



PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE
LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,
EN RELACIÓN CON LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y
EL CAMBIO CLIMÁTICO

PROGRAMA MARCO PARA GESTÃO SUSTENTAVEL DOS
RECURSOS HIDRICOS DA BACIA DO PRATA,
CONSIDERANDO OS EFEITOS DECORRENTES DA
VARIABILIDADE E MUDANÇAS DO CLIMA



SUB COMPONENTE II.3

AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL ADT

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO TRANSFRONTERIZO RELACIONADO A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL PLATA

Geól. Daniel H. García Segredo

Versión, 02 de Junio de 2015.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO.	3
SÍNTESIS PARA EL ADT / PAE.	5
1. ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS.	11
2. ACUÍFEROS EN LA CUENCA NO INCLUIDOS EN ESTA FASE.	11
3. PRINCIPALES ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LA CUENCA.	12
3.1 Reseña histórica del proceso.	13
3.2 Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño – SAYTT.	16
3.2.1 Geología	16
3.2.2 Importancia socio económica.	18
3.2.2.1 Ríos más importantes en el SAYTT.	19
3.2.2.2 Areas protegidas.	20
3.2.2.3 Pueblos indígenas originarios - agricultura – ganadería.	21
3.2.3 Actividades y productos generados por el Programa Marco.	23
3.2.3.1 Síntesis de los productos en Argentina y caracterización del acuífero Toba.	25
3.2.3.2 Síntesis de los productos en Bolivia y caracterización del acuífero Tarijeño.	27
3.2.3.3 Síntesis de los productos en Paraguay y caracterización del acuífero Yrendá.	28
3.3 Sistema Acuífero Serra Geral – SASG	30
3.3.1 Actividades y productos generados por el Programa Marco.	31
3.4 Sistema Acuífero Pantanal – SAP	34
3.5 Sistema Acuífero Baurú – Caiuá – Acaray	35
3.6 Sistema Acuífero Agua Dulce	35
4. ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS ESTUDIADOS EN LA CUENCA.	36
4.1 Sistema Acuífero Guaraní - SAG.	36
4.2 Productos del SAG.	37
5. EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DEL PLATA.	38
5.1 Riesgo de salinización, principales usos en la Cuenca.	38
5.2 Demanda actual de Agua Subterránea.	39
5.3 Vulnerabilidad Natural de los Acuíferos a la Polución.	40
6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA.	41
6.1 Precipitación (análisis 1961 – 1990).	41
6.2 Temperatura (análisis 1961 – 1990).	41
6.3 Precipitación (análisis clima futuro 2011 – 2099).	42
6.4 Temperatura (análisis clima futuro 2011 – 2099).	42
6.5 Conclusiones del informe de la consultoría	42
7. ADT - IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS	43
8. ACCIONES PARA EL PAE.	45
8.1 Desarrollo de las acciones para el PAE	45
8.1.1 Uso sustentable del agua subterránea.	46
8.1.2 Protección.	48
8.1.3 Instrumentos de gestión.	49
8.2 Propuestas de los países para el PAE	51
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	52



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



RESUMEN EJECUTIVO.

El Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en Relación con los Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático, llevó adelante dentro de sus componentes, uno específico relacionado a las Aguas Subterráneas Transfronterizas. En este informe se considera un acuífero como transfronterizo, cuando los efectos físicos, químicos o biológicos en el mismo, se reflejan en aspectos de interés común de dos o más países.

Específicamente se han estudiado los acuíferos Serra Geral, Pantanal, Baurú-Caiuá-Acaray, en la cuenca paranaense y los acuíferos Yrendá-Toba-Tarijeño y Agua Dulce en la cuenca chaqueña. Paralelamente se desarrolló un proyecto piloto en el río Cuareim/Quaraí, en la frontera entre Uruguay y Brasil.

En este proyecto el Acuífero Guaraní, que si bien es transfronterizo y de gran importancia a nivel regional, no fue estudiado considerando que tuvo un proyecto de estudio específico, solamente se citan los principales productos del mismo.

El Programa Marco tuvo una duración de cinco años, en los cuales se realizaron una serie de reuniones de trabajo entre los técnicos representantes de los países, en las que se establecieron los planes anuales y los costos de llevarlos adelante, elaborando así los cronogramas de trabajo y sus correspondientes presupuestos. También se realizaron talleres de trabajo en las oficinas del CPRM, en Brasil, donde se elaboró el mapa hidrogeológico de la Cuenca del Plata y una serie de mapas temáticos (cartogramas), donde se muestran datos generales sobre la extracción anual de agua mediante pozos, riesgos de salinización y principales usos y sobre la vulnerabilidad natural de los acuíferos a la polución.

Paralelamente al mapa hidrogeológico de la cuenca, se elaboraron varias consultorías con objetivos específicos relacionados al conocimiento del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño. Si bien existían algunos estudios en los países que lo contienen (Argentina, Bolivia y Paraguay), no estaban unificados en un mismo criterio. Así, se realizó un estudio socio económico y ambiental y consultorías individuales en cada país para realizar la compilación de información existente y la elaboración de los mapas hidrogeológicos, que finalmente serán integrados por el Servicio Geológico y Minero (SEGEMAR) de Argentina. Esta integración fue concordada entre los técnicos de los tres países en varias reuniones de trabajo. Finalmente se realizó un monitoreo con la toma de datos hidroquímicos e isotópicos.

En el caso de Paraguay se digitalizó el mapa geológico del Chaco, considerando que no se contaba con el mismo.

Las variaciones climáticas modeladas por el INPE para un periodo de casi 80 años serían insignificantes desde el punto de vista de las aguas subterráneas, ya que los periodos de tiempo geológicos son muy amplios, la movilidad del agua subterránea generalmente es muy lenta. No obstante, en algunas localidades donde la recarga es afectada por la precipitaciones (acuíferos más restringidos como p.e. Raigón en Uruguay o los paleocauces del SAYYT), la variación climática puede llegar a afectar la recarga de los mismos. Principalmente todos aquellos acuíferos que tengan una recarga directa.





Finalmente, considerando la información obtenida en todo el Proyecto, se identificaron algunos impactos socioambientales que podrían ser considerados en el Análisis de Diagnóstico Transfronterizo. Se citan algunos que fueron identificados en el proyecto Guaraní, y otros que fueron surgiendo de los estudios y considerados en las reuniones de los técnicos.

Como resultado final de los cinco años de estudios, sumado los impactos que fueran identificados en la fase anterior del Programa Marco, se elaboraron varias propuestas para el PAE a ser presentadas a los países para su posible implementación, que surgieron de los representantes de los países en las diferentes reuniones de trabajo y una propuesta concreta que fuera presentada por el representante de Brasil en el GT. Lo interesante de las mismas es que todas concluyen en la necesidad de realizar un monitoreo de los acuíferos, para aumentar el conocimiento enfocado a la gestión del recurso. Dichas propuestas son:

Monitoreo del SAG en las zonas aflorantes de entre Brasil y Uruguay; monitoreo del Acuífero Salto-Salto chico; las areniscas del Cretácico inferior en Uruguay, en la cuenca paranaense y la zona de afectación del río Pilcomayo entre Argentina, Bolivia y Paraguay; La zona de los médanos entre Bolivia y Paraguay, en el paleodelta del Parapití; el acuífero Agua Dulce en la frontera de Bolivia y Paraguay y en Argentina la zona de los paleocauces del río Salado, en la cuenca chaqueña.

La propuesta concreta de Brasil se basa en tres lineamientos que son: el uso sustentable de las aguas subterráneas; la protección de acuíferos con acciones puntuales en los pozos y la implementación de instrumentos de gestión, mediante una red de monitoreo, construcción de una base de datos e información asociadas a la cartografía de los acuíferos.





SÍNTESIS PARA EL ADT / PAE

1. **Utilización no sostenible de los acuíferos en zonas críticas:** *cuya conservación hace necesario gestionarlos en forma integrada con los recursos superficiales y el clima, atendiendo en forma sostenible, las necesidades de desarrollo.*

Con el trabajo conjunto de los países se ha avanzado en la caracterización de los acuíferos transfronterizos seleccionados a nivel de la Cuenca del Plata (Serra Geral, Baurú-Caiuá-Acaray, Pantanal y Agua dulce), como así también en el mapa hidrogeológico de síntesis de la Cuenca del Plata a escala 1:2.500.000 (en curso).

A nivel local se ha avanzado en el conocimiento del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT), en los territorios de Argentina, Bolivia y Paraguay. Se ha realizado un informe socio-económico, relevamiento de información disponible, trabajos de campo con monitoreo de pozos y toma de muestras para análisis físico-químicos e isotópicos, se ha realizado un informe geológico delimitando la zona del acuífero, se ha elaborado el mapa geológico en los tres países con la integración del mismo. Así mismo, se han elaborado los mapas hidrogeológicos en cada país y posterior integración a nivel de los tres países (actividad en proceso de ejecución).

Se ha realizado un proyecto piloto demostrativo en la cuenca del río Quarai/Cuareim, entre Brasil y Uruguay. En dicho proyecto se avanzó mucho en la aplicación de metodologías hidrológicas e hidrogeológicas buscando obtener información para apoyar la gestión integrada de los recursos hídricos. Fue confeccionado un mapa hidrogeológico escala 1:250.000, cuya metodología es idéntica a la empleada para la elaboración del mapa regional 1:2.500.000. Este proyecto demostrativo y las técnicas aplicadas, servirán para ser replicado en otras áreas de la cuenca.

Considerando que el Grupo Temático II.3 de Aguas Subterráneas tuvo 2 subcomponentes. Aquí se presentan los principales resultados de los trabajos realizados de la siguiente forma:

- II.3.1 Actividad prioritaria “Gestión Sustentable del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño -información SAYTT”.
- II.3.2 Acuíferos Transfronterizos y lineamientos para la gestión integrada superficial-subterránea de la Cuenca del Plata.





Actividad II.3.1 “Gestión sustentable del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño -información SAYTT”.

- En la región chaqueña donde se encuentra el Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT), se partió de un límite esquemático de trabajo para luego con las informaciones producidas en el Proyecto, se pudiera ajustar, con la argumentación correspondiente.
- Se realizó la digitalización del mapa geológico del Chaco paraguayo, el cual aún no se tenía en ese formato y posteriormente se realizó la integración de los mapas geológicos del SAYTT, en una sola base cartográfica (actividad realizada por el SEGEMAR de Argentina, mediante contrato).
- Se realizó un estudio socio-económico de la región del SAYTT.
- Se realizó una descripción geológica del SAYTT con los detalles de los límites de la cuenca que lo contiene.
- Se realizó un relevamiento de información a nivel de cada provincia que contiene el acuífero Toba en Argentina. Dicha información posteriormente fue integrada por un especialista y formó parte de la información para el mapa hidrogeológico del SAYTT, lado argentino, elaborado por el SEGEMAR.
- Se realizó un inventario de información existente y un relevamiento de campo de pozos con toma de muestras en pozos seleccionados, para análisis físico-químicos e isotópicos, ensayo de bombeo de algunos pozos representativos, en los tres países. Posteriormente se elaboró en cada país el mapa hidrogeológico, el cual será integrado (actividad pendiente), por el SEGEMAR de Argentina.
- Se definió una red básica de monitoreo, tomando como línea base los pozos que fueron muestreados en el proyecto.

De la información recabada de las diferentes consultorías realizadas se puede resumir algunos datos importantes como ser:

- En Argentina, la provincia de Santiago del Estero se encuentra dentro de la delimitación del SAYTT. La región más importante hidrogeológicamente es la del cono aluvial del río Dulce. Es una estructura geológica con una potencia de unos 200 m de espesor. Es un acuífero multicapas de gran extensión, que provee en las perforaciones habilitadas para las ciudades de Capital y Banda, de profundidades menores a los 150 m, caudales entre 300 y 400 m³/h. Los niveles estáticos de los pozos varían entre 4.5 y 7.8 mts. Se pudieron catastrar en total 79 pozos, pero todos son de casi 100 años de antigüedad. Los pozos más nuevos son de 1950. No se contó con información oficial más reciente.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



- En la provincia de Tucumán los niveles acuíferos son de agua de buena calidad y caudales en el orden de los 30 a 40 m³/h, con profundidades en el orden de los 50 m.
- En la Provincia de Salta hay una fuerte influencia de los grandes cursos fluviales sobre los reservorios subterráneos someros y una independencia del escurrimiento subterráneo profundo del escurrimiento superficial.
- En el límite interprovincial Salta/Formosa existe un acuífero de agua dulce de los 325 a los 385 m de profundidad, debajo de una secuencia de intervalos de agua salada, con potencia promedio de 80 m, disminuyendo el espesor de O a E.
- En Bolivia, el estudio de relevamiento de información determinó la existencia de 205 pozos de agua con profundidades entre los 80 a 300 metros. Se seleccionaron 30 pozos que fueron monitoreados in situ por el proyecto y que se definieron para la red de monitoreo del acuífero Tarijeño. Estas actividades fueron acompañadas con estudios de geofísica (geoeléctrica), muestreos y análisis de calidad del agua, etc. Del estudio socio-económico se puede decir que la mayoría de las fincas de la región del acuífero Tarijeño son sistemas agrícolas y pecuarios, que desarrollan agricultura de autoconsumo (maíz, batata, etc.), cuyo el sistema de captación de agua se basa en aguadas ya sea individuales y grupales para uso animal, en algunos casos pozos freáticos y pozos artesiano (estos últimos van en aumento debido al apoyo de la gobernación y municipios como Machareti, Villamontes, Yacuiba).
- En Bolivia, el principal uso de las aguas subterráneas es el abastecimiento público, agricultura e industria.
- En Paraguay el uso de las aguas subterráneas en el acuífero Yrendá es principalmente para uso pecuario y algunas comunidades dispersas.

Actividad II.3.1 “Acuíferos transfronterizos y lineamientos para la gestión integrada superficial-subterránea de la Cuenca del Plata”. Se realizaron varios talleres de trabajo para elaborar el mapa hidrogeológico de la Cuenca del Plata, con apoyo del CPRM. De estas actividades se puede citar lo siguiente:

- Se elaboró el Mapa Hidrogeológico a escala 1:2.500.000, con la información proveída por los cinco países de la cuneca, en ambiente SIG, con una amplia tabla de atributos hidrogeológicos.
- Se observa vulnerabilidad media a baja de la contaminación de la Cuenca del Plata para el área comprendida por la Cuenca sedimentaria del Paraná y media a alta para el SAYTT. Mientras que para la porción del Gran Chaco y Pantanal predominan vulnerabilidades altas a extremas.
- Se elaboraron mapas temáticos, en los que se observa una concentración de sales entre 1000 – 3000 µS/cm, que marca el inicio de la ocurrencia de aguas con calidad no adecuadas para la salud humana, en el chaco argentino y paraguayo, además de la porción central de Bolivia. Coincidiendo integralmente con el agua de ocurrencia del acuífero Yrendá, se observan aguas bastante salinizadas (más 3000 µS/cm).





- Se observa un incremento del uso de los recursos hídricos de origen subterráneo debido el desarrollo de las poblaciones urbanas y rurales y el fuerte incremento de las actividades agrícolas e industriales en la región de la Cuenca.
- En Brasil este recurso tiene importancia fundamental en el abastecimiento humano y uso industrial, principalmente en toda la región Sudeste y Sur. Esta región representa la zona donde ocurre la mayor explotación de aguas subterráneas en toda la Cuenca del Plata.
- En Paraguay el agua subterránea tiene un amplio uso para abastecimiento humano e industrial en la periferia de la capital Asunción, mientras que en el resto del país tiene uso principalmente pecuario y para abastecimiento público en las localidades del interior.
- En el Uruguay, si bien el volumen de agua subterránea que se utiliza es relativamente bajo con un 28 % del agua suministrada, se debe destacar la importancia de la misma ya que en muchos poblados del interior el abastecimiento es de 100 % por aguas subterráneas. El 73% de los servicios de abastecimiento son proveídos únicamente por agua subterránea, mientras que en el 12 % es mixto, y el agua subterránea es parte del suministro.
- Las variaciones climáticas modeladas para un periodo de casi 80 años serían insignificantes desde el punto de vista de las aguas subterráneas, ya que los periodos de tiempo geológicos son muy amplios. No obstante, en algunas localidades donde la recarga es afectada por la precipitaciones (acuíferos más restringidos como p.e. Raigón, paleocauces del SAYYT, etc.), la variación climática puede llegar a afectar la recarga directa de los mismos.
- Actualmente causas técnicas, económicas, socioculturales y político-institucionales conducen a un uso no sustentable del agua subterránea. Hay falta de conocimiento sobre la vulnerabilidad de las zonas de recarga, no se conoce con exactitud los volúmenes extraídos, deficiente monitoreo sobre la explotación, deficiencia en los inventarios de pozos e investigación, no existe prácticamente monitoreo en ninguno de los países de la cuenca a excepción de Brasil que tiene algunas redes de monitoreo, principalmente en el Estado de San Pablo y Paraguay que monitorea el acuífero Patiño de gran importancia a nivel local.
- A Nivel regional hubo un incremento del uso de los recursos hídricos de origen subterráneo debido al desarrollo de las poblaciones urbanas y rurales y al fuerte incremento de las actividades agrícolas e industriales en la región de la Cuenca.
- El principal uso de las aguas subterráneas en la Cuenca del Plata es el abastecimiento para agricultura, público e industria.

Proyecto Piloto Demostrativo (PPD) en la Cuenca del río Quaraí/Cuareim. Se puede citar una innumerable actividad de adquisición de datos primarios, con destaque de campañas de sondeos Magnetoteléuricos, ensayos de bombeos, mediciones piezométricas y ejercicios de modelaje del comportamiento. El volumen de informaciones disponibles y la escala de estudio





son factores que facilitan que este piloto sea referente para toda la Cuenca del Plata. El objetivo del piloto es converger en una gestión integrada de los recursos hídricos (superficial y subterránea, así como de cantidad y calidad en el ámbito de la cuenca) La interacción con la comunidad viene siendo desarrollada con una amplia campaña de comunicación. Se destaca el trabajo conjunto de técnicos de ambos países en el desarrollo del proyecto.

Análisis Diagnóstico de los Acuífero Estudiados

Se realizó un diagnóstico transfronterizo de la problemática ambiental relacionada al agua subterránea de los principales acuíferos transfronterizos estudiados en la Cuenca del Plata. Sobre la base de este análisis, los principales acuíferos que requieren de atención serían las siguientes:

- Sistema Acuífero Guaraní: En la zona sur del sistema, frontera de Brasil y Uruguay, se identificó que si bien el flujo regional tiene dirección E-O, a nivel local se producía una inversión, siendo el flujo del O-E en dirección a la ciudad de Sant´ana do Livramento, Brasil. Esta modificación de flujo es producida por la explotación del agua subterránea para la cobertura del 100% de la ciudad. El mayor uso del agua subterránea acompaña el normal crecimiento de las ciudades, pero trae como consecuencia rebajamiento de niveles, que muchas veces hacen que pozos de abastecimiento público deban ser abandonados, siendo reemplazados con la construcción de nuevos pozos más profundos. Es un problema ambiental por el rebajamiento de niveles de agua, económico por los costos que implica nuevas perforaciones y al mismo tiempo social porque repercute en la economía familiar al elevar las tarifas. En la frontera entre Argentina y –Uruguay, la construcción de pozos termales sin mantener una distancia mínima (establecida por los estudios del SAG en 2.000 metros), para evitar la interferencia entre los mismos, podría acarrear disminución de caudales, de temperaturas y el comercio termal podría tener grandes pérdidas. Debido a esto en Uruguay ya existe una legislación al respecto y actualmente se está trabajando en el modelo matemático que elaboró en su momento el SAG y que actualmente está siendo actualizado en la Universidad de la República (UDELAR).
- Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño – SAYTT: el área de afectación para trabajar a nivel transfronterizo estaría asociada al río Pilcomayo en las localidades de Misión La Paz (Ar), La Esmeralda (Bo) y Pedro P. Peña (Py) por riesgo de contaminación y salinización. También la zona comprendida entre Gral. Garay (Py) y Villamontes (Bo). (Ayuda memoria de Reunión del Subcomponente II.3 Aguas Subterráneas, de fecha 28 y 29 de octubre de 2014).
- Acuífero Adrián Jara (Cretácico): hay gran explosión agrícola ganadera que se está produciendo sin ningún control y podría ser también un punto de descarga hacia el Pantanal.





