pie de monte
- Llanura chaqueña

El área del Subandino corresponde a unidad que consiste en la sucesión irregular de serranías, colinas y valles, con una altura que va desde los 800 hasta los 2.000 msnm y abarca una superficie de aproximadamente 24.772 km<sup>2</sup>.

El sector de Piedemonte es una zona de transición de las últimas estribaciones del Subandino hacia la llanura chaqueña. Las características físico-climáticas tienen estrecha relación con los contrafuertes del subandino. Abarca una superficie estimada en 9.180 km<sup>2</sup>.

La Llanura Chaqueña tiene un topografía casi plana, interrumpida por la presencia de dunas estabilizadas por la vegetación y por zonas depresivas, conocidas como bañados. Tiene una altura que disminuye de oeste a este de 450 hasta 270 msnm. Abarca una superficie de alrededor de 45.087 km<sup>2</sup> .(Figura N° 4)

Los ríos que surcan el Chaco boliviano pertenecen a dos grandes cuencas: la del Amazonas y la del Plata.

- El Río Grande que tiene sus nacientes en la cordillera de los Andes y surca por el subandino y parte del Chaco, para luego dirigirse hacia el río Ichilo que es afluente del Amazonas.
- El Río Parapetí, ubicado al norte, surca transversalmente el subandino, donde recibe el agua de varios ríos y quebradas, para dirigirse a la llanura drenando sus aguas en los bañados del Alto Izozog.
- El Río Pilcomayo, que se encuentra al sur, tiene un recorrido de nor-oeste a sud-este: cruza transversalmente la región subandina, dirigiéndose hacia la llanura, insumiendo sus aguas en el Chaco paraguayo.



El Chaco Boliviano constituye una unidad física que es común a tres departamentos del sudeste de Bolivia, los mismos son:

- Chuquisaca, con una superficie de 13.299 Km<sup>2</sup>
- Santa Cruz de la Sierra que tiene una superficie de 14.360 Km<sup>2</sup>
- Tarija, tiene una superficie total de 17.428 Km<sup>2</sup> ..

El Chaco boliviano representa el 4,5 % aproximadamente del total de la República de Bolivia.

En esta región se encuentran grupos étnicos que pertenecen a dos familias lingüísticas: la Tupi-Guarani y la Mataco. En todo el Chaco Boliviano habitan 45.018 guaraníes y 2.670 de otras razas en las que se incluyen los maticos.

La actividad agropecuaria principal es la ganadería bovina extensiva y porcina que se desarrolla en 2.000.000 has aproximadamente en todo el Chaco boliviano.

#### **4.2 Clima**

El Chaco se caracteriza por ser seco y caluroso en el período de verano, entre noviembre y marzo, mientras que 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, es una zona tropical con temperaturas anuales promedio de 26 °C y máximas hasta 45 °C.

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

#### **4.3 Población e Idioma**

En el Chaco Boliviano en general habita la población de origen mestizo, que tiene presencia en toda la zona, como así también pequeños grupos étnicos originarios, con rasgos culturales propios. La población mestiza se caracteriza por la predominancia de la familia nuclear y el empleo del idioma castellano.

Existen dos grupos étnicos originarios, el más importante los Weenayeck llamados también "Maticos" pertenecen a la familia lingüística Mataco-Noctene y los Tupí Guaraníes. La población que se encuentra asentada en el Chaco Boliviano es de 233.509 habitantes y representan el 3.08% de la población nacional. Se encuentra distribuida en 90 cantones que corresponde a 16 municipios y tres departamentos.

La densidad poblacional promedio es de 1.62 hab/km<sup>2</sup> y la tasa de crecimiento de 1.76 % (INE 2001)

#### **4.4 Socioeconomía**

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 %, 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.

#### **4.5 Necesidades Básicas Insatisfechas**

Alrededor del 80 % de la población rural del chaco boliviano no tiene acceso al agua potable(Plan Macrorregional..), la mayoría de las comunidades rurales no tienen sistema de alcantarillado, los desechos domésticos son evacuados mediante cámaras sépticas, noria y 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 la 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 cinco centros urbanos: Caraparí, Monteagudo, Camiri, Villamontes y Yacuiba, el porcentaje de cobertura en estas ciudades es muy bajo, llegando aproximadamente al 20%.

#### **4.6 Tipo de Abastecimiento de Agua en el sector del Acuífero**

En el Chaco Boliviano, la falta de agua en cantidad y calidad de cursos de agua superficial, motiva a explotar los recursos hídricos subterráneos, como una de las formas más seguras de contar con agua de buena calidad tanto para el sector doméstico, industrial y/o agropecuario.

En la región del acuífero YTT en general existen tres formas de abastecimiento de agua, tanto para el sector domestico como el agropecuario.

1. Mediante la explotación del agua subterránea, a través de la perforación de pozos de agua.
2. A través del acarreo de agua mediante “*camiones cisterna*”, que transportan el agua superficial de las diferentes quebradas existentes en la zona de recarga del acuífero (Subandino), hasta los lugares más alejados de los centros poblados, donde los rigores de la sequía son más acentuados.
3. Otra forma de abastecimiento de agua es mediante la construcción de reservorios denominados “*atajados*”, que almacenan el agua de lluvia en la época de verano, para ser utilizada durante el resto del año. En general esta es la forma más común de abastecimiento, pero cuya disponibilidad de agua depende de las condiciones climáticas (precipitaciones) de la región.

#### **4.7 Costo del Agua**

El costo del agua en la zona del acuífero YTT en el área urbana es de aproximadamente 2,5 \$us/ m<sup>3</sup>; en el área rural el costo del agua 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, el costo es de \$us 0.5 a 1,5 /mes, por familia, no existe un volumen fijo de dotación.

