



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Programa Hidrológico Internacional



ORGANIZACIÓN DE LOS  
ESTADOS AMERICANOS



# Sistemas Acuiferos Transfronterizos en las Américas

## Evaluación Preliminar

phi-LAC

Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO  
para América Latina y el Caribe

PHI-VI / Serie ISARM AMERICAS N° 1



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Programa  
Hidrológico  
Internacional



ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS  
AMERICANOS

## **PROGRAMA UNESCO/OEA ISARM AMÉRICAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE LAS AMÉRICAS**

# **SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LAS AMÉRICAS Evaluación Preliminar**

Edición preparada por Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos, Michela Miletto, María Concepción Donoso, Alice Aureli, Shammy Puri, Jac Van der Gun, Ofelia Tujchneider y Alfonso Rivera, con mapas editados por el Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Agua Subterránea (IGRAC) y textos sobre los sistemas acuíferos transfronterizos de los Coordinadores Nacionales

Montevideo/ Washington DC  
2007

Publicado en el 2007 por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y por el Departamento de Desarrollo Sostenible (DDS) de la Organización de Estados Americanos (OEA).

Serie ISARM Américas, Nº 1  
ISBN 92-9089-101-7

© UNESCO 2007

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figura no suponen por parte de la UNESCO y de la OEA la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO o de la OEA.

Se autoriza la reproducción, a condición de que la fuente se mencione en forma apropiada, y se envíe copia a la dirección abajo citada. Este documento debe citarse como:

UNESCO, 2007. Sistemas Acuíferos Transfronterizos en la Américas – Evaluación Preliminar, Serie ISARM Américas N°1.

Dentro del límite de la disponibilidad, copias gratuitas de esta publicación pueden ser solicitadas a:

Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC)  
Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe  
UNESCO  
Dr. Luis P. Piera 1992, 2º piso  
11200 Montevideo, Uruguay  
Tel.: + 598 2 413 2075  
Fax: + 598 2 413 2094  
E-mail: [phi@unesco.org.uy](mailto:phi@unesco.org.uy)  
<http://www.unesco.org.uy/phi>



ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS  
AMERICANOS

## **PROGRAMA UNESCO/OEA ISARM AMÉRICAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE LAS AMÉRICAS**

# **SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LAS AMÉRICAS Evaluación Preliminar**

Edición preparada por Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos, Michela Miletto, María Concepción Donoso, Alice Aureli, Shammy Puri, Jac Van der Gun, Ofelia Tujchneider y Alfonso Rivera, con mapas editados por el Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Agua Subterránea (IGRAC) y textos sobre los sistemas acuíferos transfronterizos de los Coordinadores Nacionales

**Montevideo/ Washington DC  
2007**



**Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO**

Andras Söllöszy-Nagy  
Director de la División de Ciencias del Agua

Alice Aureli  
Hidrogeóloga, Programa Hidrológico Internacional – PHI

María Concepción Donoso  
Hidrologa Regional, Oficina Regional de Ciencias para América Latina y Caribe

Shammy Puri  
Consultor UNESCO-PHI e ISARM  
Coordinador Programa Global ISARM  
Chair, IAH Commission on Transboundary Aquifers

**Organización de los Estados Americanos – OEA**

Thomas Scott Vaughan  
Director del Depto. de Desarrollo Sostenible – DDS

Jorge Rucks  
Jefe Área Geográfica América Latina – DDS

Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos  
Especialista Principal en Recursos Hídricos – DDS  
Coordinador Regional del Programa UNESCO/OEA  
ISARM Américas

Michela Miletto  
Especialista en Aguas Subterráneas  
Coordinadora Operativa del Programa UNESCO/OEA  
ISARM Américas

Lyda Ugas C.  
Asistente Técnica de Proyectos – DDS/OEA

**IGRAC**

Jac Van der Gun  
Director

**Coordinadores Nacionales (2003-2005)**

**ARGENTINA**  
Ofelia Tujchneider – UNL/CONICET

**BELICE**  
Ramón Frutos – BNMS

**BOLIVIA**  
Juan Torres Fernandez – SERGEOTECMIN

**BRASIL**  
Júlio Thadeu Silva Kettelhut –SRH/MMA

**CANADÁ**  
Alfonso Rivera – NRC/GSC

**CHILE**  
Jaime Muñoz – DGA/MOP

**COLOMBIA**  
Hugo Cañas Cervantes – IDEAM

**COSTA RICA**  
Rodrigo Calvo Porras – ICE

**ECUADOR**  
Napoleón Burbano Ortiz – INAMHI

**EL SALVADOR**  
Ana Deisy Lopez – SNET

**ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA**  
John Klein - USGS

**GUATEMALA**  
Fulgencio Garavito – INSIVUMEH

**GUYANA**  
Dilip Jaigopaul – HS

**HAITÍ**  
Yvelt Chery – SNRE

**HONDURAS**  
Franklin Amaya – DGRH

**MÉXICO**  
Rubén Cháves Guillén – CONAGUA

**NICARAGUA**  
Silvia Elena Martínez Espana –  
DRHC/MARENA

**PANAMÁ**  
Hilda Candanedo – ANAM

**PARAGUAY**  
Celso Velázquez – SEAM

**PERÚ**  
Edwin Zenteno Tupiño – INRENA

**REPÚBLICA DOMINICANA**  
Francisco Rodríguez – INDRHI

**SURINAME**  
Moekiran A. Amatali – HRD

**URUGUAY**  
Alejandro Arcelus – DNH/MTOP

**VENEZUELA**  
Fernando Decarli – DHMO/DGCH/MINAMB

## PREFACIO

Este libro es una evaluación regional de la interacción geográfica entre agua y medio ambiente en el tema de los recursos hídricos subterráneos que comparten fronteras en las Américas. Constituye el primer volumen de una serie de cuatro que seguirán. El segundo volumen cubrirá temas legales, el tercero cubrirá los aspectos socioeconómicos y ambientales, mientras que el cuarto presentará una visión regional para la gestión de los acuíferos transfronterizos.

El Programa UNESCO/OEA ISARM Américas es una iniciativa hemisférica bajo la coordinación conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO, a través del Programa Hidrológico Internacional – PHI y la Organización de los Estados Americanos – OEA.

Para la gestión de los recursos hídricos transfronterizos en las Américas, existe una variedad de instituciones nacionales, regionales e internacionales, pero pocas de ellas toman en consideración las aguas subterráneas. En algunos países determinadas instituciones gubernamentales o de investigación han iniciado gestiones para el estudio de los acuíferos transfronterizos.

El proyecto del libro está siendo desarrollado bajo el marco global del Programa ISARM UNESCO. ISARM (“International Shared Aquifer Resource Management”, siglas del nombre en inglés) fue lanzado en la 14ª Sesión del Consejo Intergubernamental del PHI de UNESCO en junio de 2000, en cooperación con varias organizaciones internacionales, como la Organización para Agricultura y Alimentación - FAO, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa - UNECE, la Comisión Social y Económica de las Naciones Unidas para Asia Occidental - UNESCWA y la Asociación Internacional de Hidrogeólogos - AIH, entre otras.

El presente volumen ha sido preparado tomando en cuenta la necesidad de información del público al cual va dirigido: a los tomadores de decisiones nacionales al más alto nivel dentro de los países que comparten acuíferos transfronterizos; a las agencias regionales que son parte de acuerdos multilaterales y a otras agencias involucradas con el desarrollo sostenible como la UNESCO, la OEA, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial – (GEF por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD y el Banco Mundial.

Aunque los recursos hídricos subterráneos son en extremo importantes para las economías nacionales en el continente americano, la gestión de los sistemas acuíferos transfronterizos no ha sido debidamente considerada. A fin de aumentar el nivel de conciencia y dar la importancia que se merece a este fundamental recurso, se hizo aquí el primer intento por sintetizar el conocimiento existente a la fecha sobre los acuíferos transfronterizos en las Américas, compartidos por dos o más países, su ubicación, ambiente y el estado de la gestión o la ausencia de ésta.