Principales Recomendaciones:

En términos generales, las principales recomendaciones que surgen del análisis desarrollado son los siguientes:

- Complemento a los estudios ya realizados y al monitoreo de las aguas, tanto en calidad como en cantidad. Comenzar con áreas piloto, como ejemplo en la cuenca del Quaraí/Cuareim y otras.
- Uso sustentable de las aguas subterráneas, con base en estudios específicos en áreas representativas, principalmente enfocados a la posible sobreexplotación del acuífero. Integrar metodologías hidrológicas e hidrogeológicas que sirvan de base para la gestión integrada de los recursos hídricos (experiencia del proyecto demostrativo Quaraí/Cuareim).
- Protección de acuíferos, mediante acciones puntuales de protección de pozos y acciones preventivas de control del uso del suelo y la zonificación de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación en áreas de recarga.
- Implementación de instrumentos de gestión, mediante una red de monitoreo, construcción de una base de datos e informaciones asociadas a la cartografía de los acuíferos y un programa de comunicación social dirigido principalmente a los usuarios del agua subterránea (prestadores, operarios, etc.) y público en general.
- Realización de estudios en áreas potencialmente críticas, que son aquellas en las que la densidad de pozos existentes y los volúmenes extraídos indican una sobreexplotación del acuífero o un área donde se desarrollan actividades potencialmente contaminantes.
- Estudios de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en áreas con estrés hídrico, como en las pequeñas cuencas hidrográficas que se encuentran sobre las grandes extensiones de las Cuencas de los Acuíferos Guaraní, Serra Geral y Baurú.
- Estudio de seguridad hídrica en cuenca piloto en el SAYTT que por su extensión, complejidad y situación ambiental, justifica la implementación de una cuenca piloto representativa, escogida de común acuerdo entre los tres países (Argentina, Bolivia y Paraguay).
- Protección contra la contaminación a escala regional y local (municipal). A escala regional para evaluar el peligro de contaminación de un acuífero en un lugar determinado por medio del análisis integrado. A escala local (municipal) para la delimitación de perímetros de protección de pozos y otras obras de captación de aguas subterráneas, en las que son establecidas restricciones a la ocupación por actividades potencialmente contaminantes.





1. ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS.

Se considera un acuífero como transfronterizo, cuando los efectos físicos, químicos o biológicos en el mismo, se reflejan en aspectos de interés común de dos o más países.

La Asamblea General de las Naciones Unidas durante su 63° periodo de sesiones adoptó por consenso, el jueves 11 de diciembre de 2008, la Resolución A/RES/63/124 relativa a la Ley de Acuíferos Transfronterizos, al igual que expresó su agradecimiento al PHI de la UNESCO por su contribución a la Comisión de Derecho Internacional de las Naciones Unidas (UNILC) en la preparación de los Artículos de esta Ley.

Todos los 19 artículos de la Ley de Acuíferos Transfronterizos, preparados por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO y la Comisión de Derecho Internacional de las Naciones Unidas, han sido endosados por la Asamblea General de la ONU en Nueva York en su 63° periodo de sesiones, el 11 de diciembre de 2008.

La resolución recomienda a los Estados interesados a “concertar los correspondientes arreglos bilaterales y regionales para la adecuada gestión de sus acuíferos transfronterizos sobre la base de los principios enunciados en el proyecto de artículos”, los cuales son anexos a la Resolución. Estos principios incluyen la cooperación entre Estados para prevenir, reducir y controlar la polución de los acuíferos compartidos. En vista de la importancia de éstos “recursos invisibles”, los Estados están invitados a considerar el proyecto de artículos como una base para la elaboración de una convención.

(<http://www.un.org/es/ga/63/resolutions.shtml>).

2. ACUÍFEROS EN LA CUENCA NO INCLUIDOS EN ESTA FASE.

La Cuenca del Plata por su gran extensión, contiene una serie de acuíferos, distribuidos en los territorios de los cinco países que la contienen, que son Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, que en esta fase del Programa Marco no han sido estudiados.

Algunos de estos acuíferos son transfronterizos (compartidos por dos o más países), muchas veces con una superficie tan pequeña para la Cuenca que prácticamente no figuran en los mapas regionales generados, por las escalas empleadas. No obstante, por su ubicación geográfica y características hidrogeológicas se convierten en estratégicos para el desarrollo socio económico interno del país o región que lo contenga.

Argentina y Uruguay comparten el Sistema Acuífero Transfronterizo Salto-Salto Chico (26S Ar-Uy – ISARM Américas), ubicado al Noreste y Centro de las provincias de Entre Ríos y Corrientes en Argentina y al Oeste de los Departamentos de Salto y Artigas en Uruguay.

En el área habitan aproximadamente unas 760.000 personas (libro 3 de ISARM, datos del 2007), cuya demanda de agua es creciente, especialmente para riego de arroz en Argentina y de cítricos en Uruguay. El perímetro es de 799,28 km y el área de 31.704,15 km². El acuífero se encuentra alojado en las formaciones Salto Chico en Argentina y Salto en Uruguay. Las litologías corresponden a areniscas medias hasta gruesas, de origen fluvial y edad terciaria, exhibiendo cimentación por silicificación posterior.

El acuífero es de alto rendimiento, libre, semi libre a confinado. Las áreas de recarga se ubican en afloramientos y a través de afluentes del Río Uruguay y otros cursos menores. La transmisividad es de 1200 mm²/día y la permeabilidad de 43 m/día.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



Las aguas son de muy buena calidad, del tipo bicarbonatadas sódicas. La extracción del lado argentino registra 200.000.000 m³ /año, preferentemente para riego de arroz.

El acuífero es de gran importancia regional para el desarrollo económico del sector agropecuario (uso consuntivo).

Bolivia comparte con Paraguay en el norte del Gran Chaco sudamericano, el llamado Sistema Acuífero Agua Dulce (16S Bo - Py, ISARM Américas). Dicho acuífero en territorio paraguayo es denominado Acuífero Adrián Jara.

Brasil comparte con Paraguay el Sistema Acuífero Transfronterizo Aquidauana – Aquidabán (19S Br - Py, ISARM Américas), de mucha importancia socio económico para la región. Tiene una superficie aproximada de 27.000 km², de los cuales en Brasil solamente se encuentran 14.600 km² y el restante 12.300 km² en Paraguay. Se presenta en forma de una faja continua de dirección NE-SO.

Es un acuífero de tipo confinado a semiconfinado, constituido por sedimentos con intensa intrusión y variaciones faciologías glacial, fluvio-lacustre, con caudales medios extremadamente variables, entre 10 a 20 m³/h/pozo. Presenta también cualidades químicas variables.

No hay información sobre la dirección de flujo, siendo necesario realizar estudios isotópicos, también de las de áreas de recarga, extracción y variaciones de niveles de agua.

Paraguay, por estar en el centro de la Cuenca, contiene varios acuíferos que son transfronterizos, siendo los más importantes, los que se citaron en párrafos anteriores.

3. PRINCIPALES ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LA CUENCA.

Como se describe en el capítulo anterior, en la Cuenca del Plata existen muchos acuíferos transfronterizos, que han sido inventariados por el Programa ISARM Américas de UNESCO/OEA.

No todos esos acuíferos fueron estudiados en esta fase del Programa Marco, por diferentes motivos. Ya sea porque algunos habían sido estudiados en detalle por proyectos específicos, como el caso del Sistema Acuífero Guaraní (SAG), que tuvo una duración de 6 años, con muy buenos productos y otros no se pudieron considerar por cuestiones de escala, ya que eran “pequeños” para el tamaño de la Cuenca.

El componente II.3 de Aguas Subterráneas del Programa Marco se subdividió en 2 Actividades, para una mejor ejecución del mismo. Así tenemos:

Actividad II.3.1 “Gestión sustentable del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño - SAYTT”

- El Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT), es compartido por Argentina, Bolivia y Paraguay. En este sistema acuífero se han realizado una serie de estudios complementarios debido a la falta de información existente y cartografía adecuada.

Actividad II.3.1 “Acuíferos transfronterizos y lineamientos para la gestión integrada superficial-Subterránea de la Cuenca del Plata”.





Los acuíferos transfronterizos que fueron incluidos en este proyecto son:

- Sistema Acuífero Serra Geral, compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.
- Sistema Acuífero Pantanal, compartido por Bolivia, Brasil y Paraguay
- Sistema Acuífero Baurú – Caiuá – Acaray, compartido por Brasil y Paraguay.
- Sistema Acuífero Agua Dulce, compartido por Bolivia y Paraguay.

También en este Componente II.3, se trabajó en un Proyecto Piloto Demostrativo (PPD). Este proyecto piloto ha sido seleccionado en la fase de preparación del Programa Marco.

- Proyecto Piloto Demostrativo (PPD) en la Cuenca del río Quaraí/Cuareim, cuenca compartida por Brasil y Uruguay. Se puede citar una innumerable actividad de adquisición de datos primarios, con destaque de campañas de sondeos Magnetoteléuricos, ensayos de bombeos, mediciones piezométricas y ejercicios de modelaje del comportamiento. El volumen de informaciones disponibles y la escala de estudio son factores que facilitan que este piloto sea referente para toda la Cuenca del Plata. El objetivo del piloto es converger en una gestión integrada de los recursos hídricos (superficial y subterránea, así como de cantidad y calidad en el ámbito de la cuenca) La interacción con la comunidad viene siendo desarrollada con una amplia campaña de comunicación. Se destaca el trabajo conjunto de técnicos de ambos países en el desarrollo del proyecto.

3.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL PROCESO ⁽¹⁾.

Para entender el Programa Marco del Comité Intergubernamental de la Cuenca del Plata (PMarco-CIC) y la componente de Aguas Subterráneas es interesante realizar un recorrido retrospectivo hacia el comienzo del mismo.

Podemos citar que en ocasión del IV Diálogo Interamericano para la Gestión del Agua en el año 2001, los países de la Cuenca del Plata consolidaron la necesidad de preparar un programa conjunto para avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) de la Cuenca. A partir de esta iniciativa y en el contexto del Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC), se inició el Programa para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca, buscando desarrollar un marco de referencia con el fin de: i) contar con un marco de actuación coordinada, para proyectos de interés común de los países de la Cuenca del Plata; ii) realizar proyectos en el área de gestión de recursos hídricos y seleccionar acciones concretas priorizadas adecuadamente; iii) destacar, la importancia que tienen los problemas de inundaciones y de sequías en la Cuenca, entre otros; iv) definir la gestión sostenible de los recursos hídricos, promoviendo el desarrollo de iniciativas de interés regional, identificadas como prioritarias por dos o más países y v) tomar en cuenta el Tratado de la Cuenca del Plata, incluyendo su sistema institucional y sus actividades vinculadas al proyecto, para evitar duplicaciones, complementando y colaborando con el marco existente del CIC.

Para ese fin, el CIC solicitó al Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM/GEF) el apoyo de un Bloque A (PDF-A) para identificar el proyecto, y de un Bloque B (PDF-B) para la preparación del Programa Marco de Acciones Estratégicas para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca (PMAE). En este contexto, los países además utilizaron recursos propios y otros esfuerzos de cooperación convenidos con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Fondo Financiero para el Desarrollo de la Cuenca del Plata (FONPLATA).



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



El desarrollo del Bloque B del Programa Marco -noviembre de 2003 a diciembre de 2005- permitió, mediante un proceso participativo consolidado en cada país, consensuar las acciones que serían incluidas en la siguiente etapa.

Así fueron definidas las actividades a ser desarrolladas en esta segunda fase del Programa Marco CIC, las que fueron ajustadas en un taller muy importante en la Ciudad de Foz de Yguazú (Brasil), con una amplia participación de referentes todas las áreas temáticas involucradas y donde se actualizaron todas las informaciones de los diferentes grupos. La nueva información generada/aportada por los países, fue sistematizada por consultorías específicas, contratadas a esos efectos.

A partir de la actualización de la información existente, se coordinaron por parte de la Unidad de Coordinación del Proyecto (UCP), reuniones de trabajo donde se formalizó el Grupo Temático Aguas Subterránea (GT).

La primera reunión se desarrolló en Itaipú binacional margen derecha a mediados de noviembre de 2011, con participación de los representantes de los cinco países.

El objetivo general de la reunión fue consolidar la estructura de ejecución del proyecto y el involucramiento directo de los países en el marco de las Unidades Nacionales de Proyecto (UNP), las cuales se organizaron por grupos temáticos. Como objetivo específico se elaboró el cronograma físico – financiero del 2012 y los mecanismos de ejecución a aplicar. Lo más resaltante de esta reunión fueron los acuerdos logrados en relación a los lineamientos de ejecución. Los mismos fueron:

- Con relación al mapa hidrogeológico de la Cuenca del Plata se acordó que la escala de trabajo para la caracterización de los acuíferos es escala 1:1.000.000 y presentación del mapa síntesis será escala 1:2.500.000.
- Con relación a la actividad II.3.2.a (Acuíferos transfronterizos y lineamientos para la gestión integrada agua superficial – agua subterránea en la Cuenca del Plata), Brasil se comprometió a elaborar una ficha para la recopilación de información y Argentina lo hace para el componente el SAYTT, para antes de fin del 2011 a los efectos de llevar a cabo el análisis y diagnóstico hidrogeológico transfronterizo de toda la Cuenca).
- Con relación a la actividad II.3.1 (Actividad Prioritaria “Gestión Sustentable del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño – SAYTT) ejecución del SAYTT se acordó preparar las bases técnicas de términos de referencia para realizarla. Los representantes acordaron realizar un análisis / Diagnóstico Hidrogeológico transfronterizo de toda la Cuenca.
- Se propuso una reunión en la ciudad de Salta, Argentina para marzo 2012 para definir entre otras cosas los límites del sistema acuífero SAYTT.
- El grupo también recomienda contemplar los conocimientos adquiridos en el Proyecto demostrativo Quaraí/Cuareim (PPD Q/C).

El segundo taller del GT aguas subterráneas se llevó a cabo en la ciudad de Salta, Argentina en marzo de 2012. Este taller fue fundamental porque se definieron varios temas de suma importancia para el desarrollo del proyecto SAYTT. Entre los puntos acordados por los países podemos citar:

- Acuerdo por parte de los representantes de los 3 países que contienen el SAYTT, sobre la delimitación preliminar del área de estudio (área de trabajo). Este límite preliminar estaría



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



dado al oeste por el Sistema Subandino. Se haría el estudio por el norte hasta la zona de influencia del río Parapetí en Bolivia, de ahí se bajaría hasta el paralelo 20 en Paraguay. El límite del área al este sería el río Paraguay y hacía el sur la zona de influencia es el río Bermejo, afloramiento de Las Piedritas con una línea difusa hacia el oeste.

- Se recordó que el Programa Marco se desarrolla sobre la base 1:250.000 como continuación del trabajo acordado en el Proyecto del Sistema Acuífero Guaraní y que para ello se contrataría una empresa que complete el área de la cuenca, que el GT Aguas Subterráneas tiene como antecedente el mapa hidrogeológico de la Cuenca del Plata a Esc. 1:2.500.000, la Universidad Nacional de Salta tiene mapeado el área a Esc. 1:500.000.
- Se acordó que se utilicen los estándares metodológicos de los mapas transfronterizos del MECOSUR y que la escala de trabajo sería de 1:500.000 y de impresión 1:1.000.000.
- Con relación al estudio socioeconómico de la región del SAYTT, se define que pase para más adelante.
- En este taller también se acordaron puntos importantes para a la actividad II.3.2.a, entre los que podemos citar:
 - ✓ análisis diagnóstico hidrológico en toda la cuenca, caracterización preliminar de los acuíferos transfronterizos (recopilación de datos existentes, caracterización del acuífero Serra Geral, mapeo de fracturas de los basaltos y diabasas a través de interpretación de imágenes satelitales, inventario de pozos y elaboración del mapa Serra Geral a escala 1:1.000.000, caracterización preliminar y elaboración del mapa hidrogeológico del acuífero Baurú-Caiuá-Acaray a escala 1:1.000.000,

En general se remarcó la necesidad de preservar las autorías de los trabajos de grupo.

Posteriormente se realizaron una serie de reuniones de trabajo para ir ajustando las fechas y productos, en función de los datos obtenidos. En Río de Janeiro se realizó una reunión importante en el sentido de que se les involucró a los Servicios Geológicos de los 5 países y tuvo también la participación también de la representante de ISARM Américas – UNESCO, con quien se acordó posibles áreas de cooperación conjunta, en base a los productos obtenidos por el Programa Marco.

En agosto de 2013 se realizó una reunión de los representantes de los tres países del SAYTT, para ver los avances logrados y definir los términos de referencia para elaborar el estudio socio económico del SAYTT y las bases del mapa geológico e hidrogeológico integrado, actividad que realizaría el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), como así también se definió como se elaboraría el texto explicativo del mapa. Escala de trabajo 1:500.000 y de impresión 1:1.000.000.

En octubre de 2013 se realizó un taller de trabajo en SEGEMAR donde se ajustaron los límites definitivos del SAYTT de la siguiente manera:

- ✓ De acuerdo al concepto definido en el taller de Salta de roca dura – roca blanda, a partir el mayor conocimiento y grado de definición alcanzado durante las etapas previas del trabajo realizado en el marco del proyecto. Límite Norte como Cuaternario, Triásico y Carbonífero (Paraguay). Se incluyó al campo de dunas del paleodelta del río Parapetí. Límite Oeste se ajustó al contacto de las unidades aflorantes con el Cuaternario en la vergencia oriental del piedemonte de Sierras





Subandinas (Bolivia y Argentina), Sistema de Santa Bárbara y NE de Sierras Pampeanas (Argentina). Límite Sur se ajustó según la misma definición tomando el cauce del río Salí, excluyendo las Lomadas de Otumpa y continuando hacia el Este por el Cuaternario. Como límite oriental se mantienen los ríos Paraguay y Paraná.

También se acordó sobre los formatos de ploteo, autorías, título del mapa, etc.