#### **4.8 Suelos**

Se encuentran suelos con desarrollo incipiente hasta bien desarrollados: con materia orgánica en el horizonte superficial, iluviación de arcilla en los horizontes inferiores y presencia de sales y carbonatos en el abanico aluvial del río Pilcomayo. En general son suelos profundos a muy profundos mayores a 2 m., afectados por erosión laminar ligera, bien a moderadamente bien drenados con algunas zonas imperfectamente drenadas. Los colores típicamente son pardo oscuros a pardo amarillentos oscuros y las texturas varían de franco arcillo limosas a franco arcillosas sin fragmentos gruesos, mientras la estructura es en bloques subangulares. Son suelos ligera a fuertemente calcáreos, con pH de 6 a 8,8 y una disponibilidad baja a moderada nutriente.

#### **4.9 Vegetación**

La vegetación ha sido clasificada como de monte bajo semiárido, altamente degradado e intervenido sobre todo por el uso ganadero, existiendo diversidad de especies, cuya densidad varía fundamentalmente debido a los cambios climáticos, altitud y geomorfología de la zona.

La vegetación está compuesta por especies xeromórficas con follaje caducifolio, adaptadas a condiciones de extrema sequía y altas temperaturas. En la composición florística se observa un predominio de especies con apéndices espinosos, troncos

fisurados y suculentas. Fueron determinadas 37 familias, de las cuales las Caesalpinaceae, Anacardiaceae, Mimosaceae y Cactaceae son las más dominantes( ZONISIG 2000).

El aspecto general de la vegetación chaqueña es de una gran uniformidad de conjunto, con un panorama paisajístico casi monótono de monte espinoso, de cobertura generalmente densa, a veces impenetrable y con árboles emergentes en forma rala o en manchas. Este tipo de formación también se denomina monte semiárido bajo (Beck, 1988), matorral del Chaco o matorral espinoso del Chaco (Lara, 1983).

En el abanico aluvial del río Pilcomayo, extremo sudeste del Chaco, la vegetación presenta una fisonomía dominante de matorral alto, muy ralo a denso. También se observa algunas manchas de bosque ralo y bajo formadas principalmente por mistol (*Ziziphus mistol*) y palo santo (*Bulnesia sarmientoi*), especie característica de los sitios más áridos. Una particularidad del abanico son las manchas de suelo desnudo o "plazoletas", con procesos intensos de erosión hídrica laminar y pequeñas cárcavas( ZONISIG 2000).

#### **4.10 Impacto sobre el Medio Ambiente**

El impacto que causa la deforestación indiscriminada al medio ambiente y sobre todo al acuífero, se manifiesta en la zona de recarga, donde la cobertura vegetal esta siendo removida, para convertirse en áreas de riego, esto ocasiona problemas en la retención del agua de lluvia, ocasionando procesos erosivos activos, que inciden en la recarga de los acuíferos debido a que el agua se escurre y se evapora.

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

En los centros poblados como Yacuiba y Villamontes, donde la red de alcantarillado solo cubre el 40 % de la población( INE 2001), los desechos humanos, industriales y de otra naturaleza son evacuados directamente, a los lechos de las quebradas, produciéndose una contaminación gradual y continua, en los acuíferos subterráneos particularmente en la parte superficial, este proceso también ocurre a través de los pozos existentes entre la cañería de revestimiento y la pared del pozo, debido a que no se encuentran aislados los acuíferos de los contaminantes externos.

Otro proceso de contaminación es por intermedio de los pozos de petróleo abandonados, los mismos que vierten parte de sus fluidos a los ríos y pequeñas quebradas, contaminando el lecho superficial, como ocurrió con la Quebrada Los Monos ubicada en la Serranía del Aguarague a 4 Km. de la ciudad de Villamontes, sobre la carretera hacia Tarija( 1999- Prefectura de Tarija). Asimismo sobre la Quebrada de Caigua, se produce un proceso similar, existe un pozo abandonado en la parte alta de la cuenca sobre el eje del anticlinal existente, el pozo vierte fluidos de hidrocarburos a la quebrada de Caigua( PRONAR 2000).

Asimismo las quemadas de pastizales en las zonas de piedemonte, destinadas para el cultivo inciden sobre el medio ambiente en general, ocasionando que no haya retención del agua de lluvia y por lo tanto incide en la recarga.

#### **4.11 Áreas Protegidas**

En el Chaco boliviano existen diferentes áreas que son de Reserva Fiscal, de acuerdo a disposiciones gubernamentales

En la zona de recarga del acuífero, se encuentra un área protegida, creada mediante la Ley N° 22.083 de Abril del 2000, denominada “ *Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado de la Serranía del Aguarague*”, con una superficie de 118.300 ha. (ZONISIG 2000)

Los objetivos de esta área son los siguientes: 1) Conservar una muestra representativa de la biodiversidad existente en los ecosistemas de transición entre los bosques montanos y Chaco Serrano, 2) Proteger la Serranía del Aguarague como regulador del régimen hídrico de la llanura chaqueña y como fuente de agua de las ciudades de Villamontes, Yacuiba, Carapari y comunidades de su área de influencia.

En el extremo noreste del chaco tarijeño se encuentra ubicada un área protegida en proceso de creación, denominada “Cabo Juan”, con una superficie de 129.810 ha. El Senado Nacional ha aprobado el proyecto de Ley por el cual se le asigna el nombre de “*Bosque de Protección del Quebracho Colorado* .“

Al sur de esta última área se ubica la reserva privada de patrimonio natural “Corvalán”, administrada por la organización “Protección del Medio Ambiente Tarija” (PROMETA) de aprox. 4500ha. Esta reserva ha sido creada para la protección e investigación de la flora y fauna, constituyendo una muestra representativa de la Llanura Chaqueña.