El libro intenta dar una visión general de los recursos hídricos subterráneos contenidos en los sistemas acuíferos transfronterizos y, de esta manera, sentar las bases para apoyar a los países en su uso sostenible y su protección, así como para lograr un desarrollo económico sostenido.

Este volumen presenta asimismo al estado actual del conocimiento de los recursos hídricos subterráneos transfronterizos en las Américas a una escala regional y también los vacíos de conocimiento encontrados, algunos de los cuales serán subsanados en el futuro. Las descripciones son preliminares, pero forman parte de un proceso de ampliación del conocimiento de los sistemas acuíferos transfronterizos de la región. Los esfuerzos han

sido canalizados hacia un formato común de presentación, siendo éste un ejemplo del alto nivel de colaboración internacional.

El objetivo de este libro es servir como un inventario referencial del conocimiento general al 2006, para el manejo futuro de los recursos hídricos subterráneos. No pretende presentar una descripción hidrogeológica detallada de los acuíferos transfronterizos de las Américas. En particular, este inventario espera establecer un marco de cooperación entre los países de las Américas y servir como fuente de conocimiento para ser usado en la gestión integrada de los recursos hídricos y en el uso sostenible de los acuíferos en la región. El programa mundial ISARM está desarrollando inventarios similares en otras regiones, tales como África, el Mediterráneo y Asia.

Durante la preparación de este libro se pudo observar un claro deseo de cooperación entre los participantes de los países de las Américas en los temas transfronterizos, apoyados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – Programa Hidrológico Internacional - UNESCO-PHI y la Organización de los Estados Americanos – OEA.

El libro está dividido en nueve capítulos. El primero trata de información general sobre los sistemas acuíferos transfronterizos en las Américas, incluyendo los antecedentes del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas y sus objetivos, el análisis de la información suministrada por los países al 2006, los mapas producidos y la leyenda correspondiente.

Los capítulos dos, tres, cuatro y cinco tratan, respectivamente, de los sistemas acuíferos transfronterizos en América del Norte, en el Caribe, en América Central y en América del Sur. Para cada sistema acuífero se presenta una ficha resumen de sus principales características y el mapa correspondiente, cuya información original fue preparada por los Estados Miembros.

El capítulo seis incluye una síntesis preliminar del conocimiento de los sistemas acuíferos transfronterizos de la región. El capítulo siete presenta las conclusiones obtenidas de manera resumida y recomendaciones para desarrollar actividades en el marco del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas a partir de 2007. El libro incluye además la lista de los autores e instituciones que participaron en su elaboración, así como los sitios web de las instituciones que colaboraron para la realización del mismo.

La UNESCO/PHI, la OEA, los Coordinadores Nacionales, los autores y colaboradores en la elaboración de las fichas de cada sistema acuífero transfronterizo de las Américas, conjuntamente con los editores, agradecen el apoyo de todos los organismos e instituciones nacionales de cada país que colaboraron con entusiasmo suministrando la información disponible para la preparación de este libro.

## Programa UNESCO/OEA ISARM Américas

### SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LAS AMÉRICAS Evaluación Preliminar

#### Tabla de Contenidos

	Página
<b>1. INVENTARIO DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS</b>	<b>1</b>
• Acuíferos transfronterizos	1
• Antecedentes	2
• Análisis de la información	3
• Mapas y leyenda	5
<b>2. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE NORTEAMÉRICA</b>	<b>14</b>
• Sinopsis sub-regional	14
• <b>CA-US</b> 1N-Abbotsford-Sumas; 2N-Okanagan-Osoyoos; 3N-Grand Forks; 4N-Poplar; 5N-Estevan; 6N-Northern Great Plains; 7N-Châteauguay.	16
• <b>MX-US</b> 8N-San Diego-Tijuana; 9N-Cuenca Baja del Río Colorado; 10N-Sonoyta-Pápagos; 11N-Nogales; 12N-Santa Cruz; 13N-San Pedro; 14N-Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla; 15N-Bolsón del Hueco-Valle de Juárez; 16N-Edwards-Trinity-El Burro; 17N-Cuenca Baja del Río Bravo/Grande.	30
<b>3. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DEL CARIBE</b>	<b>50</b>
• Sinopsis sub-regional	50
• <b>HT-DO</b> 1CB-Masacre; 2CB-Artibonito; 3CB-Los Lagos; 4CB-Pedernales	52
<b>4. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE CENTROAMÉRICA</b>	<b>60</b>
• Sinopsis sub-regional	60
• <b>GT-MX</b> 1C-Soconusco-Suchiate/Coatán; 2C-Chicomuselo- Cuilco/Selegua; 3C- Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán; 4C-Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal; 5C-Boca del Cerro-San Pedro; 6C- Trinitaria-Nentón	62
• <b>BZ-GT-MX</b> 7C-Península de Yucatán-Candelaria-Hondo	74
• <b>GT-BZ</b> 8C-Mopán-Belice; 9C-Pusila-Moho; 10C-Sarstún; 11C-Temash	76
• <b>GT-HN</b> 12C-Motagua; 13C-Chiquimula-Copán Ruinas	84
• <b>GT-HN-SV</b> 14C-Esquipulas-Ocotepeque-Citalá	88
• <b>SV-GT</b> 15C-Ostúa-Metapán; 16C-Río Paz	90
• <b>HN-NI</b> 17C-Estero Real-Río Negro	94
• <b>CR-PA</b> 18C-Sixaola	96
<b>5. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE SUDAMÉRICA</b>	<b>98</b>
• Sinopsis sub-regional	98
• <b>CO-PA</b> 1S- Choco-Darién	102
• <b>CO-VE</b> 2S-Táchira-Pamplonita; 3S-La Guajira	104
• <b>BR-GY-VE</b> 4S-Grupo Roraima	108
• <b>BR-GY</b> 5S-Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna	110
• <b>GY-SU</b> 6S-Zanderij; 7S-Coesewijne; 8S-A-Sand/B-Sand	112
• <b>BR-GF</b> 9S-Costeiro	116
• <b>CO-EC</b> 10S-Tulcán-Ipiales	118
• <b>EC-PE</b> 11S-Zarumilla; 12S-Puyango-Tumbes- Catamayo - Chira	120
• <b>BO-BR-CO-EC-PE-VE</b> 13S-Amazonas	124
• <b>BO-PE</b> 14S-Titicaca	126

• <b>BO-BR-PY</b> 15S-Pantanal	128
• <b>BO-PY</b> 16S-Agua Dulce	130
• <b>BO-CL</b> 17S-Ollagüe-Pastos Grandes	132
• <b>CL-PE</b> 18S-Concordia/Escritos- Caplina	134
• <b>BR-PY</b> 19S- Aquidauana-Aquidabán; 20S-Caiuá/Bauru-Acaray	136
• <b>AR-BR-PY-UY</b> 21S-Guaraní; 22S-Serra Geral	140
• <b>BR-UY</b> 23S-Litoráneo-Chuy; 24S-Permo-Carbonífero	144
• <b>AR-UY</b> 25S-Litoral Cretácico; 26S-Salto-Salto Chico	148
• <b>AR-BO</b> 27S-Puneños	152
• <b>AR-BO-PY</b> 28S-Yrendá-Toba- Tarijeño	154
• <b>AR-CL</b> 29S-El Cóndor-Cañadón del Cóndor	156
<b>6. SÍNTESIS DEL CONOCIMIENTO REGIONAL</b>	158
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	159
<b>8. AUTORES E INSTITUCIONES PARTICIPANTES</b>	160
<b>9. LISTA DE SIGLAS Y SITIOS WEB</b>	176

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente publicación es el producto de la colaboración entre el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO y el Departamento de Desarrollo Sostenible de la OEA.

La UNESCO y la OEA agradecen muy especialmente a los Coordinadores Nacionales del Programa ISARM Américas por la labor realizada durante la preparación del documento, así como a las instituciones que facilitaron la información para la elaboración de las fichas y los mapas.

Asimismo, agradecen a las instituciones y personas que facilitaron la realización de los cuatro talleres de coordinación del Programa (Montevideo, 2003; El Paso, 2004, San Pablo, 2005 y San Salvador, 2006).