Los siguientes talleres de trabajo fueron para ir ajustando los productos en base a lo acordado y a la información obtenida. No obstante, se realizaron dos talleres muy importantes. Uno en la ciudad de Recife, Brasil, en setiembre de 2013, donde se presenta la metodología para el desarrollo de los mapas hidrogeológicos, encartes y se entregó un manual de atributos para aplicarlos a la metodología. Se presentó la geodatabase a ser empleada por los cinco países y se definen los temas de los encartes a ser elaborados. De aquí surge la necesidad de otra reunión para cerrar estos temas. La misma se realizó en San Pablo, Brasil. El otro taller se realizó en la ciudad de Río Claro, San Pablo, en el Centro de Estudios Ambientales – UNESP. Aquí se terminaron de definir los encartes a ser elaborados y se ajustaron los detalles finales para los productos a ser generados y que serían presentados en una última reunión de trabajo a fines de octubre de 2014.

⁽¹⁾ **Ayuda memoria de las reuniones del GT Aguas subterráneas- Programa Marco – CIC.**

3.2 SISTEMA ACUÍFERO YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO - SAYTT.

El SAYTT es compartido por los tres países del Gran Chaco Sudamericano que son Argentina, Bolivia y Paraguay.

Es un sistema acuífero que en esta fase del Programa Marco ha sido estudiado en mayor detalle que los otros acuíferos seleccionados, debido a la falta de información existente, ya sea de pozos, como calidad y cantidad de agua, falta de mapa geológico digital en el territorio paraguayo, como también la falta de una delimitación del área de ocurrencia. Existían una serie de mapas tanto en el marco de ISARM América, como otros proyectos, pero los límites eran diferentes, entre ellos. En el año 2013 en la ciudad de Salta, Argentina recién se pudo definir un área de trabajo del SAYTT (Fig. 1), donde se realizaron los estudios correspondientes. Debido a esta falencia se realizaron varias contrataciones específicas para desarrollar la geología y un informe socio productivo integrado. Aquí presentamos un resumen de dichos trabajos.

3.2.1 Geología. (*Gulisano Francisco, 2014*),

Desde el punto de vista de la geología se puede describir que se desarrolla a lo largo de las provincias geológicas de las Sierras Subandinas de Bolivia y Argentina y las cuencas Cretácica del Noroeste (Argentina), Chaco Boliviano, Paraguay Occidental y Chaco Paranaense (Argentina). Asimismo es limitado por las provincias geológicas de Cordillera Central y Oriental, (Bolivia), Paraguay Oriental y el Escudo Brasileño y la Cuenca de Paraná (Brasil).

Las Sierras Subandinas representan la faja más externa del Orógeno Andino para las latitudes comprendidas entre los 18° y los 23°30' de la latitud sur (considerando el Subandino Sur Boliviano y su correlación con las Sierras Subandinas de Argentina), ubicándose entre la Cordillera Oriental, desarrollada al oeste y la llanura Chaqueña situada hacia el este. La estructura aflorante característica de las Sierras Subandinas está conformada por rocas paleozoicas a cenozoicas y corresponde a anticlinales estrechos, concéntricos, bastante apretados. Estos se alinean en ejes estructurales que pueden alcanzar varios centenares de kilómetros de longitud y se encuentran separadas por sillitas estructurales y, a veces, por el



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



La cuenca Chaco Paranaense en el SAYTT tiene registros desde el Precámbrico constituido por plutonitas y metamorfitas y siendo depositaria de distintas secuencias sedimentarias paralelas a las de la cuenca Paraná desde el Cámbrico Superior hasta el Cenozoico. A partir de fines del Paleógeno se desarrolla un depocentro, en el sector occidental de la antigua cuenca de Paraná: el norte de la llanura Pampeana, la llanura Chaqueña (correspondiente en líneas generales al área argentina del SAYTT), el Chaco Paraguayo, y la región del Pantanal.

En tanto que el sector oriental de la cuenca de Paraná no registró sedimentación de importancia desde finales del Cretácico. El sector ubicado al oeste del río Paraguay y de la Mesopotamia Argentina, comenzó su subsidencia hacia fines del Oligoceno (con dos periodos de máxima subsidencia en el límite Oligoceno-Mioceno y en el Mioceno Medio), en relación con la tectónica andina, que continuó a altas tasas durante todo el Neógeno. Como consecuencia se depositaron una serie de unidades marinas y continentales, que en su mayor parte están registradas solamente en el subsuelo.

Las unidades aflorantes en el área del SAYTT se depositaron a partir del Cretácico Superior, Neógeno y Cuaternario. Las unidades geológicas aflorantes en el SAYTT son de importancia hidrogeológica y responden a unidades geomorfológicas (depósitos de bajada aluvial, depósitos aluviales fluviales y palustres, abanicos aluviales, paleocauces, planicies aluviales y depósitos loésicos y evaporíticos). (*Gulisano Francisco, 2014*),

3.2.2 Importancia socio económica. (*Couyoupetrou, 2014*).

El SAYTT representa uno de los más importantes reservorios de agua dulce transfronterizas y de agua subterránea 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.

Dentro de los estudios realizados en este sistema acuífero, podemos citar el INFORME SOCIO PRODUCTIVO INTEGRADO del SAYTT, elaborado por el Lic. Luis Mario Couyoupetrou y la colaboración del Ing. Eduardo B. Machado. Aquí se presenta una síntesis de este informe.

Cada uno de los países que contienen el acuífero, le ha dado un nombre para identificarlo dentro de su territorio. Así tenemos que:

Argentina: Acuífero Toba (T)
Bolivia: Acuífero Tarijeño (T)
Paraguay: Acuífero Yrendá (Y).

Desde el punto de vista de la integración hidrogeológica se le ha denominado en común acuerdo entre los tres países: Sistema Acuífero Yrendá – Toba – Tarijeño (SAYTT).

El SAYTT es un sistema acuífero de gran importancia regional por las expectativas existentes en una región con escasez de agua, clima semi-árido y con otros acuíferos donde su oferta es de agua salobre o salada, no aptas para consumo humano o producción agropecuaria. Su conocimiento y posterior gestión sustentable favorecería una correcta gestión del suelo que, innegablemente los servicios que brindan ambos recursos naturales se integran para el desarrollo de la región.





Las rocas asignadas al Cuaternario que afloran en la región del SAYTT se extienden por unos 521.904 km², distribuidos entre los siguientes países por orden de superficies: Argentina: 303.220 km² (58,1 %), Paraguay: 196.988 km² (37,7 %) y Bolivia 21.696 km² (4,2 %). (GULISANO 2014).

En la Argentina, el Sistema Acuífero Toba está presente en el territorio de 5 provincias (Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Salta y Tucumán).

En el Estado Plurinacional de Bolivia, el Sistema Acuífero Tarijeño abarca tres departamentos Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija. En el Departamento de Santa Cruz, desde el Río Parapetí hasta el límite con Paraguay. En Chuquisaca la provincia de Hernando Siles. En Tarija la provincia del Gran Chaco.

En Paraguay el Sistema Acuífero Yrendá se ubica en tres departamentos Boquerón, Pte. Hayes y Alto Paraguay).

El área de estudio del SAYTT, está incluida en su totalidad, en la ecorregión del Gran Chaco Americano, teniendo en los tres países características geográficas y ambientales similares, incluso toponímicas.

3.2.2.1 Ríos más importantes en el SAYTT.

- el río Pilcomayo, con una superficie de 272.000 km² (Aprox. 8.4% de la cuenca del Plata). Es el límite natural entre Argentina - Bolivia y Argentina - Paraguay. Este río se caracteriza por su divagar permanente debido al gran volumen de sedimentos que transporta. Esto ha creado a través de miles de años un gran delta continental, con ápice en la triple frontera y su máxima abertura sobre el río Paraguay desde Bahía Negra en territorio paraguayo, hasta la ruta 81 en la provincia de Formosa, la cual ha quedado prácticamente como una divisoria de las cuencas del Pilcomayo y del Bermejo. A este gigantesco abanico aluvial, podríamos dividirlo en dos tipos de morfología. Al norte en territorio paraguayo se ha formado una densa red de paleocauces desactivados-colmatados, que hoy constituyen una de las fuentes de provisión de agua para consumo humano. Estos paleocauces presentan una recarga directa de agua de lluvia y desde hace unas décadas atrás se está realizando en la zona la recarga artificial de ese acuífero freático, suprayacente al SAY. Por otro lado, hacia el sur se presentan una serie de riachos y ríos que constituyen la red activa de paleocauces y cauces nuevos. Todos los cursos de agua finalmente descargan al río Paraguay que es el gran receptor de todas las aguas que descienden desde el oeste, en dirección a los Andes. La superficie de este gran paleodelta continental es de unos 200.000 km², ubicados casi totalmente en territorio paraguayo.
- El río Bermejo se desplaza de NNO a SSE teniendo sus nacientes en el Estado Plurinacional de Bolivia en los contrafuertes de la cordillera Oriental de ese país. Se forma en la confluencia de los ríos Condado y Bermejo Chico, de cuya unión resulta el alto Bermejo al unirse con el río Grande de Tarija, constituyendo ambos la frontera internacional entre Argentina y Bolivia. Desde Junta de San Antonio, sitio donde ingresa al territorio argentino el Bermejo corre con dirección NO - SE y recibe todos los afluentes por su margen derecha; entre éstos, el más caudaloso es el río Pescado, que nace en las sierras de Santa Victoria a 4000 m de altitud y cuyo afluente principal, el río Iruya, se destaca por la importancia de su caudal sólido; otros afluentes en esta margen son los ríos Blanco o Zenta y el Santa María - Colorado. A partir de la Junta de San Francisco, el Bermejo ingresando en el área de estudio del SAYTT se caracteriza como típico río de llanura, que recorre con dirección NO - SE la gran planicie chaqueña hasta desembocar en el río Paraguay a una altitud de 41 m; en este tramo recorre por sus cauces aproximadamente





1300 km con una pendiente media comprendida entre 0,20 y 0,15 por mil. El coeficiente de tortuosidad medio en este tramo es de 1,8. (Fuente: OEA. Secretaría General. Cuenca del Río de la Plata - Estudio para su Planificación y Desarrollo - República Argentina - República de Bolivia - Cuenca del Río Bermejo I - Alta Cuenca Subsecretaría de Recursos Hídricos – Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, en Couyoupetrou, 2014).

- El río Salado nace en las estribaciones orientales de la cordillera de Los Andes, dentro de la provincia de Salta. Su fuente principal se encuentra en la Sierra de los Pastos por lo que su régimen presenta crecientes estivales provocadas por las lluvias en su alta cuenca, desembocando en el río Paraná en la Provincia de Santa Fe. Al comienzo el río en su recorrido por Salta se forma por los ríos Santa María (Cafayate), luego se encuentra con el río Guachipas y al unirse al río Arias, se le da el nombre de Juramento o Salado Norte; al entrar en la provincia de Santiago del Estero se comienza a llamar Río Salado hasta su desembocadura. El recorrido del Río Salado dibuja una diagonal que atraviesa desde el noroeste hasta el este de la zona central, del país, por ello actúa como un corredor y refugio para la biodiversidad. Por eso este río, al igual que otros, es un verdadero “oasis” de vida cuando corre a través de paisajes secos o semiáridos. (Couyoupetrou, 2014).
- El río Dulce, marca parte del límite sur del área de estudio del SAYTT y es el más importante de la provincia de Santiago del Estero. Sus nacientes se encuentran en las cumbres calchaquíes en el límite entre Salta y Tucumán, en su primer tramo toma el nombre de Salí y al ingresar a la Provincia de Santiago del Estero, toma el nombre de Río Dulce, inundando el Dique Frontal de Río Hondo, en su recorrido se encuentra el dique derivador de Los Quiroga, base del Sistema de Riego del Área del río Dulce, los excesos de sus aguas, son derivados hacia el Río Salado, por el canal Jume Esquina. En épocas de crecidas extraordinarias tiene su desembocadura natural es la laguna de Mar Chiquita en la provincia de Córdoba. (Couyoupetrou, 2014).
- El río Parapetí, es el más al norte del SAYTT. Se ha definido preliminarmente como el límite norte del acuífero, tiene sus nacientes en el Irenda y desemboca en los bañados de Izozog. Es un río importante por el caudal de agua que puede ser utilizado para la generación de energía hidroeléctrica, riego y el desarrollo del ecoturismo. (Couyoupetrou, 2014).

3.2.2.2 Áreas protegidas.

Se puede decir que el área de ocurrencia del SAYTT, presenta todavía remanes de los bosques originales, debido a la cantidad de superficie con un sistema de áreas protegidas de importancia, con diferentes categorías de protección, ya sea internacional, nacional, provincial o privadas.

En Argentina podemos citar varias áreas protegidas en las diferentes provincias de ocurrencia del acuífero.

- ✓ Parque Nacional Río Pilcomayo, declarado sitio Ramsar, la Reserva Natural Nacional Formosa y el Bañado La Estrella, que sumado a otras áreas protegidas suman 1.270.572 Has en Formosa. En la provincia del Chaco las áreas con distinto grado de protección ocupan una superficie aproximada de 1.600.000 Has.

En Bolivia, la gran biodiversidad y riqueza paisajística presente en el área de estudio, acompañado de su vulnerabilidad al avance de los procesos productivos extractivos y





agropecuarios condujo a que se declaren distintas áreas de protección. De ese modo podemos mencionar en el área de estudio se encuentra 43.068.400 Has protegidas. Las mismas son:

- ✓ Reserva Cabo Juan, con una superficie de 2.372.400 Has en Tarija, Reserva forestal Huacaya, en la provincia Luís Calvo del Departamento de Chuquisaca, tiene una superficie aproximada de 1.100.000 Has. Parque Nacional Aguarague en Tarija, con 1.187.000 Has. Refugio de Vida Silvestre en Chuquisaca, con aproximadamente de 1.500.000 Has. Parque Nacional integrado Kaa-Iya, Departamento de Santa Cruz, con una superficie de 34.440.000 Has. Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquíá, ubicada en la región sureste del Departamento de Tarija, con extensión de 2.469.000 Has.

Paraguay cuenta con 1.684.795 Has protegidas en el Chaco, entre públicas y algunas privadas.

- ✓ Parque Nacional Defensores del Chaco, es el área protegida de mayor extensión en el Paraguay, con 780.000 has. Parque Nacional Teniente Agripino Enciso, con 40.000 has, Parque Nacional Río Negro, con 123.786 has. Monumento Natural Cerro Chovoreca, con 100.953 has. Reserva Natural Cerro Cabrera – Timane, con 125.823 has. Parque Nacional Médanos del Chaco, con 514.233 has está incluido en el Proyecto Paraguay Silvestre, que cuenta con el apoyo del GEF y el PNUD.

3.2.2.3 Pueblos indígenas originarios - agricultura – ganadería.

En los tres países existe una complejidad sociocultural. En la Argentina en la región del acuífero Toba, se tiene en el Chaco argentino se pueden identificar cinco familias: guaycurú, matakamaca, tupí-guaraní, arauc y lule-vilela. Los Tobas, Pilagás y Mocovíes. Entre los Tobas se distingue a los orientales de los occidentales, grupos que hoy habitan, respectivamente, el este de las provincias del Chaco y Formosa y la zona de Tartagal y Embarcación, en Salta. En líneas generales, los pueblos originarios de la región del acuífero, fueron mayoritariamente cazadores recolectores, pero algunos, como los Chorotes, Chiriguano y Chanés, practicaron una horticultura y agricultura incipientes.

En Bolivia, los pueblos originarios que se encuentran en esta región son los guaraníes, Weehenayek, Tapiete, Ayoreo y Chiquitanos. Cada uno de ellos con elementos culturales y sociales propios, mayormente determinados por la zona que habitan, así por ejemplo los indígenas Weehenayek que se encuentran en la llanura chaqueña en las márgenes del río Pilcomayo, tiene como principal actividad la caza, la recolección de frutos silvestres y la pesca, especialmente del sábalo. La población de los pueblos originarios en la región es aproximadamente el 3,5 % de la población total. (Fuente. Redeschaco 2012, en Couyoupetrou L, 2014).

En Paraguay, los pueblos originarios, constituyen la población originaria de la zona que anteriormente se distribuyeron en todo el Chaco. En la actualidad se encuentran reducidos a grupos aislados, o dispersos. Contrariamente a los guaraníes de la región Oriental, los originarios chaqueños no se han mezclado y como consecuencia no se ha producido mestizaje. Así tenemos: Guaraní Occidental, Guaraní Nandeva, Toba Maskoy, Entleht norte, Enxet sur, Sanapaná, Angaité, Nivaclé, Maká, Mankuy, Ayoreo, Ybitoso, Tomárahó, pertenecientes a cinco familias lingüísticas diferentes (guaraní, guaicurú, maskoy, matakamatuayo y zamuco). Es de remarcar que si bien la población de esta zona es el 3% del total del país, el porcentaje de indígenas es el 47 % del total país (112.848). Muchos de ellos viven en zonas selváticas, más o menos preservadas y se encuentran con tres tipos de situaciones en cuanto a la propiedad de la tierra se refiere: con ella en propiedad, sin título de propiedad o, directamente, sin tierra. Tomando como ejemplo la Comunidad Quom, las principales agrupaciones de este pueblo se encuentran en el este del departamento de Tarija (en Bolivia),



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



en el oeste de la provincia de Formosa, el centro y este de la provincia del Chaco (en Argentina) y en el Chaco Boreal (en Paraguay). (Couyoupetrou L, 2014).

La superficie dedicada a la agricultura en la Argentina es de alrededor de 3 millones de hectáreas. Los cultivos que caracterizaban, hasta la década del 1990, a la región del chaco argentino, eran principalmente el algodón, girasol, maíz, lino y trigo. A partir de esa década con la incorporación de paquetes tecnológicos (semilla transgénica, productos agroquímicos y siembra directa) que acompañado de los altos precios internacionales, estos cultivos han sido desplazados por la soja. En los últimos 20 años se ha acelerado esta sustitución del ecosistema boscoso con fines agrícolas y ganaderos, generando riesgos y tensiones socio/ambientales. Uno de ellos es el peligro de desertificación de las áreas más frágiles. (Couyoupetrou L, 2014).

En Bolivia, la mayoría de las fincas de la región del acuífero Tarijeño son sistemas mixtos (agrícola y pecuario), con menos de 50 hectáreas de tierra. Desarrollan agricultura de autoconsumo (maíz, batata, etc.). La fuerza laboral principal radica en la mano de obra familiar. El sistema de captación de agua se basa en aguadas ya sea individuales y grupales para uso animal, en algunos casos pozos freáticos y pozos artesiano. Medianos productores, poseen superficies adecuadas para realizar agricultura sostenible con rotación de cultivos, incorporación de cultivos de abono verde, uso adecuado de agroquímicos y prácticas de conservación de suelos, entre otras. De igual forma existen medianos ganaderos que mantienen una producción comercial de leche. Se constituyen en productores individuales y colonos menonitas. Los grandes productores, tradicionalmente, son el segmento dedicado a la explotación ganadera, que se dividen de acuerdo al tipo de producción: ganadería intensiva, semi intensiva y extensiva. Las unidades agropecuarias que se encuentran asentadas en la zona, suman alrededor de 25.700, de las cuales el 48% se encuentran en el pie de monte, el 33% en el subandino y el resto en la llanura chaqueña (19 %). La superficie cultivada es aproximadamente 40.000 Has siendo el maíz el cultivo principal que cubre casi el 70% del área cultivada. La soja, el maní y el frijol le siguen en importancia.