Reserva forestal “Huacaya”. Ubicada en la Provincia Luis Calvo del Departamento de Chuquisaca (cantones Huacaya, Macharetí, y Ñancaroinza), tiene una superficie aproximada de 1.100 Km<sup>2</sup>. Con la protección de estas áreas se pretende garantizar la conservación de especies forestales y fauna de interés interdepartamental.

Refugio de Vida Silvestre , Ubicado en la provincia Luis Calvo del departamento de Chuquisaca (cantón Carandayti), con una superficie aproximada de 1.500 Km<sup>2</sup> para la preservación y conservación de la fauna silvestre.

El Parque Nacional integrado Kaa-lyá (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 Has. Actualmente el parque se encuentra en operación.

## **5.- ACUÍFERO TARIJEÑO**

### **5.1 Limites**

El conocido como acuífero Tarijeño en el sector Boliviano se extiende por los departamentos de Tarija (Provincia Gran Chaco), Chuquisaca (Provincias Luis Calvo y Hernando Siles) y Santa Cruz de la Sierra (Provincia Cordillera). De acuerdo a la información recopilada, las características hidrogeológicas del acuífero en los tres departamentos son similares en relación a la litología, parámetros hidráulicos, profundidad y extensión vertical del acuífero. (Figura N° 5)

Los límites aproximados del acuífero son los siguientes:

Limite Norte : línea imaginaria que se ubica aproximadamente a los 20° 00' de latitud sur, al sur del río Parapetí.

Limite Oeste: Serranías del Subandino (divisorias de aguas),

Limite Este : Continuidad del acuífero en el sector Paraguayo

Limite Sud : Continuidad del acuífero en el sector Argentino.

### **5.2 Geomorfología**

La llanura se caracteriza por una morfología homogénea y casi plana con algunas ondulaciones, 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. Todo 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. Las llanuras mayoritariamente están constituidas por depósitos areno-limosos de origen aluvial.

### **5.3 Geología**

El Chaco es parte de la gran Cuenca Sedimentaria del Continente de Sur América que esta separado del Escudo Brasileño en el norte por la zona de cizallamiento Ichilo –Mamoré, de rumbo NW-SE, esta zona es un complejo de fallas transversales que se extiende desde la Cordillera de Los Andes de Bolivia hasta la elevación del río Apa en el Brasil, formándose varios pliegues que posteriormente fueron rellenados por los productos de elevación andina (ocurridos en el Terciario). Estos productos de erosión fueron transportados por los ríos y depositados en la gran llanura chaqueña donde se seleccionaron por el viento y el agua.

Morfoestructuralmente existen dos zonas bien definidas, al oeste de las Sierras Subandinas formadas por rocas paleozoicas, mesozoicas y del terciario y al este la llanura chaqueña constituida por formaciones de edades del terciario y cuaternario.

La presencia de fallas en la zona no es notoria debido a la cubierta cuaternaria y la vegetación, que hace difícil su identificación en el campo.

- Geológicamente se presenta un cuadro evolutivo dentro del aspecto estratigráfico que incluye rocas paleozoicas (Devónico-Carbonífero), mesozoicas (Triásico-Cretácicas) y cenozoicas (Terciario-Cuaternario).

### **5.3.1 Estratigrafía**

La estratigrafía de la zona de estudio en la Llanura Chaqueña está representada por afloramientos del Terciario y Cuaternario, debido al intenso transporte fluvial no existen afloramientos bien diferenciados de las unidades litoestratigráficas. En la faja subandina se tienen rocas de edad paleozoica y mesozoica.

#### **5.3.1.1 Terciario**

El ambiente de deposición de los sedimentos terciarios es de ambiente continental, en su mayoría de origen fluvial y en menor proporción de origen lacustre.

En la zona el Terciario aflora en Villamontes aproximadamente a 3 Km. de la ciudad, en el camino que une Villamontes con Tarija y se extiende en forma paralela a la serranía del Aguaragüe.

También se lo encuentra en una extensa faja de 15 Km. de ancho, que parte de la localidad de Ibibobo y se extiende con dirección norte hasta fuera del departamento y por el sur hasta la Republica Argentina. .

El Terciario está representado por dos formaciones que tienen las siguientes características:

#### **Formación Chaco Superior.-**

Presenta alternancia de areniscas de grano fino a medio subredondeado, conglomerado, limo y arcilla rojiza mal seleccionada y con la presencia esporádica de material calcáreo.

#### **Formación Chaco Inferior.-**

Esta compuesta por areniscas de color castaño con intercalaciones de bancos de limolitas y argilitas de color marrón claro a rojizo, mal seleccionado y con presencia esporádica de material calcáreo.

### **5.3.1.2 Cuaternario**

Este sistema es uno de los de mayor extensión, la cubierta con sedimentos cuaternarios existentes en la Llanura Chaqueña se compone de materiales aluviales y coluviales procedentes del Subandino y las serranías Terciarias.

Los sedimentos en su mayoría están compuestos por arenas finas, limos, arcillas, también se han encontrado niveles con arena gruesa, intercaladas con conglomerados, los mismos han sido afectados por un intenso transporte eólico y fluvial, siendo reabajados y seleccionados durante su transporte.

La potencia de los sedimentos cuaternarios sobre la Llanura Chaqueña sufre grandes variaciones de un sector a otro, mientras que en ciertas áreas del pie de monte el espesor es de 10 a 20 m, en el sector Norte de la Llanura Chaqueña puede alcanzar de 70 a 80 m de espesor.

### **5.4.- Hidrogeología del sector del Acuífero Tarijeño**

Morfoestructuralmente existen dos zonas bien definidas, al oeste las sierras subandinas formadas por rocas paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas y al este la llanura chaqueña constituida por formaciones de edades del terciario y cuaternario.