Finalmente, la UNESCO y la OEA agradecen la labor de quienes colaboraron con la edición y revisión de esta publicación.

## 1. INVENTARIO DE LOS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

### Acuíferos transfronterizos

Las aguas subterráneas constituyen el noventa y ocho por ciento del volumen total de agua dulce disponible en todo el planeta. Éstas están almacenadas en acuíferos, ubicados a diferentes niveles de profundidad, desde acuíferos bajos, no confinados, a sólo algunos metros de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Se pueden encontrar aguas subterráneas en casi cualquier parte, trátase de zonas húmedas, áridas o semiáridas.

En las Américas y en el Caribe, especialmente en las regiones áridas, en donde puede encontrarse un ambiente natural frágil, el agua subterránea es un recurso vital que desempeña un papel estratégico, cada vez más importante para el desarrollo sostenible y la seguridad medioambiental.

En general, los problemas que afectan a las aguas subterráneas se relacionan con la falta de información. Muchas veces, datos que son vitales para la gestión del agua están fragmentados o no se encuentran disponibles. La falta de información afecta la forma en que los políticos y el público perciben a este valioso recurso subterráneo, y limita la comprensión de su importancia para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Ésto, generalmente se traduce en políticas fragmentadas y ausencia de estrategias de gestión integrada de los recursos hídricos a largo plazo.

A pesar de estos impedimentos, hay fundamentos para un desarrollo futuro. La base tecnológica y científica de la que se dispone para la gestión de los sistemas de aguas subterráneas es cada vez más consistente. Las ciencias relacionadas con las aguas subterráneas han generado avances en la comprensión generalizada de los sistemas acuíferos, facilitando la identificación y el desarrollo de estrategias sostenibles de explotación. Hoy día, se puede delinear la extensión y geometría de los acuíferos y sus zonas de recarga y a la vez determinar los volúmenes de agua almacenada. Asimismo, se pueden estimar y observar las características físicas y químicas del agua almacenada, incluyendo el trazado de contaminantes y sus movimientos, así como también las tasas de recarga.

Cada vez más los países del hemisferio están tomando en cuenta los adelantos científicos en la formación de sus marcos de regulación y sus estrategias de gestión de recursos hídricos, lo cual refleja el deseo de enfrentar los problemas relacionados con las aguas subterráneas de manera coherente e integrada.

Muchos de los acuíferos más importantes de las Américas son transfronterizos, o sea son compartidos por uno o más países. Tal como sucede con cualquier otro recurso transfronterizo, la gestión de estos acuíferos requiere de la colaboración entre varias instituciones nacionales y entre los diferentes países involucrados.

Este desafío es aún mayor debido a que no existe ningún marco legal internacional que haga referencia específica a los acuíferos transfronterizos. A pesar de esta ausencia, en años recientes los recursos hídricos subterráneos transfronterizos han recibido más atención por parte de la comunidad internacional (Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, 2002; III Foro Mundial del Agua, Kyoto, 2003; IV Foro Mundial del Agua, Ciudad de México, 2006).

Por otra parte, la Comisión de Derecho Internacional de la Organización de las Naciones Unidas (conocida por su acrónimo inglés UN-ILC), ha designado un subcomité especial para que revise las leyes existentes en materia de recursos naturales transfronterizos, con los acuíferos transfronterizos como tema de particular atención. La UNESCO está asistiendo a la UN-ILC en la redacción de varios artículos que podrían conformar el núcleo de una futura convención sobre los acuíferos transfronterizos y su gestión.

Los acuíferos transfronterizos también representan una oportunidad de integración y colaboración regional entre los usuarios del agua.

## **Antecedentes**

El Programa UNESCO/OEA ISARM Américas es una iniciativa que fue presentada por el Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO-PHI, conjuntamente con la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos/Departamento de Desarrollo Sostenible-OEA/DDS, durante el Taller sobre Acuíferos Transfronterizos que tuvo lugar durante el XXXII Congreso AIH/ALHSUD “Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano”, realizado en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, en octubre del año 2002.

Los principales objetivos del Programa son:

- Alcanzar un mejor conocimiento en torno a las aguas subterráneas transfronterizas de las Américas desde el punto de vista científico, ambiental, legal e institucional
- Obtener y validar información para la elaboración del Inventario de los Acuíferos Transfronterizos de las Américas.
- Seleccionar casos de estudio prioritarios con el fin de implementar proyectos piloto en diversas regiones de las Américas.
- Desarrollar un conjunto de medidas basadas en las experiencias de los países, para una gestión coherente de los recursos hídricos, que puedan ser aplicadas por los Estados Miembros de la UNESCO.
- Preparar y diseminar información científica para promover y apoyar medidas institucionales, como los convenios, en relación a la biodiversidad y otros acuerdos ambientales.

El Programa UNESCO/OEA ISARM Américas (Acuíferos Transfronterizos de las Américas) está coordinado por un Comité de Coordinación y por Coordinadores Nacionales de los Estados Miembros escogidos por los Comités Nacionales del Programa Hidrológico Internacional – PHI, y los Puntos Focales de la Red Interamericana de Recursos Hídricos - RIRH.

El grupo de coordinación UNESCO/ISARM realizó una evaluación de los inventarios existentes sobre acuíferos transfronterizos, primeramente de aquellos sobre cuencas ribereñas y luego el inventario de UNECE para Europa. El inventario realizado por la UNESCWA para la región mediterránea (ISARM-MED), también ha aportado algunas lecciones muy útiles. Basado en estas experiencias y en las lecciones aprendidas, el proceso de inventariar en las Américas pasó por diferentes etapas. Primero se comenzó con un cuestionario muy básico, que luego fue seguido de otros más detallados.



En este sentido, inicialmente se solicitó a los Coordinadores Nacionales completar cuestionarios con información técnica de los acuíferos transfronterizos conocidos. Esta información fue presentada en el I Taller de Coordinación, realizado en Montevideo, Uruguay, del 24 al 25 de septiembre de 2003, en donde se identificaron 60 acuíferos transfronterizos.

El II Taller de Coordinación se realizó en El Paso, Texas, EUA, del 10 al 12 de noviembre de 2004. Allí el número de acuíferos identificados alcanzó los 65.

Del 30 de noviembre al 2 de diciembre de 2005, en San Pablo, Brasil, se realizó el III Taller de Coordinación, durante el cual se analizaron los resultados del trabajo de integración de información entre los Coordinadores Nacionales, identificándose 68 acuíferos transfronterizos en las Américas, y estableciéndose la base para la elaboración de este libro, con la cooperación de IGRAC (siglas del nombre en inglés "International Groundwater Resources Assessment Centre") en la edición de los mapas.

Finalmente, el día 20 de noviembre de 2006, los Coordinadores Nacionales reunidos en San Salvador, El Salvador, aprobaron la versión final de este libro e iniciaron las bases para la preparación del segundo volumen del programa ISARM Américas, que comprende el conocimiento de los aspectos legales e institucionales de los sistemas acuíferos transfronterizos de las Américas.

Este proceso de consultas y revisiones revela que los recursos subterráneos transfronterizos anteriormente desconocidos, han sido identificados con un elevado nivel de conciencia, profesionalismo y espíritu de cooperación. Se puede visualizar, como resultado de esta gestión, la consolidación de la colaboración internacional con miras a un desarrollo económico regional.

## **Análisis de la información**

**Datos básicos** - Inventariar el conocimiento actual de los acuíferos transfronterizos en las Américas desde Canadá hasta Argentina/Chile, teniendo en cuenta que se trata de un total de 24 países, no es tarea sencilla. El nivel de conocimiento de las aguas subterráneas en las Américas es muy disperso. Por lo tanto, para preparar una visión general del continente hubo que tomar en consideración varios aspectos comunes, tales como: clima, paisaje, población, demanda de agua, significado del agua subterránea en la zona y características hidrológicas y geológicas del acuífero transfronterizo. La falta de información y los vacíos existentes fueron considerados durante los diálogos entre los países.