En la actividad pecuaria, la crianza de bovinos es la más importante puesto que tiene una población de alrededor de 450.000 cabezas. La raza principal es la criolla, la cual tiene un interesante potencial productivo no expresado por las condiciones de manejo a que es sometida.

En Paraguay la región del SAY ocupa el 61 % del territorio nacional y alberga sólo al 3 % de la población del país. La región produce algodón, maní, sorgo, soja, caña dulce. Las leyes ambientales en la región del Sistema Acuífero Yrendá, (en el chaco paraguayo) exigen a cada productor conservar entre aproximadamente 25 y 40% del monte virgen de su propiedad. Esto afecta principalmente el Alto Chaco, ya que el Bajo en su mayoría no está calificado como monte.

La producción ganadera en la región del acuífero posee condiciones adecuadas para esta actividad, las mismas se dan en diferentes situaciones y sistemas de producción, dependiendo de las condiciones naturales y los factores climáticos, edáficos, fisiográficos, hidrológicos, etc.

En los últimos cuatro años la ganadería en todo el territorio nacional, con 14.000.000 de cabezas, creció un 25 % y lo hizo casi en su totalidad en el Chaco central (6% anual). La actividad más importante es la ganadería vacuna, extensiva y actualmente se observa con más frecuencia extensiva sobre pasturas implantadas. (Couyoupetrou L, 2014).





3.2.3 Actividades y productos generados por el Programa Marco.

El Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño había sido propuesto por el Programa ISARM Américas de OEA – UNESCO (2002), como un sistema acuífero que necesitaba mayor información, dentro del componente Aguas Subterráneas. Así, en la fase de preparación del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata dentro del Comité Intergubernamental de la Cuenca del Plata (PMarco-CIC), realiza en la ciudad de Tarija, Bolivia en agosto de 2004, 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 (hoy DDS/OEA).

El principal objetivo de este taller fue el 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 (2002), por el Programa UNESCO/ISARM/OEA, como caso de estudio prioritario para la instrumentación de posibles proyectos del componente aguas subterráneas. Fue desarrollado con fondos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente de Italia, que ofreció un cofinanciamiento para el desarrollo de las diferentes actividades. Los gobiernos de Argentina, Bolivia y Paraguay a través de sus respectivas instituciones, han visto muy conveniente poder 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, se contrataron tres consultorías individuales en cada uno de los tres países para realizar el levantamiento de la información de base y una consultoría que realizó la integración de los estudios individuales. Estos documentos constituyen la 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 constituir la baseline para los trabajos realizados en esta fase actual del Programa Marco – CIC.

El objetivo definido en aquella oportunidad era 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. Los temas estudiados en esa ocasión se refirieron a las características generales del SAYTT, geología, morfología y estructuras, hidrogeología, datos socioeconómicos, marco legal e institucional. Se debe dejar en claro que estas consultorías solamente recopilaron información existente, no se realizó ninguna actividad de campo, por lo que no generó ningún conocimiento nuevo, más allá de centralizar todo en un solo informe.

Ya en esta fase del Programa Marco, en la segunda reunión realizada en la ciudad de Salta, Argentina en marzo de 2012, los tres países acordaron los límites esquemáticos del mismo, como área de trabajo y sentaron las bases que permitieron la integración cartográfica que posibilitó la realización del Mapa Geológico del SAYTT de Argentina, Bolivia y Paraguay integrado en escala 1:1.000.000, para ser impreso en escala 1:2.000.000 (Fig. 2).

Como Paraguay no tenía un mapa geológico digital del área chaqueña del acuífero Yrendá, se contrató una consultoría específica por parte de la Secretaría del Ambiente (SEAM) de Paraguay, que realizó esta actividad y posteriormente el Servicio Geológico y Minero (SEGEMAR) de Argentina, fue el responsable de la integración geológica del SAYTT, con la información ya existente de Argentina y Bolivia. Se debe aclarar que la consultoría para digitalizar la geología en territorio paraguayo, no contemplaba la actualización de la información, motivo por el cual el mapa geológico presentado tomó como base el mapa geológico oficial del Paraguay del año 1986.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



Al tiempo que se iba desarrollando el Programa Marco, iban apareciendo vacíos de información para elaborar el mapa hidrogeológico del SAYTT y otras actividades complementarias propuestas. Esto fue debido principalmente a la falta de una base de datos en los países sobre la información de pozos existentes, calidad del agua, usos, etc. Muchos de los pozos existentes no estaban registrados, lo cual obligó a realizar recorridos de campo para identificarlos, georreferenciarlos, etc. Así se realizan nuevas consultorías en los tres países para recabar la información faltante. En el caso de Argentina por ser un país federal, se realizó esta actividad por provincias, mientras que en el caso de Bolivia y Paraguay que poseen gobiernos centrales, se realizó regionalmente.

Los trabajos de campo y gabinete incluyeron levantamiento de datos de pozos con coordenadas, muestreo de pozos seleccionados para toma de muestras de agua y posterior análisis físico- químico e isotópico.

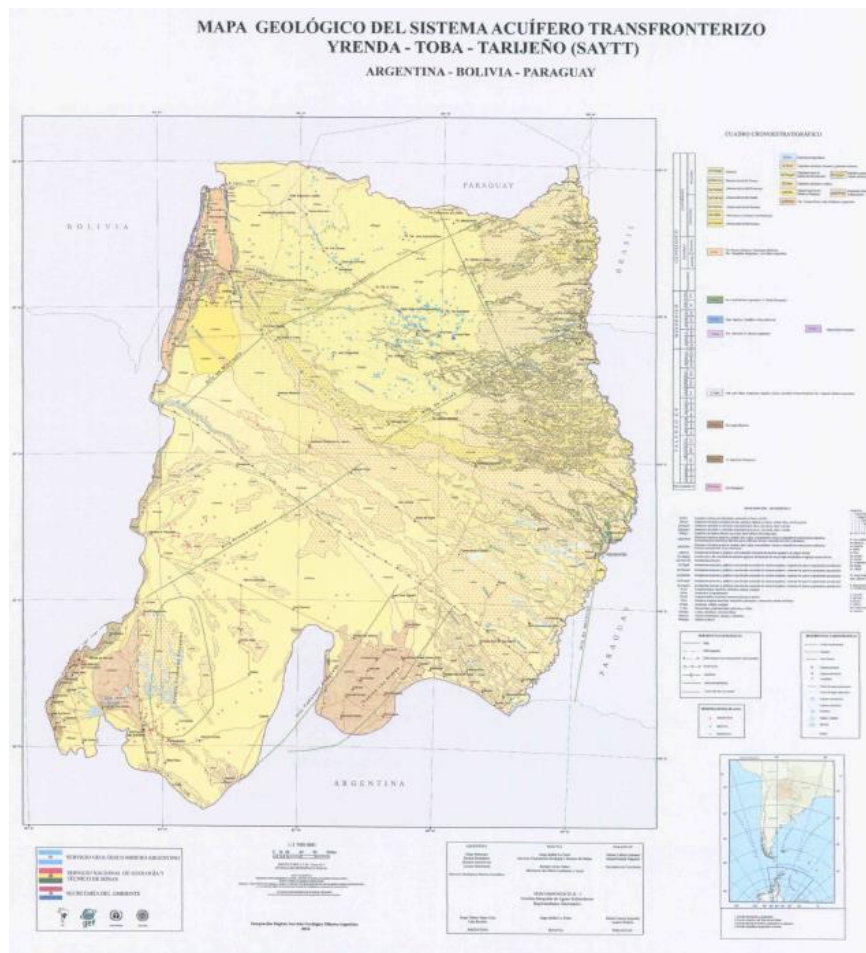


Fig. 2 Mapa Geológico del SAYTT 2014





De todas estas actividades llevadas adelante por el PMarco, se definirá una futura red de monitoreo del acuífero en los tres países, se elaboró en cada país el mapa hidrogeológico, el cual posteriormente será integrado en una sola base de datos cartográfica. Esta actividad a la fecha no está concluida. Argentina propuso realizar dicha actividad.

3.2.3.1 Síntesis de los productos en Argentina y caracterización del acuífero Toba.

Como ya hemos citado, la información presentaba una gran dispersión geográfica de los datos básicos necesarios de la geología y agua subterránea y la necesidad de su coordinación y compatibilización entre los tres países del estudio. En Argentina en esta fase de recopilación de información bibliográfica y de campo, se trabajó con consultores Juniors en cada provincia que contiene en el subsuelo al acuífero Toba, quienes a su vez trabajaron muy de cerca con las autoridades de agua provinciales. Todas las actividades realizadas mediante estas cortas consultorías a nivel de las provincias, fueron coordinadas e integradas por una consultoría Senior, que tuvo la tarea de apoyar al grupo de Gestión Integrada de Aguas Subterráneas, mediante la vinculación de los profesionales y las instituciones de cada provincia, capacitando técnicamente a los profesionales junior involucrados en el Programa, como así también la vinculación y contacto con los otros dos países del SAYTT, Bolivia y Paraguay.

Realizó también la coordinación, compatibilización y efectivizó, junto con el Representante Técnico del Grupo, el seguimiento de la revisión de antecedentes geológicos y recolección de información de perforaciones de aguas subterráneas existentes en cada provincia Argentina.

Considerando que este trabajo en Argentina se llevó a cabo por provincias, describiremos una síntesis de los principales productos obtenidos, como resultado del PMarco-CIC.

- ✓ Santiago del Estero, se confeccionaron 142 fichas con datos de perforaciones además de un informe de SEGEMAR, con 29 perforaciones de carácter termal, abarcando el territorio provincial, de forma homogénea. Se realizó mapa con la ubicación de los 142 pozos catastrados. Las fichas tienen descripción hidrogeológica como litología, niveles, caudales, etc. y avanza notablemente en cuanto a la actualización de información del SAYTT. (Galindo Griselda, 2013). Los informes presentados por el consultor junior, contienen una serie de bibliografías existentes actualizada, de interés para el entendimiento del funcionamiento hidráulico y los diferentes ambientes hidrogeológicos que se presentan en el ámbito provincial.

La Provincia cuenta con su mapa hidrogeológico, además una serie de bibliografías existentes actualizada, cuenta además con estudios de perforaciones profundas, que permitieron realizar perfiles litológicos del subsuelo de la provincia, de SO a NE y de NO a SE, realizadas por la Dirección Nacional de Minería y Geología. Las perforaciones no sobrepasan los 150 m de profundidad, obteniéndose caudales de explotación entre 300 a 400 m³/h. Los caudales específicos (Qe) varían entre los 20 m³/h.m a 70 m³/h.m dependiendo de la cantidad de filtros y posición de la captación. Los NE están en el orden de los 4.5 m a los 7.8 m de profundidad. En la dirección del flujo se incrementa el porcentaje del ión SO₄, siendo la salinidad de los acuíferos captados en el orden de los 550 mg/l a unos 960 mg/l. El acuífero freático, existente en el cono aluvial se ubica entre los 3 m a los 10 m de profundidad, siendo en general de buena calidad química, pero en gran parte del cono es de características saladas a salobres. Además en los acuíferos superiores incluido el freática, los valores de Arsénico, sobrepasan los aptos para consumo humano, micro elementos que disminuyen con la profundidad. (Galindo Griselda, 2013). El inconveniente que se presentó aquí fue la fecha de las perforaciones que datan desde inicios del siglo





pasado y las más actuales son de 1950. Esto hace que la información recabada en esta fase no sea actual, de ahí la importancia del relevamiento de campo realizado por técnicos del Segemar.

- ✓ En la provincia de Tucumán se logró inventariar 143 perforaciones que fueron proporcionadas por el Organismo de Gestión de Agua de la Provincia. Lo más complicado fue sistematizar y cargar las fichas por la dispersión de la información, la mayoría de las veces en formato papel. Los niveles acuíferos son de agua de buena calidad y caudales, que se encuentran casi exclusivamente en sedimentos de edad cuaternaria. El desarrollo de los sedimentos de buena permeabilidad del cuaternario es muy variable, desde espesores de pocos metros hasta espesores que superan los 400. El promedio de perforación es de unos 50 metros (Galindo Griselda, 2013).
- ✓ En la Provincia de Salta se logró incorporar a las fichas 147 perforaciones de pozos. 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. 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. En el límite interprovincial Salta/Formosa existe un acuífero de agua dulce de los 325 a los 385 m de profundidad, debajo de una secuencia de intervalos de agua salada. Estratigráficamente está conformado por una cobertura cuaternaria de arenas, limos, gravas y arcillas con potencia variable entre 190 y 30 m, disminuyendo de espesor de O a E. Infra yaciendo se encuentra la Formación Chaco. A escala regional, esta unidad se encuentra conformada por un sistema de acuíferos confinados y semiconfinados localizados a profundidades muy variables. Regionalmente, las isopiezas muestran que el flujo de los niveles puestos en producción tiene una componente NO– SE y O– E. La transmisividad media es de 70 m²/día, la permeabilidad promedio alcanza los 1,75 m/día y el coeficiente de almacenamiento tentativo varía entre 0,0005 a 0,000006. La reserva de agua de buena a aceptable calidad. (Galindo Griselda, 2013).
- ✓ En la provincia del Chaco, se pudieron completar 51 fichas de pozos. La región Chaqueña es un área que reúne características únicas y tiene una vasta extensión geográfica. Presenta una gran diversidad de ambientes que están íntimamente relacionados con el recurso hídrico subterráneo. Esta Provincia integra la Llanura Chaco-Pampeana, la cual forma parte de una unidad morfológica aún mayor. Es por esto que al presentar la recopilación de mapas hidrogeológicos, geológicos y diferentes imágenes satelitales, se observan estructuras mayores de carácter regional que controlan el desarrollo litológico y por ende los reservorios de aguas subterráneas, lo cual no es de extrañar considerando que comparte las mismas característica climáticas, biológicas y morfológicas con otras provincias, por lo tanto, resulta natural que comparta también con los países vecinos.

La calidad del agua subterránea de los acuíferos libres es muy variable, con valores comprendidos entre 350 y 10 000 µmhos/cm, alcanzando un máximo conocido de más 20.000 µmhos/cm, en parajes del Departamento Almirante Brown del Chaco, la misma zona contiene arsénico en exceso para consumo humano, siendo el límite permitido de 0.05 mg/l, de acuerdo con normas de Código Alimentario Nacional Argentino. Los recursos subterráneos a la luz de la información disponible son insuficientes para las demandas que se identifican. La relación deficitaria de los caudales puntuales y la carga ganadera en el Oeste del Chaco atestiguan esta aseveración.





En cuanto a la recarga de los acuíferos es casi exclusivamente pluvial. Del total precipitado, sólo un pequeño porcentaje se infiltra y alimenta las reservas de agua subterránea debido a las características de los suelos, mayormente salinos y de poca infiltración, y a la elevada evapotranspiración. El agua restante se acumula en los esteros, bañados y "madrejones" o escurre por los cauces superficiales. La dirección general del escurrimiento del agua subterránea es de NO a SE, hacia los ríos Paraguay y Paraná, siguiendo aproximadamente la pendiente natural del terreno. El gradiente hidráulico de 3% al Oeste, límite con la Provincia de Salta, pasa a 0,2% en la mayor parte de la Provincia de Chaco. (Galindo Griselda, 2013).

- ✓ En la Provincia de Formosa se recopilaron y cargaron en la base de datos 126 fichas de pozos. Es una información que cubre de forma homogénea la provincia. El área de interés está ubicada en la parte norte de la llanura Chaco Pampeana, entre las Sierras Subandinas del Norte Argentino y el Alto de Asunción, en Paraguay.

Estudios recientes en numerosas localidades del territorio formoseño, donde se efectuaron más de 100 sondeos eléctricos verticales (SEV) con abertura de ala de 2 Km y unas 25 estaciones de registro magneto telúrico (MT), permiten señalar las enormes variaciones geológicas del subsuelo tanto en sentido O-E, como N-S. La información brindada tanto por los SEV como por los registros MT permite señalar que las facies sedimentarias que podrían comportarse como reservorios de agua subterránea con agua apta para el consumo humano y animal, se encuentran a partir de profundidades de 150 m en el sector O, límite con la provincia de Salta, 300 m en el sector N, en las inmediaciones de la ciudad de Clorinda, y a más de 1.200 m en la zona centro, sur y centro este del territorio formoseño. (Galindo Griselda, 2013).

De la recopilación de información hidrogeológica en el territorio del SAYTT en Argentina, se pudieron obtener unas 600 fichas con información sistematizada, bibliografías que estaban dispersas y no disponibles, muchas veces. Todo esto ha sido de gran interés para poder actualizar la información existente y para el armado del esquema conceptual de las zonas de recarga, circulación y descarga. De esta manera poder concluir en las recomendaciones y sugerencias en cuanto a la gestión del recurso tanto en las zonas de recarga naturales y/o artificiales como en las zonas de descarga, como así también realizar la integración con los otros países en un solo mapa hidrogeológico, con su memoria explicativa.

3.2.3.2 Síntesis de los productos en Bolivia y caracterización del acuífero Tarijeño.

En la parte boliviana del SAYTT que corresponde al acuífero Tarijeño, se inventariaron datos de 274 perforaciones en fichas, con datos de coordenadas, poca información de parámetros hidráulicos, como niveles estáticos, profundidades y caudales, entre otros y casi nada de dato físicos químicos y alguna información más. Las fuentes de información son de Estudios Hidrogeológicos del Chaco Tarijeño de Bolivia, Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Yacuiba (EMAPYC), Consultores Privados y de Programa Nacional de Cuencas (PNC).

El Grupo de Trabajo envió el Informe Geológico – Hidrogeológico, elaborado por el consultor Nelson Edwin Huaranca Olivera, desarrollando temas referidos a los objetivos del informe, los antecedentes y la metodología de trabajo utilizada. Esto involucra los antecedentes generales, situación socio-económicos, como físico-culturales y finalmente, la hidrología, geología, geofísica y la hidrogeología, con sus conclusiones y recomendaciones, anexos y lista de figuras. Presentó cuatro (4) mapas escala 1:500.000, de Topografía, Geología, Cuenca Hidrológicas e Hidrogeológico, todos en el ámbito del SAYTT. Los mismos fueron elaborados por Nelson Edwin Huaranca Olivera en coordinación con el Grupo Temático Aguas Subterráneas Bolivia.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



- ✓ El Mapa 1 Geológico se elaboró a escala 1:500.000 y tuvo como base el Mapa Geológico de Bolivia escala 1:1.000.000 SERGEOTECMIN - YPFB 2011 y el Mapa Geológico inédito de la Faja Subandina – YPFB. La base cartográfica empleada fue la oficial del IGM escala 1:250.000.
- ✓ El Mapa 2 Topográfico se elaboró a Escala 1:500.000, para ello se utilizaron las Hojas 1:250.000 (Bermejo, Estancia Esmeralda, Villamontes, Ibibobo, Camiri, Villazón, Charagua y Cerro Capitán Ustarez)
- ✓ El Mapa 3 de Cuencas, se elaboró a Escala 1:500.000 (se utilizaron las mismas Hojas 1:250.000 del Mapa Topográfico).
- ✓ El Mapa 4 Hidrogeológico se elaboró a escala 1:500.000 y se realizó en base a: (Mapa Geológico de Bolivia Escala 1:1.000.000 SERGEOTECMIN - YPFB 2011, Mapa de posibilidades de explotación y uso del agua subterránea en el Chaco Tarijeño CABAS - SERGEOMIN 1997, Mapa base cartográfico y Mapas topográficos escala 1:250.000, publicados por el IGM).