Las características hidrogeológicas en la zona, se pueden establecer como elementos comunes y similares, tanto en lo referente a los aspectos geológicos como hidrogeológicos.

- Geológicamente, se presenta un cuadro evolutivo dentro del aspecto estratigráfico que incluye rocas paleozoicas (Devónico-Carboníferas), mesozoicas (Triásico-Cretácicas) y cenozoicas (Terciario-Cuaternarias).
- Desde el punto de vista de las posibilidades receptoras como almacenadoras y transmisoras de aguas subterráneas, indudablemente las rocas con mas posibilidades serán las rocas terciarias o cuaternarias. Dentro del terciario especialmente, las formaciones más aptas serán la Chaco Superior y Chaco Inferior, caracterizadas por la presencia de areniscas competentes y relativamente seleccionadas con intercalaciones de horizontes limolíticos y arcilíticos.
- Dentro del cuaternario, los depósitos más propicios están conformados por materiales coluviales, coluvio-aluviales, áreas de extensión y rellenamiento aluvial, piedemontes y especialmente terrazas de origen aluvial.



Se establecerían tres niveles de acuíferos principales:

- Los acuíferos más profundos, correspondientes a sedimentos paleozoicos, los cuales por sus características, profundidad y permeabilidad relativa baja, no serían económicamente explotables.
- Un acuífero intermedio, correspondiente a sedimentos terciarios, que por su espesor irregular, extensión lateral y permeabilidad relativa baja a media ( $K= 1 \times 10^{-4}$ ) tendrían mejores posibilidades de captación. Estos acuíferos presentan condiciones confinadas a semiconfinadas.
- Un acuífero superior, correspondiente a sedimentos cuaternarios, depositados en fondos de valles, sectores más abiertos de deposición tranquila y conformados por sedimentos no consolidados y con permeabilidad relativa media a alta ( $K= 1 \times 10^{-3}$ ), son los que tienen más aptitud para su aprovechamiento. Son acuíferos libres a semiconfinados.

## 5.5 Extensión

En Bolivia el acuífero se extiende a los departamentos de Tarija, Chuquisaca y Santa Cruz de la Sierra, existen antecedentes hidrogeológicos de algunos sectores, que indican las diferentes profundidades a la que se encuentra los diferentes niveles del acuífero, la extensión va desde el Piedemonte del Subandino hasta la frontera con Argentina por el sur y con Paraguay por el Este. Tiene una extensión en territorio boliviano de 32.000 km<sup>2</sup> aproximadamente.

## 5.6 Potencia del Acuífero

La potencia de los sedimentos cuaternarios sobre la Llanura Chaqueña sufre grandes variaciones de un sector a otro, mientras que en ciertas áreas del Pie de Monte el espesor es de 10 a 20 m, en el sector Norte de la Llanura Chaqueña puede alcanzar de 70 a 80 m de espesor, de igual manera los sedimentos del Terciario tienen un espesor considerable que puede abarcar hasta los 500 m, en la llanura chaqueña estos tipos de sedimentos son los portadores de aguas subterráneas. Asimismo en los sedimentos cuaternarios del cono aluvial a mayor profundidad se supone que existen otros acuíferos de gran potencia, que todavía no han sido investigados a mayor profundidad, probablemente con agua de buena calidad, Si se toma como referencia los sedimentos cuaternarios y terciarios, como los portadores de agua subterránea, se puede indicar que la profundidad del acuífero es muy variable, independientemente de la calidad del agua, de acuerdo a los pozos perforados por CODETAR - YPF, ( 400m.de profundidad), además de otros existentes en la región, el espesor del acuífero puede variar desde 20 m. en el sector de piedemonte hasta mas de 80 m. en la llanura chaqueña .

## 5.7 Áreas de Recarga

La provincia fisiográfica del Subandino está constituida por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles. Las serranías y colinas del Subandino están orientadas en sentido norte-sur, conformando anticlinales estrechos y valles

sinclinales más amplios, donde se instalan los ríos más importantes, originando valles con llanuras aluviales de pequeña a mediana amplitud.

Las diferencias más notorias de las serranías Subandinas con relación a las de la Cordillera Oriental son su menor altitud y luego el tipo tectónico de cada una de ellas. En la faja Subandina, a diferencia de la Cordillera Oriental, los altos topográficos como las serranías coinciden con pliegues anticlinales, y las depresiones o valles con los pliegues sinclinales, lo que origina un típico diseño de drenaje en trellis o enrejado, propio de regiones donde el plegamiento ha prevalecido sobre el fallamiento.

Algunas otras particularidades se refieren a las cimas, que pueden ser agudas y otras redondeadas a subredondeadas. Las gradientes son pronunciadas a consecuencia de las fuertes pendientes estructurales; por el contrario, los valores de las gradientes son más moderados en las colinas.

La cobertura vegetal en el Subandino es más densa y variada que en la Cordillera Oriental, incidiendo esto favorablemente en la protección de los suelos, reduciendo los procesos de erosión.

El área de recarga proviene de las serranías que constituyen las últimas estribaciones del Subandino, que es la zona donde se producen las precipitaciones más elevadas (alrededor de 1000 mm/año) de la región, lo cual da lugar a la recarga por infiltración de los acuíferos. El agua de lluvia se infiltra a través de los sedimentos arenosos pertenecientes al Terciario, produciéndose la recarga de los acuíferos subterráneos por infiltración.

La precipitación pluvial también produce recarga en las cañadas del abanico aluvial, mediante infiltración a través de los sedimentos cuaternario-terciarios.