El significado o importancia de los sistemas acuíferos transfronterizos en las Américas es bastante diferente en cada caso. Mientras que en algunos casos estos recursos son la fuente principal de abastecimiento de agua, en otros casos estos recursos están poco explotados. Además, muchos de estos acuíferos son sumamente importantes debido a los ecosistemas que dependen de ellos, como es el caso del Acuífero Pantanal, compartido por Bolivia, Brasil y Paraguay.

El nivel de cooperación de los países varía, de casi inexistente a una cooperación técnica participativa de la sociedad, la comunidad científica y los gobiernos. Una iniciativa pionera en este sentido se reconoce en el acuerdo alcanzado entre los Gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay por proteger e implementar un uso sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, iniciativa apoyada por el Banco Mundial, el GEF y la OEA. El éxito inicial de este esfuerzo ha sido un factor dinamizador y un aliciente para avanzar en experiencias similares en el marco del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas.

Actualmente, no se vislumbran conflictos entre los países que comparten acuíferos en las Américas. De hecho, algunas instituciones locales o nacionales colaboran con los actores involucrados, lo que demuestra que la gestión de los recursos hídricos subterráneos está funcionando bastante bien, como en el caso de Canadá-EUA y México-EUA. En otros casos hay un deseo expreso de cooperar para evaluar y compartir información, como es el caso de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

La ubicación aproximada de los acuíferos transfronterizos identificados en las Américas está indicada en el mapa general. Esta distribución espacial fue obtenida principalmente en función de la formación geológica transfronteriza. Se pueden apreciar acuíferos de variadas extensiones. Los mapas muestran el área aproximada de los acuíferos, la topografía y la red hidrográfica.

Debido a que el agua subterránea es considerada como un "recurso invisible", también han sido incluidos los perfiles de algunos acuíferos, que muestran las condiciones hidrogeológicas. Cabe destacar que ésto ha sido posible en la medida en que la información ha estado disponible para cada caso.

**Contenido de las fichas** - Junto a cada mapa situacional de un acuífero transfronterizo, se encuentra la ficha respectiva con un resumen de las características principales del mismo. El propósito de este texto es informar a los tomadores de decisiones y brindar un instrumento informativo para motivar y apoyar la colaboración futura entre los Estados Miembros. Cada ficha fue diseñada tomando como base un modelo común para la descripción del acuífero y otros datos.

La ficha comprende una breve introducción con la ubicación del sistema acuífero y una descripción del rol de las aguas subterráneas y el medio ambiente. En aquellos casos en que se dispone de la información, la ficha contempla una descripción de las características del acuífero, incluyendo su composición, tamaño, espesor, productividad, vulnerabilidad, demanda de agua, tipo de uso del agua, y posibles problemas de calidad y cantidad.

La última parte de la ficha describe la importancia medioambiental, social y política del sistema acuífero transfronterizo, incluyendo los problemas de la región en que se encuentra. En cada ficha se presenta una lista de las publicaciones más relevantes sobre el acuífero descrito, en los casos en que estas están disponibles, para su posterior lectura y consulta.

**Observaciones sobre los sistemas acuíferos** - Los nombres de los sistemas acuíferos transfronterizos han sido reportados tal como se les conoce en la región, y según fueron proporcionados por los Coordinadores Nacionales de los Estados Miembros.

Los sistemas acuíferos transfronterizos identificados en las Américas en 2006 son: 17 en América del Norte, 4 en el Caribe, 18 en América Central, y 29 en América del Sur.

En América del Norte, los acuíferos transfronterizos están ubicados únicamente entre dos países debido a sus características geográficas. La misma situación se presenta en el Caribe, en donde solamente la isla La Hispaniola es compartida entre dos países.

En América Central fueron identificados dos acuíferos compartidos entre tres países. Los demás sistemas acuíferos son compartidos únicamente por dos países.

En América del Sur existen acuíferos transfronterizos que son compartidos por 2, 3, 4 y hasta 6 países, según sus dimensiones y ubicación geográfica.

En la página 19 se presenta una tabla de los acuíferos transfronterizos de las Américas identificados, el código correspondiente asignado a cada uno, y el nombre o nombres según los cuales son conocidos en cada uno de los países que los comparten.

## Mapas y leyenda

El mapa general y los mapas de cada sistema acuífero fueron preparados inicialmente por los organismos responsables de aguas subterráneas en cada uno de los Estados Miembros,

y luego adaptados por IGRAC. Como se mencionó anteriormente, los límites todavía son preliminares, pero indican la extensión aproximada de cada uno de los sistemas.

Cabe señalar que los mapas son instrumentos excelentes para la identificación y visualización de información geográficamente vinculada. En la actual etapa del inventario de los sistemas acuíferos transfronterizos de las Américas, los mapas se tornan particularmente útiles para mostrar la ubicación y el tamaño de estos acuíferos, para indicar a lo largo de que países se extiende cada uno de ellos y para dar una idea de su contexto geográfico general. Además, los mapas proporcionan la referencia geométrica tanto para descripciones más detalladas de los numerosos aspectos de cada acuífero transfronterizo, como para el desarrollo de la base para el establecimiento de un banco de datos avanzado con opciones múltiples de visualización, iniciativa que se está considerando para el futuro cercano.

Para la elaboración de los mapas de los sistemas acuíferos transfronterizos, los participantes en la ejecución del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas han adoptado los siguientes puntos de partida generales:

- El mapeo se enfoca en aquellos acuíferos que, según los Coordinadores Nacionales, se encuentran presentes en sus territorios nacionales como acuíferos transfronterizos y se basa en el material gráfico que los mismos proveen con respecto a estos acuíferos.
- Aparte de un mapa general de ubicación, se preparan mapas individuales de los acuíferos transfronterizos (uno por página).
- Estos mapas de los acuíferos individuales son uniformes en aspecto, a pesar de la variación enorme del tamaño de los mismos (formato uniforme).
- Cuando esto sea posible, se añade una sección hidrogeológica o diagrama conceptual, para ilustrar el contexto hidrogeológico del acuífero transfronterizo.

La coordinación general del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas, estuvo a cargo de la Organización de los Estados Americanos – OEA, a través de su Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS, eficientemente facilitada por su 'ftp site' en internet. La producción de la colección de mapas uniformes fue realizada por el Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Agua Subterránea - IGRAC, con el soporte técnico-científico y financiero de UNESCO/PHI y utilizando Arc-Info para el mapeo. La edición final del texto del capítulo introductorio estuvo a cargo del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC).

Los Coordinadores Nacionales de ISARM Américas hicieron un gran esfuerzo para proporcionar la información gráfica básica requerida para la producción de los mapas. La tabla a continuación, da una idea de la información recibida. Veinte de los sesenta y ocho acuíferos transfronterizos, fueron recibidos en formato SIG y cuatro de ellos en formato

AutoCad. Cada uno de estos archivos muestra los límites del acuífero en un contexto geográficamente referenciado.

Para los otros catorce acuíferos, se recibieron archivos SIG similares solamente para parte del acuífero (generalmente para un solo país), en combinación con archivos en formato netamente gráfico (e.g. jpg) para la parte complementaria. Ocho acuíferos transfronterizos se mapearon totalmente en base a estos archivos en formato gráfico, y otros cinco se basaron principalmente en archivos SIG encontrados por IGRAC en Internet, luego de la validación de los países correspondientes.

Debido a la inexistencia de información confiable, la delineación de quince acuíferos transfronterizos ha quedado incompleta, faltando en los mapas el límite del acuífero en por lo menos uno de los países que lo comparten.

Los materiales cartográficos proporcionados en formato netamente gráfico, muestran gran variación con respecto a la escala y la precisión cartográfica, a las categorías temáticas y al contenido de información acerca del acuífero. La mayor parte del material tiene escalas entre 1:250.000 y 1:5.000.000, observándose, sin embargo, algunos mapas con escalas mayores o menores.

La mayoría de los mapas recibidos consisten en mapas topográficos o mapas hidrográficos, pero se incluyen también mapas hidrogeológicos o geológicos. Especialmente en las últimas dos categorías de mapas, falta a menudo la delineación explícita del acuífero transfronterizo. La calidad cartográfica varía considerablemente, y va desde croquis simples, sin ninguna indicación de coordenadas y de escala, por un lado, a mapas con apariencia muy profesional, que incluyen las coordenadas, la escala del mapa y todos los detalles de la proyección usada (ver cuadro "Acuíferos transfronterizos y algunos de sus parámetros").