El Mapa Hidrogeológico, define las Provincias Hidrogeológicas, y las diferentes ocurrencias de las aguas subterráneas. Con buen detalle de las mismas, como por ejemplo: Ocurrencia de las aguas subterráneas en los diferentes tipos de acuíferos (porosos no consolidados, extensos y productivos, depósitos fluviales en cauces de ríos maduros, Aluviones en el Valle de Yacuiba Hsa, Depósitos aluviales de terraza Hsa, Acuíferos locales o discontinuos de productividad moderada, Llanura Chaqueña Hsa, Depósitos aluviales, paleoterrazas Hsa, Ocurrencia de aguas subterráneas en acuíferos fisurados, recursos de aguas subterráneas frecuentemente solo en profundidad, Acuíferos localmente extensos y relativamente productivos. Calizas y areniscas del Pérmico Sedimentario (Ps). Acuíferos locales o discontinuos de productividad moderada. Jurásico Sedimentario. Carbonífero sedimentario. Ocurrencia de aguas subterráneas en acuíferos locales y limitados (en rocas porosas o fisuradas) o carencia de recursos de aguas subterráneas notables. Acuíferos menores con recursos de aguas subterráneas locales y limitados. (Huaranca Olivera, Nelson E. 2013).

3.2.3.3 Síntesis de los productos en Paraguay y caracterización del acuífero Yrendá.

En Paraguay también se realizó la compilación de datos del acuífero Yrendá, en territorio paraguayo, presentó 382 pozos profundos en planillas Excel y 227 pozos con menos de 50 metros de profundidad en fichas de origen SISAG. Se presentó un mapa de ubicación de las perforaciones donde define la calidad de las aguas en función de su salinidad (dulce, salobre y salada, así como también pozos secos), además de una planilla con datos físico-química de algunos pozos.

El Sistema Acuífero Yrendá (SAY) abarca la paleocuenca del río Pilcomayo, con una extensión de 180.000 Km² aproximadamente y parte de la paleocuenca del río Parapetí. El principal cauce de régimen permanente que atraviesa el Gran Chaco Boreal es el río Pilcomayo, cuya cuenca abarca una superficie de 272.000 Km², correspondiendo 98.000 Km² al territorio Boliviano; 95.000 Km² al territorio Paraguayo y 79.000 Km² al territorio Argentino, CABRERA (1988). El río Pilcomayo es de importancia por su influencia en la recarga de los acuíferos.

El clima en el Chaco es subhúmedo al este a semiárido al oeste. La temperatura media anual es de 24°C. La evapotranspiración potencial es de 1.300 a 1.400 mm/año. La precipitación media anual disminuye gradualmente de 1.400 mm en el río Paraguay a un mínimo de 600 mm,





cerca del límite con el Chaco boliviano. Los vientos predominantes son norte-sur, siendo la humedad relativa en un rango que varía de 20% a 65%.

Se hace una reseña de las informaciones disponibles hasta el momento, principalmente en datos de investigaciones hidrogeológicas realizados con proyectos de cooperación técnica internacional desde 1967 hasta mediados de la década de los '90 e informaciones de tesis realizadas en la investigación de las aguas subterráneas en el Chaco.

El Chaco paraguayo pertenece a la cuenca del Gran Chaco Sudamericano. Limita al norte y oeste con el Chaco boliviano, al sur con el Chaco argentino y al este con el río Paraguay límite fronterizo con Brasil. A su vez la Cuenca del Chaco se divide en cuatro subcuencas: Curupayty, Carandaty, Pirity y Pilar al sur. Las subcuencas están separadas por el Alto del Chaco Central y los arcos de Lagerenza, Boquerón y Hayes.

La geología del Chaco paraguayo se puede dividir en 2 partes, una al norte con rocas del Devónico, Carbonífero, Cretácico y una parte sur donde se encuentra el SAY, objeto de este estudio. Desde el punto de vista hidrogeológico, las descripciones se basan en sedimentos no consolidados Terciario-Cuaternario que rellenan la cuenca del Chaco, según descripción de perfiles de pozos (Croce, et al. 1991). La Formación Chaco de edad Terciaria – Cuaternaria, corresponde a un ambiente de deposición de sedimentos provenientes de los Andes. Esta formación está compuesta por una alternancia de arena fina de color pardo claro a amarillo, limo arcilloso y/o arenoso y arcilla. El color de los sedimentos pelíticos es pardo claro a rojizo, en ocasiones gris verdoso. Son frecuentes las concreciones de carbonatos y material ferruginoso, en las arenas, limos y arcillas, donde comúnmente se encuentran niveles de yesos. La granulometría de los sedimentos disminuye de oeste a este, de gravas localizadas cercanas al río Pilcomayo, a arenas finas a muy finas en el Chaco central y arenas muy finas en las proximidades al río Paraguay. El terciario inferior está constituido por areniscas, lentes de conglomerados, arcillitas y limonitas. El terciario superior está representado por arcilla arenosa, verde a verde azulada y pardo rojiza con intercalaciones de evaporitas. El cuaternario está representado por sedimentos aluviales, fluvio-lacustres, coluviales, terrazas y dunas. El espesor del cuaternario es de aproximadamente 350 m en Bolivia, que gradualmente va disminuyendo en dirección este, presentando escaso espesor hacia el río Paraguay (Godoy E., 1990).

Solamente la sección superior de la columna litoestratigráfica, la denominada formación Chaco, tiene interés hidrogeológico. Podemos resumir, que el Chaco Paraguayo pertenece a la Provincia Pantanal-Chaco-Pampeano correspondiente a la sub-provincia Chaco, Piso Hidrogeológico Chaco. La unidad hidroestratigráfica del Sistema Acuífero Yrendá (SAY) es la siguiente:

- ✓ Piso Hidrogeológico: Chaco
- ✓ Sistema Acuífero: Yrendá

Bajo la denominación de SAY, se entiende por los Acuíferos confinados y/o semiconfinados que se extienden por todo el Chaco en varios niveles y a diferentes profundidades, constituyendo sistemas multicapas, antiguamente denominado Complejo Acuífero Yrendá (Godoy 1990), constituyendo a nivel regional un solo sistema hidrogeológico, aunque pueden presentarse a nivel local diferencias de detalle, ocupada por diferentes sistemas de flujos de aguas subterráneas. Al sur del Paralelo 20º, el SAY se presenta por debajo de los 50 m de profundidad hacia el oeste, límite con Bolivia, y por debajo de los 5 - 3 m hacia el este, en el Chaco Húmedo, llegando incluso a sobreponerse al nivel freático cercano al río Paraguay, ocasionando flujo de los acuíferos confinados a los freáticos. Los niveles piezométrico van de 25 m a cercanos a surgentes, en los cauces que corren en sentido oeste-este, afluentes del río Paraguay.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



En el área entre el Subandino boliviano y el río Parapetí la permeabilidad (K) de los acuíferos profundos varía de 8,6 – 17,3 m/día; la transmisibilidad (T) de 1.075 – 2.150 m²/día y el coeficiente de almacenamiento (S) de 5.10⁻⁴ – 6.10⁻⁶; en el área fronteriza boliviano-paraguaya la permeabilidad varía de 6 a 8 m/día y la transmisibilidad de 400 a 200 m²/día y en el Chaco central paraguayo la permeabilidad varía de 0,3 a 8,0 m/día y la transmisibilidad de 50 a 100 m²/día. Los pozos que captan estos acuíferos presentan caudales específicos que varían de 2 a 3.6 m³/h/m. Su porosidad total máxima es de 40% y la porosidad efectiva está entre 7 y 10%. La velocidad real de flujo subterráneo varía aproximadamente de 20 m/año a 46 m/año. (Godoy V. Eugenio, 1990).

La gran carga hidráulica de los acuíferos confinados indica que la zona de recarga está a una cota mucho mayor que la del terreno donde está el pozo, y como el área es semiárido con fuerte déficit hídrico difícilmente esos acuíferos recibirían agua dulce por infiltración directa de las precipitaciones. Así mismo, los aislados acuíferos freáticos son insuficientes para alimentar a los acuíferos profundos que contienen grandes volúmenes de agua dulce. Es fuerza pensar que la recarga se produce por infiltración de las precipitaciones y de los ríos en territorio Boliviano, principalmente a lo largo de una faja de sedimentos gruesos de piedemonte de unos 15 a 20 km de ancho, que corre paralelamente a los bordes montañosos subandinos, como así también, por infiltración del río Pilcomayo durante las crecientes a través de su abanico aluvial. (Godoy V. Eugenio, 1990).

En los tiempos de estiaje aumenta la salinidad de los cursos superficiales y los humedales, indicando una alimentación de fuente subterránea. La zona de descarga se caracteriza por la ocurrencia de humedales salobres a salados en sentido de la dirección de flujo subterráneo. La formación de minerales evaporíticos en áreas de descarga producida por sistemas de flujo regional del agua subterránea mineralizada (salada), es una característica del área.

3.3 EL SISTEMA ACUÍFERO SERRA GERAL – SASG (Oliveira D., et al., 2014)

Si bien el SAYTT fue estudiado con mucho detalle por la falta de información existente y la necesidad de obtener una línea de base del conocimiento, además de haber sido seleccionado en la fase anterior como proyecto piloto, en los otros acuíferos transfronterizos estudiados en esta fase del Programa Marco, no se tuvieron que hacer tantos estudios. Se realizaron consultorías locales para poder compilar la información que siempre se encuentra en forma dispersa, en diferentes instituciones, que tienen relación con las aguas subterráneas.

Este acuífero Serra Geral es compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, no así por Bolivia. Se extiende desde el Planalto paranaense hasta la región fronteriza entre Argentina, Brasil y Uruguay, ocupando una superficie de aproximadamente 540.000 km².

A pesar de conocerse muy poco sobre sus condiciones de recarga, es ampliamente explotado en los cuatro países, para el abastecimiento humano, uso industrial e irrigación. Constituye un sistema acuífero fracturado, constituido por derrames de lavas basálticas de las formaciones Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) e Arapey (AR e UY).

Debido a su condición de acuífero fracturado, presenta caudales muy variables con valores entre 10 e 100 m³/h (datos proveídos por los representantes de los países en los talleres de trabajo en el CPRM).

Sus agua son bicarbonatadas cálcicas y sódicas, eventualmente con altos tenores de sal.





El clima de la región es húmedo a semihúmedo, con precipitación media anual entre los 1.200 a 1.500 mm.

La exploración de este acuífero para abastecimiento público e industrial es alta y tiene gran potencial turístico, además de ser muy importante para la conservación de los ecosistemas, dependientes y también para garantizar el flujo de base de los ríos de la región, siendo inferida una conexión hidráulica entre él y el Sistema Acuífero Guaraní.

3.3.1 Actividades y productos generados por el Programa Marco.

Si bien en las reuniones de trabajo del Grupo Temático Aguas Subterráneas acordó que el mapa lo elabore el CPRM de Brasil, en la Argentina y Paraguay se realizaron unas consultorías cortas para recabar información dispersa en cada país y estructurar junto a la de los otros acuíferos, una sola base de datos de la Cuenca del Plata.

En Argentina se elaboró un informe muy completo por parte del geólogo Francisco Gulisano, quien realizó la sistematización de la información recopilada de las provincias donde se encuentra el acuífero.

- ✓ Realizó la compilación, análisis de la información geológica- estratigráfica, estructural, geofísica e hidrogeológica existente en estudios y proyectos realizados en los basaltos (Fm Serra Geral) del Litoral Argentino (Provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos) y configurarlos con los datos de perforaciones ya recopiladas en dichas provincias, a fin de presentar el cuadro de situación del conocimiento del acuífero y los estudios faltantes. Además apoyó con la colaboración técnica entre las instituciones que integran la Unidad Nacional Argentina de Proyecto.

Para lograr los objetivos planteados siguió una metodología que consistió en: (Gulisano Francisco, 2013).

- ✓ Recopilación de información geológica. Identificación, análisis y evaluación de la información disponible vinculada al Complejo *Serra Geral (Neo jurásico – Eo cretácico)* Particularmente se consultó toda la información generada por el proyecto Sistema Acuífero *Guaraní (SAG)*, del legado del Dr. *César Augusto Fernández Garrasino (Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil)*, del Lic. *Narciso Cubas (Paraguay)* así también como fuera mencionado, especialmente la facilitada por el Dr. *Jorge Santa Cruz (Argentina y Brasil)*
- ✓ Recopilación de cartografía geológica. De los mapas geológicos de las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos a escala 1:500.000 (Ávila y Portaneri, 1999; Herbst y Santa Cruz, 1995; Bertolini y SCyT - Area Minería. (1995) y Hoja SH-21 Concordia (Ar) - Uruguayana (Br) – Arapey (Ur). Escala 1:1.000.000. (SEGEMAR-CPRM-DINAMIGE, 2010).
- ✓ Compilación de informes y de campañas geofísicas. Mapas de gravimetría, de anomalías de Bouger, de sísmica de reflexión, de magnetoteluria y audiomagnetoteluria. Campañas efectuadas en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones, particularmente los sondeos Magnetotéluricos realizados para el proyecto Sistema Acuífero Guaraní.
- ✓ Realización de los modelos geológicos y conceptuales. A partir de la información compilada y generada para explicar la ocurrencia del Complejo *Serra Geral (Neo Jurásico – Eo Cretácico)* objeto de este estudio. Confección de los planos estructural e





isopáquico a partir de los datos de pozos, gravimétricos etc., del Complejo Serra Geral, mediante el software GIS 10.x.

- ✓ 5) Trazado de un mapa de integración de principales estructuras tectónicas del a Mesopotamia Argentina y Zonas Transfronterizas. A partir de los mapas de lineamientos de distintos autores y por fotointerpretación a partir de imágenes LANDSAT- 7 del sitio de Internet el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América <http://glovis.usgs.gov/>.

En Paraguay se realizó una recopilación de datos de pozos en las áreas de afloramiento del sistema acuífero Alto Paraná (Serra Geral), se cargaron en la base de datos en Excel. Se hizo una descripción de la litología consolidada y no consolidada de los basaltos, se mapeo las áreas de recarga, zonas permeables y no permeables. Para estas actividades realizó las siguientes tareas.

- ✓ Recopilación de la información disponible y dispersa en varias instituciones, de diferentes autores y la geología relacionada. Se analizaron los perfiles de pozos proveídos por SENASA de los departamentos de Amambay, Canindeyú, Paraná e Itapúa, como así también información de la BGR proveído por la SEAM. Al no contar con muchos datos isotópicos, se empleó la hidroquímica a los efectos de identificar los procesos hidrogeológicos, tales como la mezcla de agua de los diferentes acuíferos, la recarga a partir de la lluvia. (Como, por lo general se cuentan con más datos de hidroquímica que de isótopos, se suele utilizar estos datos de conocimientos de las aguas a fin de tener un conocimiento más en detalle sobre la hidrogeología y la dinámica de la misma). (Rojas, Carmen, 2014).
- ✓ Para la visualización del mapa de Zona de recarga del Acuífero Alto Paraná, se ha utilizado la simbología internacional para la elaboración de mapas de hidrogeología (Struckmeier, W. F.; Margat, J. 1995). Además, es de recalcar, que las aclaraciones hechas por varios autores, en los que mencionan, que en las aguas del Acuífero del Alto Paraná, se encuentran datos que podrían prestar a confusión, pero se explican cómo datos que demuestran mezclas de aguas o interferencias entre aguas del mencionado acuífero y del Acuífero Misiones. (Rojas, Carmen, 2014).
- ✓ Para la elaboración del mapa de caudal específico promedio de la Formación Alto Paraná, la propuesta presentada, se ha basado en los datos mencionados en el trabajo del Dr. De Salvo 1991. El mapa presentado ha sido confeccionado, en base a los supuestos planteados por dicho autor, atendiendo la simbología internacional para la elaboración de mapas de hidrogeología (Struckmeier, W. F.; Margat, J. 1995, en Rojas Carmen, 2014).

También hace una descripción de la geología de la región oriental del Paraguay donde se encuentra el sistema acuífero Alto Paraná (Rojas, Carmen, 2014):

El Acuífero Alto Paraná se encuentra geográficamente en una faja continua de norte a sur en el este de Paraguay Oriental, cubriendo aproximadamente una superficie de 25.000 Km², se sustenta en una roca ígnea del tipo efusivo y composición química basáltica, forma parte integrante del gran magmatismo de edad Jurásico-Cretácica de la Cuenca del Paraná. La geología del Paraguay Oriental es producto de un sistema originado por eventos tectonomagmático y sedimentario llamado Cuenca del Paraná que fue instalado desde el Neo Ordovícico hasta el Neo cretácico (Milani, 1997). Es una cuenca intracratónica y se extiende por el Brasil Meridional, Paraguay Oriental, Noreste Argentino y Norte de Uruguay. (Rojas, Carmen, 2014).





La localidad tipo para los derrames basálticos es el área de la represa Binacional Itaipú en Ciudad del Este. Según la descripción de De Salvo (1991), los derrames basálticos tuvieron lugar en el Cretácico, a través de grandes fisuras. Fueron acumulados en sucesivos derrames y subderrames de espesor variable, con mínimo de 37 m y máximos de 90 m. Según este autor los derrames pueden clasificarse en tres grupos litológicos:

- ✓ Brecha basáltica: se trata de una roca mixta compuesta en parte por clastos de lava y en parte por rocas de origen sedimentario que fueron depositados sobre el derrame anterior y posteriormente englobados por la lava. En general no presenta fisuramiento, salvo que haya sufrido fracturamiento posterior a su deposición. Su espesor es variable, alcanzando los 20 m, pero en promedio tiene un espesor de 3m.
- ✓ Basalto vesicular-amigdaloides: forma la parte superior del derrame con espesor promedio de 3 m. Está caracterizado por vesículas de tamaño variable entre 5 y 10 mm de diámetro, originadas por los gases de la lava en superficie cuya forma permite determinar la dirección del flujo de la lava. Las amígdalas son las vesículas rellenas por algún mineral secundario, como sílice, calcita, zeolita, etc. Comparado con el basalto denso tiene un muy bajo grado de fracturamiento.
- ✓ Basalto denso: forma el 60 a 80% del derrame. Es un Basalto masivo de textura porfírica y muy fracturado. Puede dividirse en tres partes según la disposición de las discontinuidades: en la parte inferior y superior predominan las discontinuidades del tipo horizontal. La parte central está caracterizada por discontinuidades verticales.

El espesor de la Formación varía mucho dependiendo de la localidad y del paleorelieve sobre el cual se depositaron los derrames. La variación de las profundidades a las que se alcanza la arenisca en pozos muy cercanos indica un relieve ondulado y bien pronunciado, en general se observa una disminución del espesor de Este a Oeste. Datos de un sondeo obtenido por la empresa HIDROGEOM Perforaciones en el área de Hernandarias indican para esa unidad valores de espesor por encima de los 800 m (Informe SAG-PY). Se llama la atención en este informe el gran espesor de los derrames basálticos de la cuenca, en el Estado de San Pablo, Brasil se encontró 1.500 m (borde este de la Cuenca) y en Hernandarias, Paraguay que se encontró 800 m (borde oeste de la cuenca), sin duda son grandes espesores para bordes de cuenca.