Los cursos de agua superficiales tienen influencia básicamente en la zona de recarga, piedemonte y llanura, parte del agua que escurre es utilizada para riego, consumo humano y parte se infiltra aportando a los acuíferos, el río Pilcomayo con agua permanente durante todo el año, aporta en forma continua a los acuíferos del abanico aluvial de Ibibobo, recargando los mismos, asimismo es fuente de recarga de los acuíferos que se encuentran en ambos márgenes del mismo y que son explotados mediante pozos someros, extrayendo agua de buena calidad.

La acción antrópica del hombre está ocasionando el desmonte, en el área de recarga, para ser utilizada en el riego y sembradío de terrenos. En algunos sectores se observan procesos de erosión retrógrada como es el caso en la serranía del Aguarague, lo cual ocasiona que no exista una protección para el impacto del agua de lluvia, produciendo diferentes grados de erosión.

- La principal fuente para la recarga de los acuíferos, sería la precipitación pluvial, la cual a través de la posterior infiltración derivaría hacia determinados niveles de agua subterránea, a través de una circulación en sedimentos paleozoicos Triásico-Cretácicos, Terciarios y Cuaternarios, que tendrían carácter intersticial.

- Dentro del armazón geomorfológico regional, existiría una correspondencia entre la tendencia superficial del desplazamiento del agua, según un control estructural riguroso y su continuidad en la recarga hacia los niveles inferiores del subsuelo.
- Se considera evidente que la tendencia predominante en la dirección del flujo del agua, ya dentro de los niveles del subsuelo, sería de carácter descendente desde los flancos de los anticlinales hasta el seno de los sinclinales, donde se produciría la mayor acumulación de los volúmenes de agua y el establecimiento del gradiente hidráulico regional. Como consecuencia de esta situación las mayores acumulaciones de los volúmenes de agua subterráneos, se encontrarían en la dirección de los ejes sinclinales regionales.

Uno de los problemas que afectan a los recursos naturales de la zona, es el proceso erosivo que se desarrolla en las tierras de cultivo ocasionado por la incidencia de la intensidad de las lluvias en terrenos de pendiente los cuales cuentan con cierta cobertura pero no la suficiente.

Los productores se ven obligados a desmontar las tierras para ampliar la superficie cultivada, pero no se desarrolla ninguna técnica de conservación que busque mitigar este proceso.

Con la ampliación de la frontera agrícola, para el uso de cultivos de importancia como el maíz, los agricultores queman los montes para poder habilitar estas tierras, contaminando la atmósfera.

También se observa la contaminación de suelos y aguas por el uso de algunos plaguicidas de efecto residual de acción prolongada en las áreas bajo riego.

## **5.8 Balance Hídrico**

En una cuenca hidrográfica la oferta de agua compuesta por las precipitaciones y los escurrimientos aguas arriba es en parte evaporada y evapotranspirada, y el remanente escurre aguas abajo.

En el país, se calcularon balances hídricos para varias cuencas menores. El cálculo del balance hídrico que contempla la recarga y descarga en función de los parámetros climáticos e hidráulicos permite conocer el volumen de agua que puede ser utilizado o explotado sosteniblemente. En otros casos, permite conocer el caudal mínimo que se requiere para que lagunas o reservorios de agua no se sequen.

En el río Caigua, que es parte de la área de recarga en el subandino, existe déficit del recurso hídrico para riego a partir del mes de mayo hasta octubre lo cual demuestra lo crítico que es la zona, por lo que los agricultores de la región sólo pueden aprovechar una sola época del año para poder sembrar.

Esta situación es similar en los ríos Tarairi y Caiguami ubicados como el anterior al norte de la ciudad de Villamontes.(Figura N° 6)

## **5.9 Área de Descarga**

Las descargas de las aguas subterráneas en tanto, se producen, a través de numerosos manantiales que se sitúan en los flancos de las serranías y aportan a sus niveles de base locales. Dichos manantiales alumbran a la superficie ya sea a través de un estrato portador que ha sido cortado por un proceso erosivo o un disloque tectónico, o a través de permeabilidad secundaria (lineamientos, diaclasas o fallas), que conectarían el acuífero conductor con la superficie libre del terreno, la descarga también se produce a través de pozos perforados en el piedemonte y la llanura chaqueña.

En el tramo que abarca desde la Ciudad de Yacuiba hasta el cruce del camino carretero (Villamontes –Tarija), el agua aflora directamente sobre la superficie, ocasionando zonas de inundación, en la ciudad de Yacuiba se han registrado e identificado pozos de agua surgente que también es parte de la descarga de los acuíferos subterráneos locales, superficiales, las descargas de los acuíferos profundos se observan en la zona del chaco paraguayo en la zona de Monte Lindo.

## **5.10 Tipos de Acuíferos**

La hidrogeología del Chaco Tarijeño puede definirse como un sistema acuífero multicapa, con acuíferos interconectados e interdigitados. De acuerdo al sector se presentan acuíferos libres, semiconfinados ó confinados( Pasig, 1998).

En el área del valle de Yacuiba, las condiciones para la extracción de agua subterránea (tanto en cantidad como calidad) son notablemente mejores que en el resto del Chaco. Esto es como consecuencia de las buenas condiciones de recarga (con precipitaciones medias de 1000 mm anuales) y presencia de acuíferos de importantes rendimientos.

En los sectores de paleocanales ó cañadas del cono aluvial del río Pilcomayo, los acuíferos son de características libres y/o semiconfinados superficiales (ubicados entre 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  $^{14}\text{C}$  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 los sectores de paleoterrazas del cono aluvial del río Pilcomayo, se ha detectado un nivel acuífero de buena continuidad areal, ubicado entre los 110 y 120 metros de profundidad y que contiene agua de elevada salinidad, con conductividades

eléctricas del agua superiores a los 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Según los datos isotópicos obtenidos, la edad convencional de estas aguas se encuentra comprendida entre 14000 y 20000 años (consideradas fósiles), siendo su fuente de recarga el río Pilcomayo. Los perfilajes eléctricos realizados en las diferentes perforaciones, han demostrado que hacia profundidad la calidad del agua mejora notablemente (agua dulce). En estos sectores también se ha podido efectuar una correlación entre la densidad de vegetación existente, los tipos de suelos imperantes y las características químicas del agua subterránea.