Elementos relevantes de los materiales gráficos proporcionados, fueron digitalizados por IGRAC para desarrollar los mapas de los correspondientes acuíferos transfronterizos en formato SIG.

El mapa general de ubicación muestra los límites y los números de identificación de los acuíferos transfronterizos inventariados en el hemisferio occidental. En los casos de superposición vertical de acuíferos transfronterizos, no siempre fue posible representarlos claramente en la escala dada. Por lo tanto, en algunos casos, los acuíferos sobrepuestos más pequeños han sido indicados simbólicamente por un círculo o un punto. El mapa de ubicación utiliza la proyección de Martillo-Aitoff.

Para los mapas de los acuíferos individuales, se decidió proyectarlos sobre un fondo topográfico, para facilitar la orientación y mostrar el contexto geográfico general. Los componentes de este fondo topográfico se seleccionaron en base a su disponibilidad y a la capacidad de producir una imagen consistente a través de todo el hemisferio occidental para un amplio rango de escalas

.Acuíferos inventariados y algunos de sus parámetros

ID	Nombre del acuífero	Países involucrados	Información cartográfica utilizada	Clasificación del límite	Fuente de información y observaciones
1N	Abbotsford-Sumas	CA-US	GIS1	1a	Proporcionado por CA
2N	Okanagan-Osoyoos	CA-US	GIS1	1a	Proporcionado por CA
3N	Grand Forks	CA-US	GIS1	1a	Proporcionado por CA
4N	Poplar	CA-US	GIS1	4b	Proporcionado por CA
5N	Estevan	CA-US	GIS1	4b	Proporcionado por CA
6N	Northern Great Plains	CA-US	DIG1	3b	Informe 'Regional Aquifer-System Analysis'
7N	Châteauguay	CA-US	GIS1	1a	Proporcionado por CA
8N	San Diego-Tijuana	MX-US	GIS1	2a(MX), 3a(US)	
9N	Cuenca Baja del Río Colorado	MX-US	DIG1(US), GIS1(MX)	1a(US), 2a(MX)	Mapa provisional 1985 (US)
10N	Sonoyta-Pápagos	MX-US	DIG1(US), GIS1(MX)	2a	Mapa provisional 1985 (US)
11N	Nogales	MX-US	GIS1(MX)	2a	Falta US
12N	Santa Cruz	MX-US	DIG1(US), GIS1(MX)	2a, c	Mapa provisional 1985 (US)
13N	San Pedro	MX-US	DIG1(US), GIS1(MX)	2a, c	Mapa provisional 1985 (US)
14N	Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla	MX-US	DIG1(US), GIS1(MX)	2a, c	Mapa provisional 1985 (US)
15N	Bolsón del Hueco-Valle de Juárez	MX-US	GIS1	1a,4c(US),2a(MX)	
16N	Edwards-Trinity-El Burro	MX-US	GIS1(US)	3a	Fuente: USGS; Falta MX
17N	Cuenca Baja del Río Bravo/Grande	MX-US	GIS1(US,MX)	3a	Fuente: USGS
1CB	Masacre	DO-HI	GIS1(DO), DIG2(HT)	2a(DO), 4a(HT)	Digitalizado con base en 'Grw Resources Map, USACE'
2CB	Artibonito	DO-HI	GIS1(DO)	2a	Falta HT
3CB	Los Lagos	DO-HI	GIS1(DO)	2a	Falta HT
4CB	Pedernales	DO-HI	GIS1(DO)	2a	Falta HT
1C	Soconusco-Suchiate/Coatán	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a	
2C	Chicomuselo-Cuilco/Selegua	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a, 4a	
3C	Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a	
4C	Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a	
5C	Boca del Cerro-San Pedro	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a, 4a	
6C	Trinitaria-Nentón	GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT)	2a, 4a	
7C	Península de Yucatán-Candelaria-Hondo	BZ-GT-MX	GIS1(MX), DIG1(GT,BZ)	2(GT), 4 (BZ,MX)	
8C	Mopán-Belice	BZ-GT	DIG1(GT)	2a	Falta BZ
9C	Pusila-Moho	BZ-GT	DIG1(GT)	2a	Falta BZ
10C	Sarstún	BZ-GT	DIG1(GT)	2a	Falta BZ
11C	Temash	BZ-GT	DIG1(GT)	2a	Falta BZ
12C	Motagua	GT-HN	DIG1(GT)	2a	Falta HN
13C	Chiquimula-Copán Ruinas	GT-HN	DIG1(GT)	2a	Falta HN
14C	Esquipulas-Ocotepeque-Citalá	GT-HN	DIG1	2a	Falta HN
15C	Ostúa-Metapán	GT-SV	DIG1	2a	
16C	Río Paz	GT-SV	DIG1	2a	
17C	Estero Real-Río Negro	HN-NI	DIG1	2b	
18C	Sixaola	CR-PA	DIG1	1a, 4a	
1S	Choco-Darién	CO-PA	GIS1 (PA)	1a	Falta CO

ID	Nombre del acuífero	Países involucrados	Información cartográfica utilizada	Clasificación del límite	Fuente de información y observaciones
2S	Táchira-Pamplonita	CO-VE		4c	Aproximación rectangular
3S	La Guajira	CO-VE	DIG2	3a	Mapa digital del USGS
4S	Grupo Roraima	BR-GY-VE	GIS1	3a	
5S	Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna	BR-GY	GIS1	3a	
6S	Zanderij	GY-SU	DIG2	3a	Mapa 'Groundwater Resources Suriname and Guyana' (USACE) y Mapa hidrogeológico de América del Sur (UNESCO)
7S	Coesewijne	GY-SU	DIG2	3a	
8S	A-Sand/B-Sand	GY-SU	DIG2	3a	
9S	Costero	BR-GF	GIS1	3a	
10S	Tulcán-Ipiales	CO-EC	GIS1	2b	Falta CO
11S	Zarumilla	EC-PE	DIG1	2a	Informe de Coello Rubio
12S	Puyango-Tumbes- Catamayo-Chira	EC-PE		4c	Aproximación rectangular
13S	Amazonas	BO-BR-CO-EC-PE-VE	GIS1	3a	
14S	Titicaca	BO-PE	GIS1 (PE)	3b	Falta BO
15S	Pantanal	BO-BR-PY	GIS1	2a	
16S	Agua Dulce	BO-BR	GIS1 (PY)	2a	Mapa hidrog. América del Sur (UNESCO-CIAT); Falta BO
17S	Ollagüe-Pastos Grandes	BO-CL	DIG1	2a, 4a	Con base en croquis, 1975
18S	Concordia/Escritos-Caplina	CL-PE	GIS1(PE) DIG1(CL)	2a	Con base en croquis, 1975
19S	Aquidauana-Aquidabán	BR-PY	GIS1	2a	
20S	Caiuá/Bauru-Acaray	BR-PY	GIS1	3a	
21S	Guaraní	AR-BR-PY-UY	DIG1	1a, c	Informe Acuífero Guaraní
22S	Serra Peral	AR-BR-PY-UY	GIS1	3a	
23S	Litoráneo-Chuy	BR-UY	GIS1	3a	
24S	Permo-Carbonífero	BR-UY	GIS1	3a	
25S	Litoral Cretácico	AR-UY	AUT	3a	
26S	Salto-Salto Chico	AR-UY	AUT	4a	
27S	Puneños	AR-BO	AUT	4a	
28S	Yrendá-Toba-Tarjeño	AR-BO-PY	AUT	1a	
29S	El Cóndor-Cañadón del Cóndor	AR-CL	DIG2	3b	Mapa digitalizado del USGS

Abreviaturas y códigos:

Material de base:

GIS1 Archivos SIG proporcionado por los coordinadores nacionales

GIS2 Archivos SIG encontrado en el Internet

DIG1 Mapa proporcionado por los coordinadores nacionales y digitalizado por IGRAC

DIG2 Mapa ubicado en el Internet y digitalizado por IGRAC

AUT Archivos AutoCad proporcionado por los coordinadores nacionales

Tipo del límite:

1 Acuífero

2 Cuenca hidrográfica

3 Formación geológica (o sus afloramientos)

4 Tipo no identificado

Grado de precisión del límite:

a Confiable

b Aproximado

c Inferido

Nota: los países son indicados por sus códigos internacionales.