En el estudio de Sánchez Bettuccil et al., 2011, señalan que en general los basaltos tienen color negro amarronado (brownishblack 5YR 2/1), conteniendo tablillas muy finas de hasta 1 mm de plagioclasa traslúcida y diminutos granos de piroxeno gris verdoso. Cercanos al contacto con los bloques sedimentarios su apariencia es manchada, con sectores entremezclados de colores gris oliva (olive green 5Y 4/1 GSA, 1991) y gris amarronado (5YR 2/1), destacándose entonces amígdalas de formas irregulares de hasta 7 mm en su mayor dimensión, formadas por material blando de brillo céreo y color gris verdoso.

Al microscopio el basalto más común tiene textura intersertal compuesta por plagioclasa inalterada y clinopiroxéno anhedral en proporciones semejantes, acompañadas por un 12% de minerales opacos (en parte ilmenita) y un 4% de material intersticial de color castaño verdoso débilmente pleocroico. El basalto cercano al contacto con el bloque sedimentario se caracteriza por la mayor proporción de material intersticial fino en el que se aprecian evidentes texturas radiadas de desvitrificación (véase Figura 8), formadas por filosilicatos de grano muy fino y color verde claro y minerales opacos cuyos cristales mayores llegan a atravesar a las microlitas de plagioclasa revelando su origen secundario.

En proporción inferior al 1% aparece palagonita de color anaranjado. Las amígdalas muy comunes en estos basaltos, presentan esmectitas de color verde en el borde que se tornan





incoloras hacia el centro. Las de mayor tamaño son claramente zonales y suelen tener un delgado borde discontinuo de calcedonia y de mineral opaco (véase Figura 9). Mediante análisis con rayos X se determinó la presencia de meixnerita y cobre metálico en los bordes de estas amígdalas (Novo et al., 2010; Sánchez Bettucci et al., 2010, in Sánchez Bettuccil et al., 2011) con la roca sedimentaria. Sin analizador intercalado. El ancho del campo abarcado por la fotomicrografía es 1,5 mm. (Fuente: Rojas, Carmen, 2014).

La presencia de texturas de desvitrificación en los basaltos claramente indica su consolidación extremadamente rápida, y por ello muy cercana a la superficie. Similares consideraciones pueden hacerse con respecto a la abundancia de vesículas, posteriormente transformadas en amígdalas seguramente durante el enfriamiento y los procesos metasomáticos que pueden haber afectado a estas lavas de edad cretácica. (Sánchez Bettuccil et al, 2011, en Rojas, Carmen, 2014).

En Brasil se han realizado una infinidad de estudios de las lavas de la formación Serra Geral, tanto en tesis de grado, maestrías, etc., que dan un conocimiento bastante acabado del comportamiento de las aguas en las mismas. En este proceso del Programa Marco, no se tuvo ninguna consultoría específica que realizara estudios o compilación de esas informaciones existentes, se toma como base el trabajo del CPRM en la elaboración del Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Plata.

En el caso de Uruguay no se tuvo una consultoría específica para la recopilación de datos de la formación Arapey, gran parte de la información recabada en el piloto demostrativo Cuareim/Quaraí, se refiere a dicha formación geológica y su comportamiento.

3.4 SISTEMA ACUIFERO PANTANAL – SAP. (Oliveira D., et al., 2014)

El Sistema Transfronterizo del Pantanal, está localizado en la cuenca del río Paraguay, ocupando áreas de Bolivia, Brasil y Paraguay, en una extensión aproximada de 134.000 km², (102.000 km² en Brasil, 14.000 km² en Bolivia y 18.000 km² en Paraguay).

Desde el punto de vista fisiográfico ocurre en la región un alto índice pluviométrico, con medias entre los 1.000 y 1.500 mm/año, con un clima meso térmico y cotas topográficas variando entre 100 y 200 m, representando la extensión al norte del Chaco paraguayo.

La importancia de este sistema acuífero es resaltada por la manutención de los ecosistemas del Pantanal, la mayor área húmeda del mundo, declarada Patrimonio de la Humanidad e integrante de la Convención Mundial de Humedales (RAMSAR), en la regulación natural del régimen de lluvias y en los abastecimientos hídricos de las comunidades locales y poblaciones indígenas.

Es un sistema acuífero multicapas, constituido por sedimentos Terciarios y Cuaternarios no consolidados a poco consolidados, predominantemente arenosos.

La dirección de flujo es generalmente en dirección al río Paraguay con rumbo SO del lado brasileño y SE en Bolivia y Paraguay.

El ecosistema del Pantanal está amenazado de varias formas, algunas con reflejo directo en las aguas subterráneas, como por ejemplo la elevada sedimentación de los ríos originado por la gran erosión causada por el desmonte en áreas de Planalto, que disminuye la infiltración y recarga de los acuíferos.





Sus caudales máximos alcanzan los 10 m³/h, aunque las medias sean siempre bastante inferiores. En general, las aguas subterráneas son de buena calidad, aunque localmente ocurren elevados índices de carbonatos, hierro, materia orgánica y aguas saladas. Por tratarse de un acuífero libre es muy vulnerable a la polución, principalmente relacionado a las actividades agrícolas (agroquímicos) y cría de ganado.

Los países reconociendo el papel desempeñado por el Sistema Acuífero Pantanal para el funcionamiento del ecosistema y en el control del tipo y distribución de la biodiversidad, identificaron la necesidad de su gestión sustentable conjunta con base en una comprensión de las interacciones hidráulicas entre las zonas húmedas y el sistema acuífero y en reconocimiento de su interdependencia.

Además de eso, debido a la naturaleza freática de este sistema y su descarga que se da principalmente a través de la evaporación, el Sistema Transfronterizo Pantanal, se constituye en un modelo ideal para evaluar los impactos del cambio climático en el medio ambiente.

3.5 SISTEMA ACUIFERO BAURU – CAIUA – ACARAY. (Oliveira D., et al., 2014)

El Sistema Acuífero Transfronterizo Caiuá – Baurú – Acaray, está localizado en la Cuenca del Paraná, ocupando un área de aproximadamente 300.000 km², en la región noroeste de Paraguay, principalmente al norte del departamento de Canindeyú en la frontera con Brasil, próximo a los estados de San Pablo, Paraná, Mato Grosso do Sul y Minas Gerais.

Es un acuífero de tipo libre, con un espesor medio de 200 metro, compuesto por areniscas finas y gruesas, con alta permeabilidad. Se aplican las denominaciones de Formación Caiuá y Formación Baurú en Brasil, mientras que en Paraguay recibe el nombre de Formación Acaray.

La dirección de flujo es siempre en dirección al río Paraná.

El acuífero en la Unidad Caiuá tiene un alto potencial de exploración con caudales entre los 40 y 60 m³/h. La Unidad Baurú presenta caudales más moderados entre 10 y 20 m³/h. El agua es de buena calidad con ocurrencia de aguas minerales.

Es muy explorado en los Estados de San Pablo y Paraná, mientras que en Mato Grosso do Sul y Paraguay, su utilización es mucho menor.

Las aguas son usadas principalmente para el consumo humano y ganadería de ahí los problemas derivados de la contaminación por fertilizantes y agrotóxicos.

Es un sistema acuífero de importancia hidrogeológica regional, de buena calidad de las aguas y pozos con altas productividades para irrigación, agua mineral y uso agro pastoril, caso de Paraguay.

3.6 SISTEMA ACUIFERO AGUA DULCE. (Oliveira D., et al., 2014)

El Sistema Acuífero Agua Dulce, es un acuífero transfronterizo que es parte de una cuenca hidrogeológica compartida por Bolivia y Paraguay y se localiza en la porción norte del Gran Chaco Paraguayo y del este de Bolivia, englobando diferentes formaciones acuíferas.

Se destacan los acuíferos carboníferos y cretácicos, mientras que las unidades paleozoicas son confinadas y presentan fuerte mineralización y termalismo.





Los acuíferos de agua dulce son compuestos por areniscas cretácicas rojizas, groseramente mal seleccionadas, juntamente con las unidades terciarias, finas a medias, friables y localmente semiconfinadas, limitadas por capas de arcillas plásticas.

En territorio paraguayo se constituye como un acuífero regional de alto potencial en gran parte inexplorado, con extensión en torno de los 30.000 km². Datos de pozos en el área indican unos caudales hasta 18 m³/h para los acuíferos carboníferos y hasta de 36 m³/h para los acuíferos cretácicos, con aguas de muy buena calidad.

El área de influencia de este sistema acuífero se subdivide en los climas semiárido a tropical húmeda al este y seco al oeste, con inviernos secos y una temperatura ambiente que varía entre los 18 y 26°C. La precipitación anual varía entre 1.400 y 1.500 mm.

Topográficamente la región es caracterizada como Chaco liso, con alguna ocurrencia de elevaciones no muy altas y aisladas. Predomina una vegetación xerófila dominada por arbustos bajos y espinosos.

La población es dispersa y reducida, dedicada al cultivo agrícola y cría de ganado. Regionalmente es uno de los pocos acuíferos de agua dulce, pudiéndose constituir en una solución para el desarrollo sustentable del área. Es de gran importancia para uso en irrigación y consumo humano.

4. ACUIFEROS TRANSFRONTERIZOS ESTUDIADOS EN LA CUENCA.

4.1 SISTEMA ACUIFERO GUARANI - SAG.

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG), fue estudiado en detalle por un proyecto financiado por el GEF y los Gobiernos Nacionales de los cuatro países de la Cuenca del Plata que lo comparten y son: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Se extendió por 6 años desde el 2003 – 2009. Previo a esta fase de ejecución hubo un pequeño proyecto de 6 meses donde se estructuraron las diferentes actividades que los países propusieron para llevar adelante.

Este sistema acuífero transfronterizo, tiene una superficie de 1.087.879,15 km², extendiéndose por la cuenca sedimentaria Chaco – Paranaense. Es la más importante unidad hidroestratigráfica de la porción meridional del continente sudamericano, tiene ocurrencia asociada a las rocas siliciclásticas de la Cuenca del Plata (Brasil y Paraguay), Cuenca Chaco - Paranaense (Argentina) y Cuenca norte (Uruguay), que representan una historia evolutiva común con la porción oriental del Chaco boliviano (Franca et al, 1995).

El clima regional en su área de ocurrencia es caracterizado como húmedo, con lluvias que van desde 1.200 a 1.500 mm/ año.

Sus aguas son de amplia utilización en el abastecimiento humano, industrial y de turismo termal, debido a sus propiedades térmicas en los locales donde el acuífero es confinado por los basaltos de la formación Serra Geral.

El Sistema Acuífero Guaraní está formado por areniscas del periodo Jurásico de las Brasil), Tacuarembó (Argentina y Uruguay), Misiones (Paraguay) y por las areniscas fluviolacustres de las formaciones Piramboia/Rosario do Sul (Brasil) y Rivera (Uruguay).





Zonas de afloramiento ocurren en dos fajas situadas al oeste y este de la zona de ocurrencia y corresponden a aproximadamente al 10% del área total del acuífero, siendo confinado en los restantes 90%.

El espesor medio es de 250 metros y los caudales varían entre 60 y 200 m³/h en áreas próximas a las zonas de afloramientos y de 200 a 400 m³/h en las áreas confinadas. Localmente puede presentar valores mucho más bajos en las zonas aflorantes.

Las aguas son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas próximo a las áreas de afloramiento y sódicas en las zonas más profundas. El pH es alcalino y los valores de residuo seco varían de 200^a 600 mg/l. La temperatura varía de 18 a 63°C, dependiendo de las profundidades de ocurrencia del acuífero.

Este Sistema Acuífero es de suma importancia nivel regional y transnacional, representando un recurso fundamental para el desarrollo socioeconómico y en el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas asociados.

4.2 PRODUCTOS DEL SAG.

Este proyecto fue muy productivo obteniéndose una serie de productos que fueron fundamentales para la gestión del acuífero por parte de los cuatro países. Se citan algunos de los productos principales que fueron publicados:

- ✓ Geología y geofísica
- ✓ Inventario y muestreo. Hidroquímica e isotopía
- ✓ Ensayos hidráulicos
- ✓ Climatología, hidrología e hidrogeología
- ✓ Modelos numéricos
- ✓ Estudios socioeconómicos
- ✓ Red de monitoreo
- ✓ Control de calidad
- ✓ Informe del sub proyecto SAGPY (producto de BGR en Paraguay)
- ✓ Manuales y guías
- ✓ BDH – Mapa base en SIG
- ✓ PALPs (planes de acciones estratégicas en 4 pilotos)
- ✓ Fondo de universidades (8 proyectos seleccionados en la región)
- ✓ Se diseñó un sistema de información integrado entre los cuatro países, que no pudo ser implementado.
- ✓ Fondo de la ciudadanía
- ✓ Varias modalidades de capacitación.

Cada una de estas publicaciones trató diferentes temas y otros que no son citados, pero que fueron en su conjunto de suma importancia. Para la ejecución del proyecto se adoptó una metodología que fue acordada por los cuatro países, con una pequeña coordinación central, un facilitador por piloto y unidades nacionales de ejecución del proyecto (UNEP), todo coordinador por un consejo superior conformado por las máximas autoridades de Recursos Hídricos, Cancillería y Medio Ambiente de los países.





5. EL AGUA SUBTERRANEA EN LA CUENCA. (Oliveira D., et al., 2014)

El desarrollo natural de las poblaciones urbanas y rurales, asociado al fuerte incremento de las actividades agrícolas e industriales, en la región de la Cuenca del Plata, ha incrementado bastante el uso de los recursos hídricos, particularmente aquellos de origen subterráneo.

Este crecimiento como era de esperar, además de parámetros demográficos, obedece a las características intrínsecas de los acuíferos, como la ocurrencia de unidades potencialmente productivas y a la calidad de las aguas subterráneas. Dentro de los estudios específicos realizados para la caracterización del agua subterránea en la cuenca del Plata, se pueden citar la elaboración de una serie de mapas relacionados a la salinización, demanda actual de agua subterránea y vulnerabilidad natural de los acuíferos a la contaminación.

5.1 RIESGOS DE SALINIZACIÓN, PRINCIPALES USOS EN LA CUENCA.

La potabilidad de las aguas subterráneas en la cuenca fue analizada, cuanto a la salinidad, llevando en cuenta los valores de las conductividades eléctricas de las muestras analizadas, debido a que representan una aproximación del tenor total de las sales disueltas.

La concentración de esas sales, expresadas en $\mu\text{S}/\text{cm}$ fue dispuesta en intervalos regulares distribuidos por toda el área de cuenca hidrográfica y presentan los siguientes resultados:

- ✓ **0 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$** – Registrados apenas en las sub cuencas del Alto Paraguay, concentrándose principalmente en la región de ocurrencia del acuífero Parecis y en las sub cuencas del Alto y Medio Paraná, reflejando la zona de ocurrencia del Sistema Acuífero Guaraní.
- ✓ **100 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$** – Predominando ampliamente en toda la Cuenca, principalmente en la Sub Cuenca del Paraná.
- ✓ **500 – 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** – Este intervalo ocurre como una faja aliñada de dirección norte – sur, separando la cuenca del Paraná de aquellas situadas más al oeste de la región, extendiéndose también por parte del territorio boliviano, en el área del Pantanal brasileño y norte de la Argentina.
- ✓ **1000 – 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** – Este intervalo de concentración, que marca el inicio de la ocurrencia de aguas con calidad no adecuadas para la salud humana se dispone en el chaco argentino y paraguayo, además de la porción central de Bolivia.
- ✓ **3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** – A área de ocurrencia de este intervalo de aguas bastante salinizadas prácticamente coincide integralmente con el agua de ocurrencia del acuífero SAYTT. Como resultado de esta conjunción de factores (aspectos demográficos x ocurrencia de unidades acuíferas x calidad química de las aguas), las perforaciones de pozos se distribuyen de forma bastante compartimentada en la cuenca.

En la cuenca del Bajo Paraná se observa la menor densidad de pozos en el área, con apenas 1,5 pozos cada 10 km^2 , correspondiendo a la baja densidad demográfica y a la exuberancia hídrica superficial del área de la Mesopotamia argentina.

Luego, con sólo 1,8 pozos / 10 km^2 , viene la Cuenca del Plata después de la confluencia del río Paraná y Uruguay, también con baja densidad demográfica y buena ocurrencia de aguas superficiales. En su gran parte del área de ocurrencia, cubriendo parte del Centro – Oeste de



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



Brasil, de pequeña densidad poblacional y muy rica en aguas superficiales. Con todo, en esta área se sitúa el Estado de San Pablo, ciertamente el mayor consumidor de las aguas subterráneas del Brasil.

Las cuencas del Alto y Bajo Paraguay, se localizan en la Amazonia brasileña, y áreas del Gran Chaco Sudamericano, englobando porciones de Bolivia, Paraguay y Argentina. Muestran densidad de pozos variando entre 4,5 y 2,4 pozos cada 10 km². Además de la baja densidad poblacional esta región aún sufre con la ocurrencia de área de mayor salinización, lo que inhibe el incremento de las perforaciones locales.

Las cuencas del Alto y Bajo Uruguay muestran los valores más elevados de densidad exhibiendo números entre 70 y 18 pozos por cada 10 km². Aunque la explotación de agua es mucha en estas cuencas.

En Bolivia, el principal uso de las aguas subterráneas para el abastecimiento público, agricultura e industria.

En Brasil este recurso tiene importancia fundamental en el abastecimiento humano y uso industrial, en toda la región Sudeste y Sur. Esta región representa la zona donde ocurre la mayor explotación de aguas subterráneas en toda la Cuenca del Plata.

En Paraguay el agua subterránea tiene un amplio uso para abastecimiento humano e industrial en la periferia de la capital Asunción, mientras que en el resto del país tiene uso principalmente pecuario y para abastecimiento público en las localidades del interior.

En el Uruguay, si bien el volumen de agua subterránea que se utiliza es relativamente bajo con un 28 % del agua suministrada, se debe destacar la importancia de la misma ya que en muchos poblados del interior el abastecimiento es de 100 % por aguas subterráneas. El 73% de los servicios de abastecimiento son proveídos únicamente por agua subterránea, mientras que en el 12 % es mixto, y el agua subterránea es parte del suministro.

5.2 DEMANDA ACTUAL DE AGUA SUBTERRANEA.

Para poder elaborar el mapa de volúmenes totales extraídos de agua subterránea en la Cuenca del Plata se tomó como base las siguientes premisas, las que fueron acordadas por los representantes de los cinco países:

- ✓ Abastecimiento público (compañías de saneamiento): 20 h/día.
- ✓ Abastecimiento humano privado (condominios, etc.): 8 h/día.
- ✓ Abastecimiento industrial: 8 h/día.
- ✓ Abastecimiento rural: 8 h/día.