En el sector de puesto Camotero, al sudoeste de la población de Crevaux, se ha detectado una anomalía hidroquímica importante, cuya extensión y dimensiones aún no están bien definidas. La misma se presenta como una cuña de 30 a 50 metros de espesor, ubicada entre los 50 y 110 m b.s., cuyos acuíferos contienen agua de elevada salinidad con conductividades eléctricas del agua de hasta 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En los acuíferos más profundos la calidad del agua mejora notablemente, donde se encuentra agua dulce.

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.

### **5.11 Calidad de las Aguas Subterráneas**

En la zona norte del Chaco Tarijeño, existe un paquete sedimentario de gran potencia, que se extiende hasta aproximadamente 160 m b.s. y que está constituido por gran cantidad de niveles arcillosos, intercalados por algunas capas de arena fina y la presencia de algunos horizontes de calizas y margas (según lo descrito en el informe del pozo "El Palmar" de YPFB). Los acuíferos que pudiesen existir en estos niveles son de poca importancia hidrogeológica y posiblemente con contenido de agua salobre. Esto puede corroborarse también mediante los resultados de la prospección geofísica realizada en el lugar y que ha dado valores de resistividad eléctrica no superiores a los 13 ohmm para las formaciones ubicadas entre los 30 y 160 m de profundidad (GARABITO et al., 1994) ( Pasig, 1998).

A partir de los 160 metros de profundidad aparece una sucesión de acuíferos semiconfinados y confinados de excelentes rendimientos (con caudales de hasta 3.5 l/s registrados en el pozo Quintín Ortiz), constituidos por 80 a 90 % de arenas medias a gruesas y 10 a 20 % de arcillas. Estos acuíferos tienen continuidad incluso hasta los 400 m b.b.p.

La calidad química del agua subterránea de éstos acuíferos profundos (a más de 160 m b.s.) es dulce, con agua de características bicarbonatadas ( Pasig, 1998).

En general en el Gran Chaco, 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. En su gran mayoría, el agua subterránea obtenida de los diferentes pozos en el Chaco Tarijeño es apta para consumo humano, riego y ganado. En algunos sectores, como el área de paleoterrazas del cono aluvial del río Pilcomayo y en los alrededores al puesto de Camotero, existen algunas restricciones para uso humano y riego, lo que se debe fundamentalmente a la elevada salinidad del agua contenida en los acuíferos someros, ubicados hasta los 140 metros de profundidad.

La contaminación hídrica en la zona del subandino, alcanza niveles peligrosos debido principalmente a la actividad petrolera, comparando datos de calidad de los recursos hídricos de antes y después de esta actividad se tiene que, muchos cursos de agua se encuentran en plena degradación, tomando en cuenta las normas de calidad del recurso agua, la cantidad de hidrocarburos presentes debe ser cero. Sin embargo, en estas fuentes existe desde cantidades ínfimas hasta considerables de hidrocarburos totales. Por su grado de contaminación e importancia se tiene que los ríos Ipa, La Lima y Los Monos presentan cantidades superiores a 0.25 mg/lit, Tahiguati, Tarairí y Caigua con 0.1 a 0.25 mg/lit, en otros cursos menores ubicados al norte de la ciudad de Villa Montes las fuentes de agua no presentan restos de hidrocarburos

### **5.12 Datos Hidráulicos del Acuífero**

Los datos hidráulicos existentes en la zona del chaco tarijeño, están en base a 2 pozos perforados por el CABAS, en la zona de valle y piedemonte, que dan de acuerdo a pruebas de bombeo los siguientes datos: ( Figura N° 7)

$$T = 1,9 \text{ m}^2/\text{h} = 5,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

### **5.13 Relación entre Agua Subterránea Dulce y Salada en el Sector del Acuífero**

En general el chaco boliviano tiene acuíferos salinos a diferentes profundidades, en la zona del abanico aluvial en la zona de las terrazas aluviales, el agua es salina a salobre, como ejemplo se indica el pozo las Trencillas que tiene valores altos de conductividad eléctrica  $> 5.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , de acuerdo a las experiencias existe un acuífero con contenido salino hasta una profundidad de 130 m.

En pozos más profundos, como los perforados por la Ex CODETAR e YPFB, con profundidades de 400m, ubicados tanto al norte y sur del río Pilcomayo, el agua es de buena calidad, lo cual indica que a mayor profundidad la calidad del agua subterránea es mejor.

#### **5.14 Pozos Perforados en el Área del Acuífero.**

Se estima que en Chaco boliviano existen alrededor de 800 pozos con profundidades que varían desde 80 a 400 m. , en diferente estado de situación, la mayoría son pozos de poca profundidad, que están explotando los acuíferos superficiales, muchos de ellos no se encuentran en funcionamiento, principalmente por problemas de mala construcción, o por falta de agua debido a la falta de investigación en ciertos sectores del chaco.

Los pozos fueron perforados por empresas públicas, convenios con gobiernos cooperantes, proyectos de investigación de aguas subterráneas y empresas privadas.

Los niveles estáticos del agua subterránea varían desde la surgencia en la ciudad de Yacuiba, hasta 180 metros bajo boca de pozo en el sector del chaco chuquisaqueño.

### **6.- LEGISLACIÓN SOBRE RECURSOS HÍDRICOS**

#### **6.1 Gestión de los Recursos Hídricos**

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.