Los componentes incluidos son:

- **Modelo digital de elevación (digital elevation model)**

Un modelo digital de elevación fue seleccionado como fondo general de los mapas. En este modelo se usaron colores para distinguir entre áreas que corresponden a distintos niveles de elevación. Para tal propósito se usó un modelo digital de elevación conveniente, con una rejilla de células de 30", que está disponible en *UNEP/GRID* (PNUMA), Ginebra. El modelo se llama GNV 191/192, y también es conocido como GTOPO030. Los archivos se bajaron desde el centro de datos *EROS*, Sioux Falls, EUA (<http://edcftp.cr.usgs.gov>).

Por razones estéticas y para que se reconozca fácilmente la elevación aproximada del terreno, las diferentes alturas y la secuencia de colores siguen aproximadamente los parámetros usados en el Atlas Mundial de Philip (*'Philip's Atlas of the World'*).

Los intervalos de elevación corresponden a 0, 200, 400, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 y 6000 metros sobre el nivel del mar. Para mejorar los mapas se añadieron curvas de nivel para estos intervalos.

- **Fronteras internacionales**

Las fronteras internacionales señaladas se adoptaron también de *UNEP/GRID* (PNUMA), Ginebra (<http://www.geodata/grid.unep.ch>). El archivo usado se llama `admin98.shp`.

- **Ríos y lagos**

Los ríos y lagos se tomaron del banco de datos *'World Boundary Databank 2'* (WDBII) y también de *UNEP/GRID* (PNUMA), Ginebra. Solamente se señala la ubicación de ríos y lagos, sin nombres. Estos fueron obtenidos de <http://rimmer.ngdc.naaa.gov/mgg/coast/getcoast.html>.

- **Ciudades y sus nombres**

La ubicación de las ciudades con sus nombres fueron adoptados del *Mapa Digital del Mundo* en el sitio <http://www.maproom.psu.edu/dcw>.

En cierta forma, se realizó una selección de elementos a partir de estas fuentes de datos. Además, se realizaron algunos ajustes para eliminar el traslape indeseado de componentes del mapa y por razones estéticas. Todos los mapas tienen básicamente el mismo tamaño - lo que implica que las escalas varían considerablemente - y han sido producidos en base a coordenadas geográficas. Todos los componentes topográficos y toda la información suministrada sobre los límites de los acuíferos transfronterizos, originalmente en proyecciones diversas, se han convertido a un sistema de coordenadas geográficas rectangular.













- **Leyenda**

Parte de la leyenda de los mapas representa simplemente los elementos geográficos convencionales según lo explicado arriba. Sin embargo, adicionalmente hay una leyenda dedicada a los acuíferos transfronterizos.

En primer lugar, se asignaron diferentes tipos de líneas para indicar un determinado grado de incertidumbre en la delineación de los límites del acuífero. En segundo lugar, el material entregado por los Coordinadores Nacionales no está comprendido en una sola definición de

acuifero transfronterizo, consistente a través de todo el hemisferio. Esto significa que los límites indicados se refieren a categorías de unidades conceptualmente distintas.

En los mapas se diferencia entre estas categorías de unidades usando distintos colores de líneas, según la categoría de límites. La siguiente figura define las distintas categorías consideradas y muestra los símbolos de la leyenda utilizados.

Clase	Descripción	Grado de confiabilidad del límite		
		Confiable	aproximado	inferido
1	Límite de 'acuifero verdadero' (cuerpo subterráneo con bastante capacidad de almacenar y transferir agua subterránea)			
2	Límite de cuenca hidrológica dentro de la cual se encuentran zonas subterráneas acuíferas			
3	Límite de formación geológica (o sus afloramientos) dentro de la cual se encuentran zonas subterráneas acuíferas			
4	Unidad transfronteriza subterránea posiblemente correspondiente a una de las clases anteriores, pero no clasificada todavía			

En algunos casos, los acuíferos transfronterizos identificados son 'acuíferos verdaderos' en el sentido hidráulico, que significa que son cuerpos subterráneos hidráulicamente continuos con una capacidad relativamente alta de transferir y almacenar agua subterránea.

En una segunda categoría de casos, las unidades se refieren a cuencas hidrológicas, con sistemas de agua subterránea incluidas como componentes del sistema hidrológico total.

En una tercera categoría, los límites no demarcan un acuífero, sino la extensión horizontal de una formación geológica (con acuíferos potenciales incluidos, pero no necesariamente a través de la extensión entera de la unidad) o de sus afloramientos.

Obviamente, una unidad transfronteriza que pertenece a la segunda o tercera categoría solamente es un 'proxy' del acuífero transfronterizo verdadero. De todas las unidades transfronterizas presentes en los mapas, solamente un 12% corresponden a 'acuíferos verdaderos' según lo definido arriba.

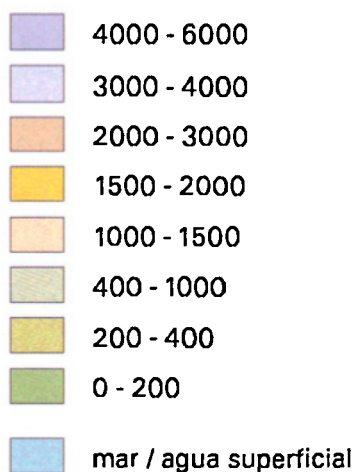
Los límites de aproximadamente 46% de las unidades, corresponden a cuencas hidrológicas y en un 26% de los casos, los límites corresponden a los de una formación geológica o a sus afloramientos. En la fracción restante, los límites de la unidad transfronteriza no se han podido clasificar por falta de información.

La leyenda de las elevaciones sobre el nivel del mar, presente en los mapas, es la siguiente:



## LEYENDA

Altura (msnm)



Para un número limitado de acuíferos, los Coordinadores Nacionales de ISARM Américas enviaron una sección hidrogeológica o un diagrama conceptual, explicando el contexto hidrogeológico general del mismo. Esta información ha sido añadida directamente debajo del mapa del acuífero correspondiente.