A partir de esos intervalos, el consumo total fue calculado a través de la fórmula:

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{Publ.}} + V_{\text{Priv.}} + V_{\text{Ind.}} + V_{\text{Rural}}$$

Siendo el consumo calculado a través de la fórmula:

$$V = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times t \text{ (horas)} \times 365 \text{ (días)}$$

El CPRM elaboró un mapa (cartograma), tomando como base los datos proveídos por los países referentes a la extracción de agua subterránea mediante pozos. Para lo cual se tomaron





los valores anuales de extracción en m³ y en la representación, se le dieron colores en función de las siguientes cantidades:

Blanco	0 sin información
Celeste	1 – 1.000.000
Verde	1.000.000 – 10.000.000
Amarillo	10.000.000 – 25.000.000
Naranja	25.000.000 – 50.000.000
Rosado	50.000.000 – 100.000.000
Rojo	> 100.000.000

5.3 VULNERABILIDAD NATURAL DE LOS ACUÍFEROS A LA POLUCIÓN. (Oliveira D., et al., 2014)

Fue elaborado un mapa de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, que representa el grado de susceptibilidad de los acuíferos a ser afectados por una carga poluidora. El método utilizado fue basado en el trabajo realizado por DAEE-UNESP (2013), para el Estado de San Pablo, Brasil, que presenta modificaciones con respecto al método propuesto por Foster & Hirata (1988), donde son atribuidos valores cuantificando los parámetros físicos como condición del acuífero, tipo de litología y profundidad del nivel de agua.

La parametrización de la litología considera el grado de consolidación, carácter litológico, grado de fracturación y capacidad relativa de contenido de arcilla. La profundidad del nivel de agua es estimada con base en la superficie potenciométrica calculada para el área. De esta forma el CPRM con la información proveída por los países de la Cuenca del Plata, elaboró un mapa (cartograma), con la clasificación de la vulnerabilidad natural de los acuíferos de la Cuenca.

En dicho trabajo la vulnerabilidad natural a la contaminación para la Cuenca del Plata, fue calculada considerando solo las áreas aflorantes y libres de los acuíferos. Se tomó una única superficie potenciométrica freática para toda la cuenca, sin compartimentación estructural y una resolución de 300 m.

De dicho trabajo se puede definir las siguientes vulnerabilidades de los acuíferos:

- ✓ El área comprendida por la Cuenca sedimentaria del Paraná, presenta una vulnerabilidad media a baja.
- ✓ Para el SAYTT, de modo general, la vulnerabilidad se da de media a alta.
- ✓ Para la porción del Gran Chaco y Pantanal, predominan vulnerabilidades altas a extremas, con excepción de la porción norte, donde se localiza el pantanal mato-grondense y el carácter litológico es más arcillo arenoso, con vulnerabilidad baja para las áreas intermitentemente secas y extremas para drenajes perenes.
- ✓ Los principales drenajes de la Cuenca del Plata y las regiones más bajas, con cotas próximas al nivel del mar, tienen carácter predominantemente extremo de vulnerabilidad natural a la contaminación (cartograma del mapa elaborado en el CPRM).





6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA.

En el marco del Proyecto se realizaron talleres y corrida de modelos para ver la variación del clima en la cuenca del Plata, con proyecciones a diferentes periodos de tiempo. Uno de ellos fue con datos históricos existentes entre el periodo 1961 – 1990. Posteriormente se hizo una corrida de modelo para el periodo a futuro del 2011 – 2099. Aquí se realiza un resumen de los resultados de esos modelajes y comentario sobre la influencia que podría tener en las aguas subterráneas de la cuenca, dicha variación climática. Extraído del informe de Ferraz Mourão, Caroline, 2014.

6.1 Precipitación (análisis 1961 – 1990). (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

La principal característica del régimen de precipitación en la mayor parte de América del Sur, es el ciclo anual bien definido con máximas en verano (DEF) y un mínimo durante el invierno (JJA) (RAO e HADA, 1990 en Ferraz M, 2014). Este ciclo está asociado a la variación anual de la circulación atmosférica sobre el continente sudamericano y adyacencias (SATYAMURTY et al. 1998; GRIMM et al., 2004), fuertemente relacionada con el calentamiento solar de la temporada. Climatológicamente la distribución espacial temporal simulada por el modelo Eta, está de acuerdo con el padrón encontrado en la bibliografía y con los datos observados utilizados. (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

De manera general se nota que el modelo Eta captura el padrón de precipitación para el verano, mientras tanto, algunas diferencias son observadas entre el modelo y las observaciones.

El modelo subestima la distribución de lluvias a lo largo de la posición climatológica de la zona de convergencia del Atlántico Sur. Esta imperfección fue identificada en varios estudios (Fernandez et al., 2006; Oyama, 2006), en los cuales relacionan esta divergencia a una representación de algunos componentes del ciclo hidrológico (cobertura vegetal, humedad del suelo, flujos de superficie) y a parametrización de la convección.

En otoño como características climáticas, la banda de precipitación en la región sudamericana comienza de espaldas para el noroeste de la Amazonia y ocurre la estación lluviosa sobre el norte y nordeste de Brasil. El modelo de forma general consigue capturar esta variabilidad, pero muestra un poco más seco la faja que va desde Mato Grosso hasta el Noroeste de la Argentina, en comparación a lo observado.

El modelo tiene un comportamiento muy similar con las observaciones en el periodo de invierno (JJA). Durante este periodo es posible observar una reducción de la precipitación sobre el Brasil central, mientras que en el mismo periodo las lluvias permanecen sobre la región sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y sur de Chile, como resultado de la actuación de sistemas frontales característicos de esta época (Andrade, 2005 en Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

Durante la primavera (SON) el modelo simula correctamente la expansión de la banda de precipitación del noroeste para el sudeste del Brasil, pero subestima los máximos de lluvia en el sur de Brasil y Uruguay.

6.2 Temperatura (análisis 1961 – 1990). (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

En general el modelo representa bien el padrón espacial de la temperatura a lo largo del año, donde la temperatura varía estacionalmente de acuerdo con la incidencia solar. En el modelo elaborado (Ferraz Mourão, Caroline, 2014), es posible observar la variación estacional de la temperatura con valores mayores en primavera y verano (SON y DEF) y temperaturas más





bajas para el otoño e invierno (MAM y JJA). Es posible también, observar una incursión de aire más frío en el sur de Sudamérica durante el invierno.

En relación al modelo de CRU ("Climatic Research Unit", New et al., 2000 en Ferraz Mourão, Caroline, 2014), la temperatura simulada por el modelo Eta-20 km, se presenta mayor en las estaciones de verano (DEF), otoño (MAM) y primavera (SON), principalmente sobre Argentina y Paraguay.

Aunque exista una concordancia entre la temperatura simulada por el modelo Eta y el dato observado de CRU, el modelo tiende a ser más caliente que las observaciones, en las estaciones de verano, otoño y primavera, principalmente sobre la Argentina, el Paraguay y Mato Grosso do Sul.

El sesgo del modelo es casi todas las estaciones, en la mayor parte de las regiones varía en torno de -4°C a 4°C , por eso en invierno gran parte del dominio analizado presenta un sesgo menor que -1°C .

6.3 Precipitación (análisis clima futuro 2011 – 2099). (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

En los modelos que se han corrido durante esta fase del Programa Marco, muestran una diferencia de la precipitación estacional para los periodos 2011 – 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2099. A esa diferencia se le llamó anomalía. Así para el periodo 2011 – 2040 hay una tendencia de anomalía negativa en buena parte del continente, principalmente en los meses de DEF, MAM y SON. Es una anomalía que se extiende por toda la región comprendida desde el Atlántico en la costa de la región Sudeste, hasta la región Centro Oeste, donde termina el dominio analizado en este trabajo. También es observada esta reducción de precipitación en los meses de JJA en la región Sudeste de Brasil, pero en menor magnitud. Ya en la proyección a los periodos 2041 – 2070 y 2071 – 2099, la tendencia de la anomalía negativa en la región Sudeste, hasta la región Centro Oeste de Sudamérica persiste durante la primavera y con menor intensidad en verano. Al mismo tiempo se observa una tendencia de aumento de las precipitaciones en la porción Sur del dominio. Este aumento se concentra en la Argentina, Uruguay y Rio Grande do Sur. (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

6.4 Temperatura (análisis clima futuro 2011 – 2099). (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

Las diferencias de temperatura para el clima futuro en los periodos 2011 – 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2099, en relación al clima presente 1960 – 1990, fueron determinados por el modelo estudiado donde se observó un aumento de la temperatura sobre todo el dominio en todas las estaciones y periodos analizados. Los mayores valores de la anomalía se localiza en el Centro del dominio, sobre los Estados de Mato Grosso do Sul y Paraguay, con un aumento de la temperatura del orden de los 3°C en 2011 – 2040 y de $3,5^{\circ}\text{C}$ en el periodo 2041 – 2070 y de 4°C en el último periodo analizado de 2071 – 2099.

6.5 Conclusiones del informe de la consultoría.

Este trabajo que describimos aquí elaborado por Ferraz Mourão en 2014, realiza un análisis del clima presente y las proyecciones descritas para 3 periodos de tiempo. Es un análisis hecho a partir de la distribución espacial de las medias estacionales de los campos de precipitación y temperatura.





Lo que se demuestra es que del punto de vista climatológico, el modelo regional consigue representar relativamente bien el padrón espacial y temporal de la precipitación y la temperatura para el periodo 1961 – 1990, aunque todavía hay errores sistémicos (Ferraz Mourão, Caroline, 2014), porque el modelo Eta super estima la temperatura sobre la región del norte Argentino, Paraguay y Mato Grosso de Sul. Además a pesar de que el modelo simula el padrón de precipitación durante la estación lluviosa (DEF), se observa una sub estimativa de precipitación sobre la parte Sudeste y Central de Sudamérica, principalmente en verano. En el análisis del clima futuro fue posible observar algunas mudanzas en relación al clima presente, en la intensidad de determinados sistemas meteorológicos. Una tendencia de anomalía negativa de precipitación fue detectada sobre la Región de la zona de convergencia del Atlántico Sur, principalmente durante el periodo lluvioso, lo que indicaría el debilitamiento de la zona de convergencia, debido a la intensificación del frente subtropical, lo que puede estar bloqueando la entrada de sistemas frontales. A partir de 2041 fue observada una tendencia de aumento de la precipitación en la Región Sur de Brasil y Argentina. En relación a la temperatura, cuando se compara el clima presente con el clima futuro, se observa que se presenta más caliente sobre todo el dominio, con una diferencia entre 3 y 4°C. (Ferraz Mourão, Caroline, 2014)

Las variaciones climáticas modeladas para un periodo de casi 80 años serían insignificantes desde el punto de vista de las aguas subterráneas, ya que los periodos de tiempo geológicos son muy amplios. No obstante, en algunas localidades donde la recarga se afectada por la precipitaciones (acuíferos más restringidos como p.e. Raigón), la variación puede llegar a afectar la recarga de los mismos.

7. ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICO TRANSFRONTERIZO. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS.

En la Cuenca del Plata los impactos transfronterizos identificados podrían considerarse como no inmediatos. Son impactos que se podrían ir acrecentando con el tiempo, por el mal manejo del recurso, que a mediano plazo podría producir alguna suerte de conflicto.

El proyecto Sistema Acuífero Guaraní, había identificado con los estudios realizados, algunos impactos transfronterizos incipientes, que podrían ser mitigados con una buena gestión del recurso. Estos impactos afectaban desde el punto ambiental y socioeconómico. Se podrían citar:

En la zona sur del acuífero, frontera de Brasil y Uruguay se identificó que si bien el flujo regional tiene dirección E-O, a nivel local se producía una inversión, siendo el flujo del O-E en dirección a la ciudad de Santana do Livramento. Esta modificación de flujo es producida por la explotación del agua subterránea para la cobertura del 100% de la ciudad. Mientras del lado uruguayo el uso del agua subterránea era variable entre 20 y 40 %, en función de las lluvias y la disponibilidad del agua superficial.

Siendo ésta un área de recarga y considerando el flujo regional hacia el Oeste, se podría pensar que el agua de la región termal tiene origen en esta zona, más allá de la infiltración por fracturas de los basaltos. La variación de flujos en esta zona, podría a largo plazo afectar la presión y temperatura de los pozos termales.

El problema ambiental podría estar dado por el manejo inapropiado del recurso. Quizás, si la ciudad de Sant'ana do Livramento tomara agua superficial y apoyara el suministro con agua subterránea, el uso de la misma sería más sustentable. El mayor uso del agua subterránea acompaña el normal crecimiento de las ciudades, esto trae como consecuencia rebajamiento de niveles, que muchas veces hacen que pozos de abastecimiento público deban ser





abandonados, siendo reemplazados con la construcción de nuevos pozos más profundos. Es un problema ambiental por el rebajamiento de niveles de agua, económico por los costos que implica nuevas perforaciones y al mismo tiempo social porque repercute en la economía familiar al elevar las tarifas, por los costos relacionados (mayor consumo de energía, mayores equipos de bombeo, etc.).

En la frontera entre Argentina y Uruguay, en la zona termal, se pudo determinar mediante los ensayos realizados entre pozos de Concordia (Ar) y Salto (Uy), que existe una pequeña influencia que podría ser más marcada, si las mediciones fueran a más largo tiempo y se pudieran parar los pozos cercanos de forma a realizar una determinación con mayor exactitud.

De seguirse construyendo pozos termales en la zona fronteriza y sin mantener una distancia mínima recomendada de 2000 metros, en los estudios realizados en el Proyecto SAG, para evitar la interferencia entre los mismos, podría acarrear disminución de caudales, de temperaturas y el comercio termal podría tener grandes pérdidas, considerando la magnitud de los emprendimientos termales y comercios asociados.

Dentro del proyecto Sistema Acuífero Guaraní no fueron definidos otros problemas transfronterizos, quizás por la falta de estudios en algunas zonas entre Brasil-Paraguay y entre Argentina-Paraguay, donde existen ciudades importantes que se abastecen con aguas del mencionado acuífero. También fue un tema de análisis la posibilidad de contaminación del acuífero en zonas de explotación agrícola intensiva, cuyo rubro principal es la soja. Se había realizado una propuesta para monitoreo del primer nivel acuífero con pozos de poca profundidad de manera a poder realizar un monitoreo del agua que infiltra y la posibilidad de arrastre de agroquímicos al acuífero.

Durante el período entre noviembre de 2003 a diciembre de 2005, se implementó el Bloque B - PDF del Programa Marco, a partir del cual finalmente se elaboró un Análisis Diagnóstico Transfronterizo preliminar (ADT preliminar) con la comunidad técnica y social, que identificó los temas transfronterizos críticos actuales y emergentes en la Cuenca del Plata. El ADT preliminar se desarrolló a través de talleres nacionales y eventos a nivel regional durante el proceso preparatorio. En esta primera fase, se definieron los principales problemas, vacíos de información, y propuestas de acciones estratégicas.

En dicha ocasión se elaboró una línea de base discretizada por país y asimismo, se identificaron los temas transfronterizos críticos predominantes, relacionados a los acuíferos transfronterizos. Citando al Sistema Acuífero Guaraní (ya estudiado en detalle), las Areniscas cretácicas superior (litoral del bajo Río Uruguay); el SAYTT (Yrendá, Paraguay – Toba, Argentina - Tarijeño Bolivia); Acuífero Río Apa (BR y PY) y Pantanal, Furnas, Caiuá, Parecis y Serra Geral.

Pero lo más resaltante de ese ADT fue que describió una serie de causas técnicas, económicas, socioculturales y político institucionales, que como resultado conducen a un uso no sustentable del agua subterránea.

Actualmente la situación no ha cambiado demasiado y sigue habiendo falta de conocimiento sobre la vulnerabilidad de las zonas de recarga, deficiente monitoreo sobre la explotación, deficiencia en los inventarios de pozos e investigación, no existe prácticamente monitoreo en ninguno de los países de la cuenca a excepción de Brasil que tiene algunas redes de monitoreo, principalmente en el Estado de San Pablo.

En la última reunión del GT Aguas Subterráneas se definieron algunos puntos críticos que deberían ser considerados en el ADT y llevados al PAE como posibles casos de proyectos demostrativos. Dichos puntos se detallan en el Capítulo 8.2, Propuestas para el PAE.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUA



OAS / OEA



8. ACCIONES PARA EL PAE.

Considerando que no existen problemas significativos a nivel transfronterizo, las acciones realizadas y al monitoreo de las aguas, tanto en calidad como en cantidad, han ido surgiendo de los diferentes talleres y reuniones del grupo temático de Aguas Subterráneas una serie de propuestas, las que fueron englobadas en una propuesta concreta del representante de Brasil, Geól. Gerônimo Rocha, la cual abarca toda la problemática que podría existir en 3 grandes lineamientos o directrices esenciales, considerando la extensión y el bajo conocimiento de las aguas subterráneas de toda Cuenca del Plata. La propuesta fue presentada y discutida internamente por el equipo de trabajo que elabora el ADT/PAE y el representante de Brasil. Posteriormente en la reunión del GT Aguas Subterráneas de fecha 28 y 29 de octubre de 2014, el representante de Brasil, presenta estos lineamientos generales, los cuales fueron discutidos y consensuados por el grupo temático.

Posteriormente se propone que los países propongan acciones concretas que podrían ser elevadas al PAE y así surgen una serie de propuestas que se enumeran en el punto 8.2.

8.1 DESARROLLO DE LAS ACCIONES PARA EL PAE.

Para desarrollar las acciones que se proponen para el PAE debemos referirnos a cada lineamiento definido y la acción que le acompaña.

- Uso sustentable de las aguas subterráneas, con base en estudios específicos en áreas representativas, principalmente enfocados a la sobreexplotación del acuífero.
- Protección de acuíferos, mediante acciones puntuales de protección de pozos y acciones preventivas de control del uso del suelo y la zonificación de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación en áreas de recarga.
- Implementación de instrumentos de gestión, mediante una red de monitoreo, construcción de una base de datos e informaciones asociadas a la cartografía de los acuíferos y un programa de comunicación social dirigido principalmente a los usuarios del agua subterránea (prestadores, operarios, etc.) y público en general.

Se describen a continuación los diferentes lineamientos, las acciones y las recomendaciones que podrían llevarse a la práctica.

Lineamientos	Acciones	Recomendaciones
8.1.1 Uso Sustentable	a) Estudios en áreas potencialmente críticas, para medidas de restricción y control.	Desarrollar proyectos demostrativos (estados/provincias).
	b) Estudios de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en áreas con estrés hídrico, experimentales, con vista a la seguridad hídrica	Desarrollar un proyecto demostrativo por país.
	c) Estudio de seguridad hídrica en el área piloto del SAYTT	Evaluar la viabilidad y la conveniencia de implementación del programa Cisternas (aljibes), del Nordeste brasileiro.





Protección	Implementación de los perímetros de protección de pozos públicos en los municipios (en principio y privados a largo plazo).	Financiar una campaña de instalación de perímetros de protección, junto con un manual de mantenimiento de pozos.
	Zonificación de la vulnerabilidad y riesgo a la contaminación en áreas de recarga de los acuíferos.	Financiar la elaboración de mapas de vulnerabilidad y riesgo en la Cuenca.
Instrumentos de Gestión	Implementación y operación de una red básica de monitoreo de pozos en área aflorantes.	Financiar una red de monitoreo mínima en cada país, con posterior expansión a cargo de cada país.
	Implementación de un banco de datos de pozos y mapas hidrogeológicos en la plataforma web.	Operación descentralizada, con referentes en cada país.
	Implementación del programa de comunicación social, con manuales y folletos dirigidos a los usuarios.	Elaborar y editar folletos temáticos sobre: Aguas Subterráneas, Situación legal de los Pozos, Mantenimiento de pozos, y otros.