En Bolivia no existe una ley que regule el uso y explotación de los recursos hídricos subterráneos, 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.

## **6.2 Organismos e Instituciones encargados del manejo de los Recursos Hídricos**

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.

El potencial agrícola y forestal han sido considerado como el factor más relevante para determinar las potencialidades, la erosión y magnitud de la pobreza como las limitantes.

Una iniciativa similar es la de MAGDR-PRONAR (2001). Se ha identificado para cada uno de los sectores hidroecológicos el potencial de uso de los recursos agua-suelo-vegetación, además las limitaciones de los suelos, erosión, clima, riego e inundación. Luego, los valores de potencialidades, limitaciones, degradación de los recursos naturales renovables y el índice de pobreza han sido ponderados para obtener el nivel de prioridad de intervención para cada uno de los sectores hidroecológicos a nivel nacional.

## **7.- RELACIÓN ENTRE EL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS**

Los cambios climáticos existentes, como ser sequías, inundaciones y otros inciden en la explotación de las aguas subterráneas, las mismas que varían de acuerdo al fenómeno natural, básicamente en su ocurrencia y explotación.

Normalmente en la época de estiaje, los niveles piezométricos descienden, la recarga disminuye, en procesos climáticos como el fenómeno del Niño, la mayoría de los cursos de agua superficial, se secan, siendo la única fuente de agua la subterránea, existe mayor presión por la utilización y explotación del recurso hídrico subterráneo.

La sobreexplotación de los acuíferos subterráneos, produce un aumento de la salinidad del agua que se explota, debido a esta situación existen cambios en el



clima debido a un mayor presión natural por regenerar el déficit hídrico que se produce.

## **8.- CONCLUSIONES**

Las aguas subterráneas del acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño provienen de material sedimentario no consolidados del Terciario (formación: Chaco Superior y Chaco Inferior) y Cuaternario aluvial en la zona de piedemonte, como también en el Cono Aluvial de río Pilcomayo .

Los sistemas de monitoreo de los recursos hídricos, el almacenaje y la sistematización de datos meteorológicos y hidrológicos son insuficientes y en muchos casos deficientes.

Las aguas subterráneas en Bolivia en general están muy poco estudiadas y poco se conoce el potencial de este recurso. Lo más grave es que se pretende aprobar planes de uso de estas aguas sin realizar los estudios pertinentes.

Es alarmante la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en el chaco boliviano debido a la contaminación de los acuíferos.

La pobreza y la insuficiente cobertura de servicios de alcantarillado y agua potable agravan los problemas anteriormente mencionados, especialmente en las zonas urbanas.

Bolivia cuenta con un balance hídrico nacional que no se actualizó durante los últimos años, a nivel local se necesitan estudios más detallados.

Se tiene generalmente poca coordinación entre instituciones relacionadas con el tema agua

En el chaco boliviano alrededor del 80% de la población en el sector rural no tiene acceso al agua potable y solo un 40 de la población en ciudades menores tienen instalado el alcantarillado sanitario, en la zona de la llanura la deposición final de los residuos sólidos o líquidos, se realiza mediante pozos sépticos, cámaras sépticas y /o al aire libre.

Alrededor de 200 000 personas se abastecen de agua subterránea, en todo el chaco boliviano.

La calidad del agua subterránea varía de acuerdo al sector y la profundidad de donde se explota, en general en la zona del piedemonte el agua es de buena calidad,( Yacuiba, Villamontes, Tiguipa), con caudales hasta 6 l/seg.

En el sector de la llanura al norte del río Pilcomayo, el agua hasta los 130 m de profundidad no es de buena calidad, sin embargo en las cañadas del cono aluvial, a la misma profundidad la calidad es buena, con caudales de explotación de 2 l/s. Finalmente se puede indicar que en general un caudal reducido de agua subterránea, es de mucha utilidad tanto para los humanos como así también para

los animales, sobre todo en la época de sequía donde el agua de lluvia es muy escasa

## **9.- RECOMENDACIONES**

En Bolivia, como en los otros países de América del Sur, es necesario un enfoque multidisciplinario en la gestión de los recursos hídricos, tomando como principios básicos el manejo integral de las cuencas, el uso múltiple de los recursos hídricos, la recuperación de las aguas contaminadas, y la protección de zonas frágiles e importantes para la conservación de los recursos hídricos subterráneos.

Se recomienda crear los marcos legales y programáticos adecuados, como una Política Nacional de Recursos Hídricos, la Ley de Aguas y un Plan Nacional de Uso y Conservación de los Recursos Hídricos.

Se debe incrementar los estudios para el conocimiento real del área de recarga del acuífero, como ser la infiltración de aguas de lluvias anuales, cantidad de infiltración de cursos de aguas, que vienen de la zona del subandino.

Para proteger el área de recarga en la serranía del Aguargüe, se deben realizar las siguientes acciones con la finalidad de preservar el recurso hídrico:

- Controlar la erosión de los suelos causada por las actividades humanas y por procesos físico-naturales como la precipitación, mediante la ejecución de obras civiles y actividades de reforestación.
- Desarrollar actividades de conservación de suelos con fines de protección en zonas forestadas agrícolas.
- Monitorear los problemas de erosión en las zonas vulnerables de la zona de recarga.

Es necesario continuar con los estudios de geofísica para la delimitación de la interfase agua dulce-agua salada, identificación del origen de las aguas subterráneas, determinación de su edad, velocidad y dirección de flujo, relación entre aguas superficiales y subterráneas.

Se deben realizar perforación de pozos en la llanura chaqueña, testificaciones mediante registros eléctricos, con la finalidad de determinar el contacto Cuaternario-Terciario

Se deben implementar modelos adecuados de gestión de los recursos hídricos subterráneos.

Se deben realizar evaluaciones detalladas de las potencialidades y limitaciones de los recursos hídricos subterráneos. Esto se podría realizar mediante la implementación de modelos de simulación, que permitan reproducir la dinámica del sistema hídrico subterráneo del acuífero YTT.

## 10.- BIBLIOGRAFÍA

CORDECH ( 1993) Estudio de los Recursos Naturales de Chuquisaca, Mapa Hidrogeológico del Departamento de Chuquisaca. Esc 1: 500.000

GARABITO, G., QUIROGA, J. & SORUCO, W. (1994): Investigación geoelectrica en la parte Norte del Chaco Tarijeño. - Informe Técnico CABAS N° 19; Cochabamba, Bolivia.

GODOY, E. (1996): Síntesis hidrogeológica del área norte del Chaco Paraguayo. - XII Congreso Geológico Boliviano, **1**: P. 295-307; Tarija, Bolivia.

JICA, (1996): Estudio de desarrollo de aguas subterráneas en áreas rurales de la República de Bolivia. – DINASBA/Prefectura de Tarija, Informe Técnico Preliminar; La Paz, Bolivia

MISIÓN CHINA FASE III (2000) Información Técnica Proyecto de Perforación de Pozos, Tarija-Bolivia, gestión 2000.

INE (2002) Censo Nacional de Población y Vivienda. La Paz-Bolivia

NACIONES UNIDAS (1977) Las Aguas Subterráneas en el Hemisferio Occidental., Recursos Naturales / serie del agua N° 4, Nueva York 1977.,Bolivia pags.252-261

NEWMANN-REDLIN, CH. & VILLENA, H. (1992): Primeros aspectos sobre la hidrogeología del Chaco Tarijeño, resultados preliminares de reconocimiento a esta región. - Informe Técnico CABAS N° **1**; Cochabamba, Bolivia.

NEWMANN-REDLIN,CH & VILLENA,H.(1993) Bibliografía Hidrogeológica del Chaco Sudamericano. Informe Técnico CABAS N° 12

NEWMANN-REDLIN, CH. & VILLENA, H. (1993): Aspectos adicionales sobre la geología e hidrogeología del Chaco Tarijeño. - Informe Técnico CABAS N° **16**; Cochabamba, Bolivia.

PASIG, R. & VILLENA, H. (1995): Evaluación hidrogeológica del Chaco Tarijeño Seco. - Informe Técnico CABAS extra; Tarija, Bolivia.

PASIG, R. & CUELLAR, R. (1996): Los recursos hídricos subterráneos en el Chaco Tarijeño de Bolivia. - III Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea (ALHSUD), **2**: P. 29-43; San Luis Potosí, México.

PASIG, R., VILLENA, H., BUSTAMANTE, M., NEWMANN-REDLIN, C. (1996): Disponibilidad y Aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos en el Chaco Tarijeño de Bolivia (primer avance del trabajo). XII Congreso Geológico Boliviano, **1**: P. 323-334; Tarija, Bolivia.

PASIG, R. (1998): Estudio Hidrogeológico del Chaco Tarijeño, Bolivia Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería N° 15 1998.

PREFECTURA DE TARIJA, (1996): Informes Técnicos de la Perforación de Pozos de la Misión China en el Chaco Tarijeño. - Convenio Prefectura de Tarija - República Popular China, Informe N° 1 (1994-95), Informe N° 2 (1996-97); Tarija, Bolivia.

PREFECTURA TARIJA, CHUQUISACA, SANTA CRUZ (1998) , Plan Macroregional de Desarrollo Económico y Social del Chaco Boliviano. Octubre 1998.

Van Damme Paúl( 2000), Disponibilidad, Uso y Calidad de los Recursos Hídricos en Bolivia. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Johannesburgo 2002.

VILLENA, H. & COLODRO, R. (1992): Diagnóstico de las Aguas Subterráneas del Chaco Tarijeño. - Informe Técnico CODETAR s/n; Tarija, Bolivia.

ZONISIG(2000) , Zonificación Agroecologica y Socioeconómica del Departamento de Tarija,

# A N E X O S

## GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIACIONES

|             |  |
|-------------|--|
| BGR         | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe      |
| CABAS       | Convenio Alemán Boliviano de Aguas Subterráneas        |
| CONIAG      | Consejo Interinstitucional del Agua                    |
| CGIAB       | Comité de Gestión Integral de Agua Bolivia             |
| INE         | Instituto Nacional de Estadísticas                     |
| MAGDR       | Ministerio de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural |
| PAE         | Programa de Acción Estratégica                         |
| PLAMACH-BOL | Plan Nacional de Cuencas Hidrográficas-Bolivia         |
| PRONAR      | Programa Nacional de Riego                             |
| SATYTT      | Sistema Acuífero Transfronterizo Yrenda Toba Tarijeño  |
| SERGEOMIN   | Servicio Geológico de Minas                            |
| TORs        | Términos de Referencia                                 |
| ZONISIG     | Zonificación Agroecológica y Socioeconómica            |

## **LISTA DE FIGURAS**

**FIGURA :** Ubicación del Chaco Boliviano en La Cuenca del Plata

**FIGURA N° 1** Ubicación del Chaco Boliviano en el Chaco Sudamericano

**FIGURA N° 2** Limite aproximado Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño, en el sector Boliviano

**FIGURA N° 3** Recorrido de los Expertos por la Zona del Acuífero, en Bolivia y Paraguay

**FIGURA N° 4** Limite de la Llanura Chaco Boliviano

**FIGURA N° 5** Ubicación del Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño en el Chaco Sudamericano

**FIGURA N° 6** Curvas Oferta-Demanda río Caigua, Chaco Tarijeño

**FIGURA N° 7** Ubicación pozos perforados en el Chaco Tarijeño