Cuadro 1. Síntesis de los lineamientos acordados en la última reunión del GT en Bs. As (28 y 29 de Octubre de 2014).

8.1.1 Uso sustentable del Agua Subterránea.

Este lineamiento presenta 3 acciones estratégicas para llevarlo adelante.

a. Realización de estudios en áreas potencialmente críticas.

Estas áreas son aquellas en las que la densidad de pozos existentes y los volúmenes extraídos indican una sobreexplotación del acuífero o un área donde se desarrollan actividades potencialmente contaminantes.

La propuesta para estas áreas es realizar estudios hidrogeológicos confirmatorios, que abarquen como mínimo las siguientes actividades: mapeo geológico en escala de detalle; inventario de pozos en campo; ensayos de bombeo e interferencia entre pozos, mapa potenciométrico de los niveles de agua, caracterización de la vulnerabilidad natural y de la carga contaminante sobre el acuífero, colecta y análisis químicos del agua de los pozos.

La evaluación integrada de los aspectos de calidad y cantidad resultará en la zonificación de áreas de restricción y control del uso de aguas subterráneas.

Una vez confirmada la zona de restricción y control, los organismos gestores de los recursos hídricos podrán adoptar cualquiera de las siguientes medidas:

- prohibir nuevas captaciones hasta que el acuífero se recupere o se haya superado el hecho que determinó la restricción;





- restringir y regular la captación de agua subterránea, estableciendo el volumen máximo a ser extraído y el régimen de operación;
- cancelar la concesión de uso del agua;
- controlar las fuentes de contaminación existentes, mediante un programa específico de monitoreo;
- restringir la implantación de nuevas actividades potencialmente contaminantes.
- otras.

b. Estudios de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en áreas con estrés hídrico.

En grandes extensiones de la Cuenca los Acuíferos Guaraní, Serra Geral y Baurú, se encuentran superpuestos y sobre ellos se presentan pequeñas cuencas hidrográficas que ya presentan indicios de escasez hídrica por la sobreexplotación de las aguas superficiales.

La propuesta es escoger alguna de estas cuencas para desarrollar estudios integrados como ser:

- agua superficial: caudal medio plurianual, caudal mínimo plurianual, meses críticos del período seco, calidad de agua con tramos críticos en cuanto a la contaminación, municipios en situación crítica en cuanto a las fuentes disponibles.
- agua subterránea: evaluación del modelo de flujo e interconexión entre los acuíferos Serra Geral, Baurú y Guaraní, actualizando los estudios regionales existentes.
- estudio de opciones de uso conjunto del agua superficial y subterránea: ejercicios de modelación por municipio (agua superficial en el período húmedo y agua subterránea en el período seco) utilización mixta, en proporción variable mes a mes.
- evaluación técnica y económica de alternativas.
- directrices municipales de utilización y protección de los recursos hídricos.

c. Estudio de seguridad hídrica en cuenca piloto en el SAYTT

El SAYTT, por su extensión, complejidad y situación ambiental, justifica la implementación de una cuenca piloto representativa, escogida de común acuerdo entre los tres países (Argentina, Bolivia y Paraguay). Para definir esta área piloto debería ser considerado:

- la representatividad geológica, existencia de pozos de explotación y las necesidades de abastecimiento de agua.
- Los estudios hidrogeológicos, considerando las peculiaridades de la geología y del clima de la región deberán ser direccionados para: procesos de sedimentación en la cuenca por medio de análisis sedimentológicos y perfiles geoeléctricos, comprensión de los procesos de salinización de las aguas por medio de análisis físico químicos e isótopos de las aguas, zonificación hidrogeológica de las unidades acuíferas portadoras de agua dulce y de su potencial de explotación.





8.1.2 Protección.

Las aguas subterráneas a diferencia de los cursos superficiales están naturalmente protegidas de la contaminación. Esto se debe a que el perfil del suelo en la zona no saturada – desde la superficie hasta el nivel freático – representa la primera barrera natural contra la contaminación del agua subterránea. En la zona no saturada o zona de aireación, los poros se llenan de aire y de una película de agua entre los granos; el movimiento de infiltración del agua es lento y el medio es normalmente aeróbico y alcalino. En estas condiciones ocurren procesos y reacciones químicas de atenuación de los contaminantes, tales como:

- intercepción, sorción y eliminación de micro-organismos patogénicos; atenuación de metales pesados y otras sustancias inorgánicas, por precipitación, absorción o intercambio de cationes; absorción y biodegradación de hidrocarburos y compuestos orgánicos.

A pesar de esta función atenuante de los suelos, la amenaza de contaminación es mayor en los acuíferos sedimentarios libres o freáticos, especialmente en áreas en las que el nivel de agua es poco profundo y en las zonas de fractura de rocas.

Estas fuentes de contaminación del agua subterránea pueden ser puntuales o de fuentes dispersas. Existe una tabla de clasificación de fuentes de contaminación y contaminantes de IRITANI & EZAKI, 2008.

Existen varias estrategias de protección a escala regional y local (municipal).

Escala regional: Para la evaluación del peligro de contaminación de un acuífero en un lugar determinado puede realizarse por medio del análisis integrado de dos factores:

- Vulnerabilidad natural del acuífero a la contaminación.
- Caracterización de la carga contaminante en el lugar.

Se considera vulnerabilidad natural al conjunto de características intrínsecas del acuífero, desde la zona saturada, hasta la superficie del suelo, lo cual lo hace más o menos susceptible a la contaminación. (Foster e Hirata, 1988).

Escala local (municipal): La estrategia a nivel local consiste en la delimitación de perímetros de protección de pozos y otras obras de captación de aguas subterráneas, en las que son establecidas restricciones a la ocupación por actividades potencialmente contaminantes.

a) Implementación de perímetros de protección de pozos.

La distancia y el tiempo de tránsito de contaminantes son los criterios más utilizados para la delimitación de los perímetros de protección.

Los perímetros de protección de pozos son circunscritos a la zona de contribución. En algunos casos, esta área es muy extensa, pudiendo ser establecidos perímetros internos. La zona de influencia correspondiente al radio del cono de depresión del pozo, podría ser adoptado como perímetro de protección inicial.

Existe una amplia experiencia de la aplicación de estas medidas de gestión en países europeos como Alemania, Francia, Reino Unido, Holanda, Italia, entre otros. A continuación se presenta una tabla con los perímetros de protección y la zonificación correspondiente:





País	Perímetros de protección			
	Zona I	Zona II	Zona IIIA	Zona IIIB
Alemania	Radio de 20 m	Tiempo de tránsito de 50 días	Distancia de 2 km	Zona de captura
Francia	Perímetro inmediato 10 a 20 m	Perímetro próximo 1 a 10 hectáreas o 50 días de tiempo de tránsito	Perímetro alejado 0,2 a 15 km o criterio técnico	
Reino Unido	Zona I Protección interior 50 m o 50 días de tiempo de tránsito	Zona II Protección exterior 25% de ZC o 400 días de tiempo de tránsito	Zona III Captación total Zona de captura	Zona Z de protección especial Área fuera de ZC pero que puede transmitirle contaminación al pozo
Holanda	Área de captación 50 o 60 días de tiempo de tránsito	Área protección I 10 años de tiempo de tránsito	Área protección II 25 años de tiempo de tránsito	Área de recarga 50 a 100 años de tiempo de tránsito
Italia	Zona de protección absoluta	Zona respetada Mínimo de 200 m	Zona de protección, la zona de captura de la cuenca	

Fuente: IRITANI & EZAKI, 2010

8.1.3 Instrumentos de Gestión.

Una vez que se han delineado las estrategias de utilización y protección de los acuíferos, se debe de tratar de fortalecer el funcionamiento de 2 instrumentos básicos de gestión, acompañados de una campaña de comunicación a nivel de gestores de los sistemas de agua, principalmente:

- Implementación de una red básica de monitoreo de pozos.
- Implementación de una base de datos de pozos asociados a la cartografía hidrogeológica.
- Implementación de un programa de comunicación social, sobre la importancia de las aguas subterráneas.

a) Implementación de la red básica de monitoreo.

Una red básica de monitoreo de pozos debe ser concebida como una infraestructura estratégica, enfocada para el monitoreo a largo plazo, de forma permanente y continua del agua subterránea. (En la Cuenca del Plata existen redes de monitoreo de las aguas superficiales con más de 50 años de captación de datos, mientras que de las aguas subterráneas no existe ninguna).

La propuesta es instalar una red mínima de pozos en los acuíferos sedimentarios principales de la Cuenca del Plata (SAYTT, Baurú-Caiuá-Acaray y Guaraní aflorante), destinada a monitorear el nivel y la calidad química del agua subterránea. Para ese fin, deberán ser construidos pozos de pequeña profundidad, del orden de 30 a 50 metros, en los que serán realizadas mediciones periódicas y análisis de agua con la siguiente frecuencia: nivel de agua: remota y continuo, muestreo y análisis: semestral (estacional).



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



En Brasil ya existe una red de monitoreo mínima, la cual está instalada y siendo operativa por el CPRM. La propuesta es extenderla a los acuíferos citados en los otros países de la Cuenca y pasar a pasar a operarla bajo un mismo protocolo.

En la propuesta para el PAE se estima que podrían ser unos 15 pozos cuya distribución se plantea en la misma.

b) Implementación de una base de datos asociada a la cartografía hidrogeológica.

Durante la ejecución de este Proyecto se han recopilado miles de datos de pozos y mapas básicos. Se han elaborado cartogramas temáticos incorporados a la base de datos georeferenciada para análisis y consulta en formato SIG.

Ahora se trata de la implementación de la fase siguiente con la información disponible, en una estructura web, para hacer disponible a los usuarios de las aguas subterráneas y a los organismos gestores de los 5 países, generando una base de datos de fácil acceso y actualizada periódicamente.

Existe la experiencia del Estado de São Paulo, donde se ha creado además de la base de datos, una aplicación de utilidad para la toma de decisiones por los técnicos gestores del recurso, como consultas tabulares, que permiten localizar grupos de pozos, el registro de pozos, calcular el perímetro de protección de pozos, entre otras muchas funcionalidades.

c) Implementación de un programa de comunicación social de las aguas subterráneas.

Partiendo de la situación de que el agua subterránea es invisible, a diferencia de las aguas superficiales, se vuelve imprescindible elaborar una estrategia de comunicación que permita romper esa barrera de falta de conocimiento, sobre ocurrencia, circulación e importancia de las aguas subterráneas. Se debe enfocar en la búsqueda de unidad entre los usuarios y la sociedad en general para el uso racional y protección de los acuíferos.

En el desarrollo de la propuesta se plantea elaborar un conjunto de 5 (cinco) manuales en los 2 idiomas de la Cuenca (español y portugués). Estos podrían contener temas específicos relacionados a:

- Aguas Subterráneas: Un valioso recurso que requiere protección. (existe una publicación que serviría de base CEPIS/OPAS)
- Manual sobre mantenimiento de pozos (a elaborar). Dirigida a usuarios particulares y a los servicios municipales de abastecimiento de agua.
- Manual sobre protección de pozos y de la calidad del agua subterránea (a elaborar), Dirigida a usuarios particulares y a servicios municipales de abastecimiento de agua.
- Guía del usuario de aguas subterráneas (a elaborar). Procedimientos para la concesión de licencias de uso de agua de pozos y normas técnicas.
- Manual de construcción de pozos (a elaborar).

Todas estas acciones de comunicación deberían ser acompañadas con un portal web donde se haga disponible toda la información sobre protección de acuíferos, etc.





Otra propuesta que surgió de la última reunión del Grupo Temático Aguas Subterráneas, fue la de realizar una transecta que atravesase de Oeste a Este y otra de Norte a Sur, cubriendo toda la superficie del SAYTT. Esta transecta podría ser gravimétrica por los bajos costos que representa y la rapidez con la que se realiza. Podría ser realizada por el SEGEMAR, considerando que cuentan con los equipamientos necesarios y están en el SAYTT. Con estas transectas se obtendrían datos importantes del subsuelo para definir con mayor exactitud la base o piso del SAYTT.

8.2 PROPUESTAS DE LOS PAÍSES PARA EL PAE.

Una vez expuesta la propuesta de Brasil, se planteó la necesidad de que los países aportaran, en base a sus experiencias y conocimientos posibles proyectos demostrativos a ser citados en la propuesta de PAE. Así surgieron una serie de propuestas que ya habían sido muchas de ellas definidas en la fase anterior del Proyecto en el ADT 2005 y otros nuevos en base al conocimiento actual. Se presentan así las propuestas de los países:

- Propuesta de Uruguay de monitorear el SAG en las zonas de afloramientos (ventanas), de las areniscas. Esto coincide con la zona donde se desarrolló el piloto Cuareim/Quaraí. Esta área se caracteriza por el uso del agua subterránea para consumo humano, principalmente por las ciudades que se encuentran a ambos márgenes del río Cuareim/Quaraí.
- Otro punto importante para el monitoreo propuesto por Uruguay lo constituye el acuífero Salto (ya descrito en el capítulo 2, por el uso intensivo para riego).
- La zona de la cuenca litoral inferior del río Uruguay (bajo Uruguay), donde se encuentran las areniscas del Cretácico superior.

Con relación al SAYTT se toma como que el área de afectación estaría asociada al río Pilcomayo en unos 3 a 4 km a ambos lados de la frontera argentino - paraguaya. El resto no tendría prácticamente afectación. Por ese motivo se propone tomar como área de monitoreo la zona tripartita entre Argentina (Misión La Paz), Bolivia (La Esmeralda) y Paraguay (Pozo Hondo).

Otra área que debería ser considerada a futuro es la zona fronteriza entre Bolivia (Villazón) y Paraguay (Gral. Garay). Este punto es clave para definir la zona de recarga del acuífero Yrendá (lado paraguayo), que estaría dada en el paleodelta del río Parapití, del lado boliviano.

Otro punto importante que surge de este diagnóstico es la zona de recarga de los paleocauces existentes entre Argentina y Paraguay con agua de buena calidad.

Otro punto transfronterizo a ser considerado por la gran explosión agrícola ganadera que está produciendo sin ningún control, es el acuífero Adrián Jara (conocido también como acuífero Agua Dulce). Podría ser también un punto de descarga hacia el Pantanal.

Argentina propone dentro de su territorio una zona en la Provincia de Santiago del Estero que si bien no es transfronteriza, consideran importante por la presencia de paleocauces en la zona del río Salado.





9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Asamblea General ONU, 2009. **“63/124. El derecho de los acuíferos transfronterizos”**. Sexagésimo tercer período de sesiones. Tema 75 del programa. 9 pág. Naciones Unidas. Nueva York, EUA. <http://www.un.org/es/ga/63/resolutions.shtml>.

Couyoupetrou Luis Mario, 2014. **“Informe Socio Productivo Integrado preliminar del Sistema Acuífero Transfronterizo – Yrendá - Toba - Tarijeño – SAYTT.”** Programa Marco – CIC / SG-OEA. 53 pág.

Croce M., Godoy V.E., García S.D. 1991. **“Pozos Profundos en el Chaco Paraguayo: Banco Electrónico de Datos Hidrogeológicos e Hidroquímicos”**. PAR/88/009. Ministerio de Defensa Nacional – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 348 pág.

Ferraz Mourão, Caroline, 2014. **“Relatório contendo a análise das simulações do modelo Eta-20 km para a região da Bacia do Prata, utilizando as condições do HadGEM2-ES RCP 4.5, para o período de 1961-2100”**. Programa Marco – CIC / SG-OEA. 28 pág.

Galindo Griselda, 2013. **“Informe de Integración del SAYTT – Argentina”**. Programa Marco – CIC / SG-OEA. 94 pág.

García S. Daniel, Larroza Fernando, Godoy V. Eugenio, 1996. **“Síntesis de los Conocimientos Hidrogeológicos del Norte del Chaco Paraguayo”**. Memorias del 2do Simposio sobre Aguas Subterráneas y perforación de pozos en el Paraguay. Pág. 65-73

Rocha Gerônimo, 2014. **“Lineamientos de Utilización y Protección de las Aguas Subterráneas en la Cuenca del Plata”**. Aportes al GT Aguas subterráneas, Programa Marco CIC. 23 Pág.

Godoy V. Eugenio, 1990. **“Características Hidrogeológicas e Hidroquímicas de la Región Oeste del Chaco Paraguayo”**. Departamento de Abastecimiento de Agua para el Chaco – Ministerio de Defensa Nacional, Paraguay. 160 pág.

Guliano Francisco, 2013. **“Conjunto Basáltico de la Fm. Serra Geral (Neo jurásico- Eo cretácico) en la Mesopotamia Argentina”** Programa Marco – CIC / SG-OEA. 70 pág.

Guliano Francisco, 2014. **“Informe de Integración Geológica del Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño”**. Programa Marco – CIC / SG-OEA. 111 pág.

Heinzen Walter, et al., 2003. **“Carta Hidrogeológica del Uruguay. Escala 1:1.000.000”**. DINAMIGE – Ministerio de Industria, Energía y Minería. Montevideo, Uruguay.

Huaranca Olivera, Nelson, 2013. **“Estudio del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT) y el Pantanal, área en Bolivia”**. Subcomponente II.3 Gestión Integrada de Aguas Subterráneas. Programa Marco CIC y Departamento Desarrollo Sostenible – SG-OEA. 140 pág.

Huaranca Oliveira, Nelson, 2013. **“Estudio del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño y el Pantanal – Mapa Hidrogeológico”**. Subcomponente II.3 Gestión Integrada de Aguas Subterráneas. Programa Marco CIC y Departamento Desarrollo Sostenible – SG-OEA.

Instituto Geológico, 1982. **“Geología e Hidrogeología da região do distrito de Lagoa Branca, Casa Branca, SP, Aplicação de Sondagem Elétrica”**. Revista I.G., São Paulo, pág. 15 – 23.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA



PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE
LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,
EN RELACIÓN CON LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y
EL CAMBIO CLIMÁTICO

PROGRAMA MARCO PARA GESTÃO SUSTENTAVEL DOS
RECURSOS HIDRICOS DA BACIA DO PRATA,
CONSIDERANDO OS EFEITOS DECORRENTES DA
VARIABILIDADE E MUDANÇAS DO CLIMA

IRITANI, M. A. & EZAKI, S., 2010 **“As águas subterrâneas do Estado de São Paulo”**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA.

UNESCO, 2007 **“Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas - Evaluación Preliminar”**, Serie ISARM Américas N°1. PHI-LAC. Montevideo, Uruguay / Washington DC.

UNESCO, 2010 **“Aspectos Socioeconómicos, Ambientales y Climáticos de los Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas”**, Serie ISARM Américas N°3. PHI-LAC. Montevideo, Uruguay / Washington DC.

Larroza F., Fariña S., 2005. **“Caracterización Hidrogeológica del Sistema Acuífero Yrendá (SAY) en Paraguay: recurso compartido con Argentina y Bolivia”**. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 11 pág.

Oliveira Diniz, Joao et al., 2014. **“Diagnóstico e Cartografia das Águas Subterrâneas da Bacia do Prata”**. CPRM – Programa Marco – CIC.

Rojas, Carmen, 2014. **“Mapas Relacionados al Acuífero de la formación Alto Paraná, Paraguay, elaborados en base a la información recopilada”**. Programa Marco – CIC / SG-OEA. 84 pág.



CIC



GEF / FMAM



UNEP / PNUMA



OAS / OEA