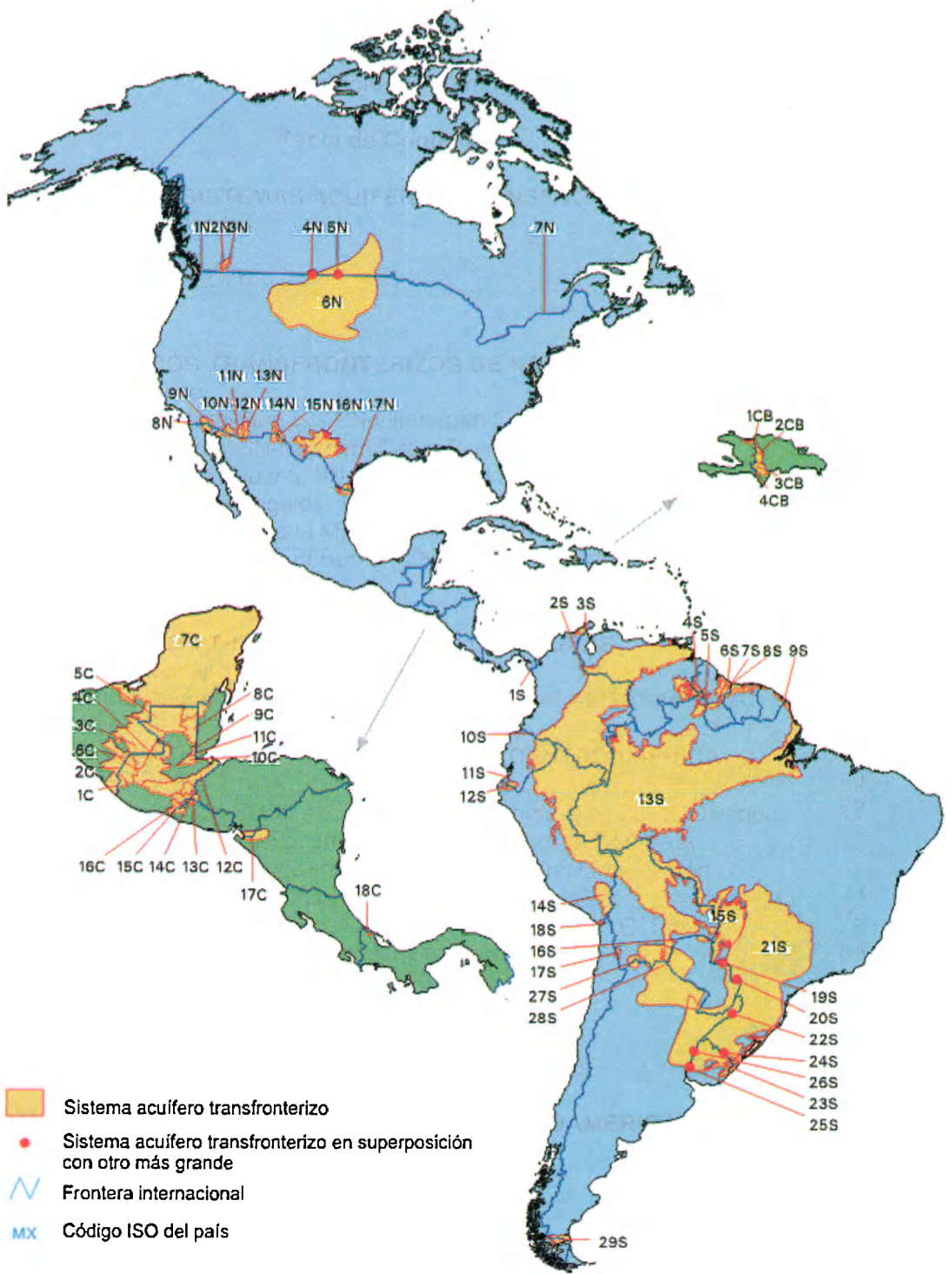
Los mapas todavía presentan algunas incertidumbres e inexactitudes, aunque se hicieron esfuerzos para reducirlas al mínimo. IGRAC utilizó fuentes de información adicionales para validar la información en casos de duda o informaciones contradictorias.

Los Coordinadores Nacionales, por otra parte, aportaron nuevos datos respecto a los mapas provisionales, lo que ha permitido a IGRAC corregirlos y mejorarlos.

**SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE LAS AMÉRICAS  
IDENTIFICADOS AL 20/11/2006**

<b>AMÉRICA DEL NORTE/NORTH AMERICA</b>					
1N	Abbotsford-Sumas	Canadá-EUA	9N	Cuenca Baja del Río Colorado	México-EUA
2N	Okanagan-Osoyoos	Canadá- EUA	10N	Sonoyta-Pápagos	México-EUA
3N	Grand Forks	Canadá- EUA	11N	Nogales	México-EUA
4N	Poplar	Canadá- EUA	12N	Santa Cruz	México-EUA
5N	Estevan	Canadá- EUA	13N	San Pedro	México-EUA
6N	Northern Great Plains	Canadá- EUA	14N	Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla	México-EUA
7N	Châteauguay	Canadá- EUA	15N	Bolsón del Hueco-Valle de Juárez	México-EUA
8N	San Diego-Tijuana	México- EUA	16N	Edwards -Trinity-El Burro	México-EUA
			17N	Cuenca Baja del Río Bravo/Grande	México-EUA
<b>CARIBE/CARIBBEAN</b>					
1CB	Masacre	Haití-Rep. Dominicana	3CB	Los Lagos	Haití-Rep. Dominicana
2CB	Artibonito	Haití-Rep. Dominicana	4CB	Pedernales	Haití-Rep. Dominicana
<b>AMÉRICA CENTRAL/CENTRAL AMERICA</b>					
1C	Soconusco-Suchiate/Coatán	Guatemala-México	10C	Sarstún	Guatemala-Belice
2C	Chicomuselo-Cuilco/Selegua	Guatemala-México	11C	Temash	Guatemala-Belice
3C	Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán	Guatemala-México	12C	Motagua	Guatemala-Honduras
4C	Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal	Guatemala-México	13C	Chiquimula-Copán Ruinas	Guatemala-Honduras
5C	Boca del Cerro-San Pedro	Guatemala-México	14C	Esquipulas-Ocotepeque-Citalá	Guatemala-Honduras-El Salvador
6C	Trinitaria-Nentón	Guatemala-México	15C	Ostúa-Metapán	El Salvador-Guatemala
7C	Península de Yucatán-Candelaria-Hondo	Guatemala-México-Belice	16C	Río Paz	El Salvador-Guatemala
8C	Mopán-Belice	Guatemala-Belice	17C	Estero Real-Río Negro	Honduras-Nicaragua
9C	Pusila-Moho	Guatemala-Belice	18C	Sixaola	Costa Rica-Panamá
<b>AMÉRICA DEL SUR/SOUTH AMERICA</b>					
1S	Choco-Darién	Colombia-Panamá	16S	Agua Dulce	Bolivia-Paraguay
2S	Táchira-Pamplonita	Colombia-Venezuela	17S	Ollagüe-Pastos Grandes	Bolivia-Chile
3S	La Guajira	Colombia-Venezuela	18S	Concordia/Escritos-Caplina	Chile-Perú
4S	Grupo Roraima	Brasil-Guyana-Venezuela	19S	Aquidauana-Aquidabán	Brasil-Paraguay
5S	Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna	Brasil-Guyana	20S	Caiuá/Bauru-Acaray	Brasil-Paraguay
6S	Zanderij	Guyana-Suriname	21S	Guaraní	Argentina-Brasil-Paraguay-Uruguay
7S	Coesewijne	Guyana-Suriname	22S	Serra Geral	Argentina-Brasil-Paraguay-Uruguay
8S	A-Sand/B-Sand	Guyana-Suriname	23S	Litoráneo-Chuy	Brasil-Uruguay
9S	Costeiro	Brasil-Guayana Francesa	24S	Permo-Carbonífero	Brasil-Uruguay
10S	Tulcán-Ipiales	Colombia-Ecuador	25S	Litoral Cretácico	Argentina-Uruguay
11S	Zarumilla	Ecuador-Perú	26S	Salto-Salto Chico	Argentina-Uruguay
12S	Puyango-Tumbes-Catamayo - Chira	Ecuador-Perú	27S	Puneños	Argentina-Bolivia
13S	Amazonas	Bolivia-Brasil-Colombia-Ecuador-Perú-Venezuela	28S	Yrendá-Toba -Tarijeño	Argentina-Bolivia-Paraguay
14S	Titicaca	Bolivia-Perú	29S	El Cóndor-Cañadón del Cóndor	Argentina-Chile
15S	Pantanal	Bolivia-Brasil-Paraguay			

# Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas

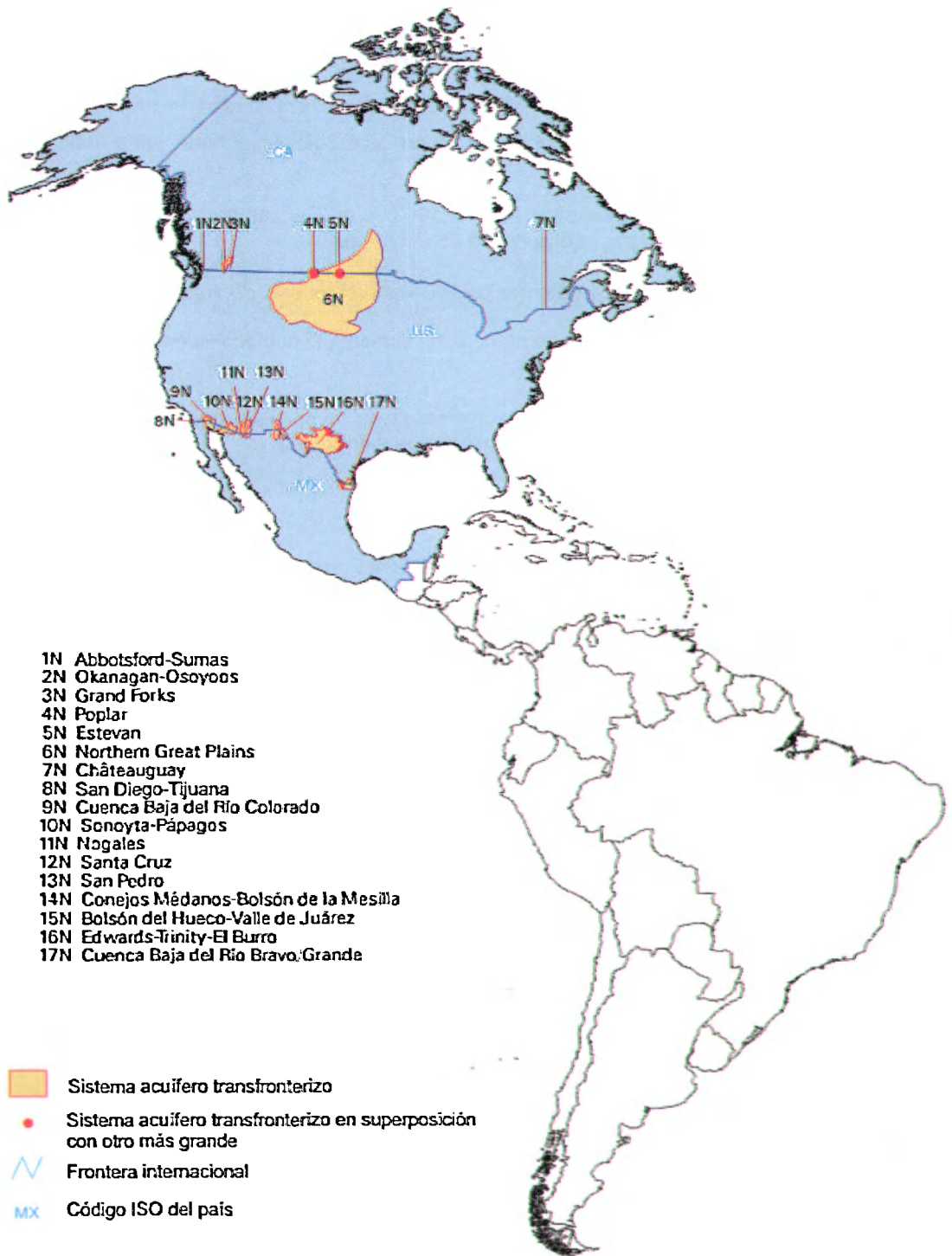


## 2. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE NORTEAMÉRICA

**Sinopsis sub-regional** - En Norteamérica, las características más significativas de los sistemas acuíferos transfronterizos se indican en el siguiente cuadro:

Países	Sistemas acuíferos transfronterizos	Características más significativas
Canadá- Estados Unidos	1N - Abbotsford-Sumas	Área de 100 km <sup>2</sup> . Abastece 10.000 personas en EUA y 100.000 en Canadá. Sobre-explotación a nivel local
	2N - Okanagan-Osoyoos	Área de 25 km <sup>2</sup> . Mayor uso en Canadá, todo el año. Incremento de población por el desarrollo de viñedos.
	3N - Grand Forks	Área de 34 km <sup>2</sup> . Mayor uso en Canadá, en el verano: riego y doméstico. Tiene excelente base de datos.
	4N - Poplar	Muy poca información. Un comité bilateral Canadá-EUA ha sido formado. Área más de 10.000 km <sup>2</sup> .
	5N - Estevan	Área de 280 km <sup>2</sup> . Mayor uso en Canadá, donde existen estudios.
	6N - Northern Great Plains	Gran sistema acuífero con más de 500.000 km <sup>2</sup> , con 75% en EUA. La demanda de agua es baja.
	7N - Châteauguay	Área de 2.500 km <sup>2</sup> . Muy importante en Canadá con 55% del área total y con alta demanda para todos los usos.
México- Estados Unidos	8N - San Diego-Tijuana	Área pequeña. Muy explotado en México. Problemas de intrusión salina y contaminación. Clima semi-árido.
	9N - Cuenca Baja del Río Colorado	Mayor uso en territorio mexicano. Problemas de contaminación difusa por prácticas agrícolas. Clima semi-árido.
	10N - Sonoyta-Pápagos	Baja densidad de población. Mayor uso agrícola en México. Agua salobre a nivel local. Clima semi-árido.
	11N - Nogales	Uso urbano e industrial en los dos países. Problemas de contaminación. Clima semi-árido.
	12N - Santa Cruz	Mayor uso en EUA para fines agrícolas. Varios estudios fueron realizados. Clima semi-árido.
	13N - San Pedro	Mayor área en EUA. Importante para el desarrollo agrícola de ambos países. Clima semi-árido.
	14N - Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla	Poco desarrollo en ambos países. Área de 10.000 km <sup>2</sup> . Clima semi-árido.
	15N - Bolsón del Hueco-Valle de Juárez	Más importante para México para uso doméstico y agrícola. Área de 8.000 km <sup>2</sup> . Clima semi-árido.
	16N - Edwards Trinity-El Burro	Muy utilizado para abastecimiento doméstico en EUA, donde se ubica más de 90% de su área. Clima semi-árido.
	17N - Cuenca Baja del Río Bravo/Grande	La recarga está relacionada a los caudales del río. Problemas de salinidad. Clima semi-árido.

## Sistemas Acuíferos Transfronterizos de Norteamérica



## CANADA-ESTADOS UNIDOS.

### 1N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ABBOTSFORD-SUMAS CANADÁ-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Abbotsford-Sumas está ubicado entre la parte sudoeste de la Columbia Británica y la zona noroeste del Estado de Washington.

Abastece cerca de 10.000 personas en EUA y de 100.000 en Canadá por un valor total de aproximadamente 234.420 m<sup>3</sup>/día en promedio anual, equivalente a 85 mm<sup>3</sup>/año.

Se trata de un acuífero no confinado de cerca de 100 km<sup>2</sup>; compuesto de arena y gravas, cuyo volumen total es de aproximadamente 3,7 km<sup>3</sup>.

La recarga proviene de Canadá y es entre 650 y 1150 mm/año, lo que equivale entre 30 a 60 mm<sup>3</sup>/mes; el flujo es de Norte a Sur.

Es altamente vulnerable a la contaminación como resultado de labores agrícolas y también de la migración de contaminantes como consecuencia de sobre-explotación a nivel local.

Un equipo internacional coopera en la gestión del acuífero mediante un intercambio regular de información y la toma de decisiones en forma conjunta.

Las incertidumbres que existen en torno a este sistema están relacionadas al volumen del acuífero, su sostenibilidad y a los impactos del bombeo, en la migración contaminante, y en la calidad del agua subterránea.

#### Referencias

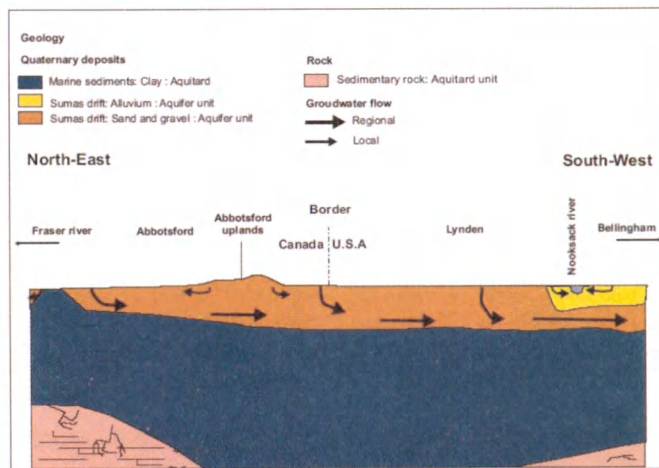
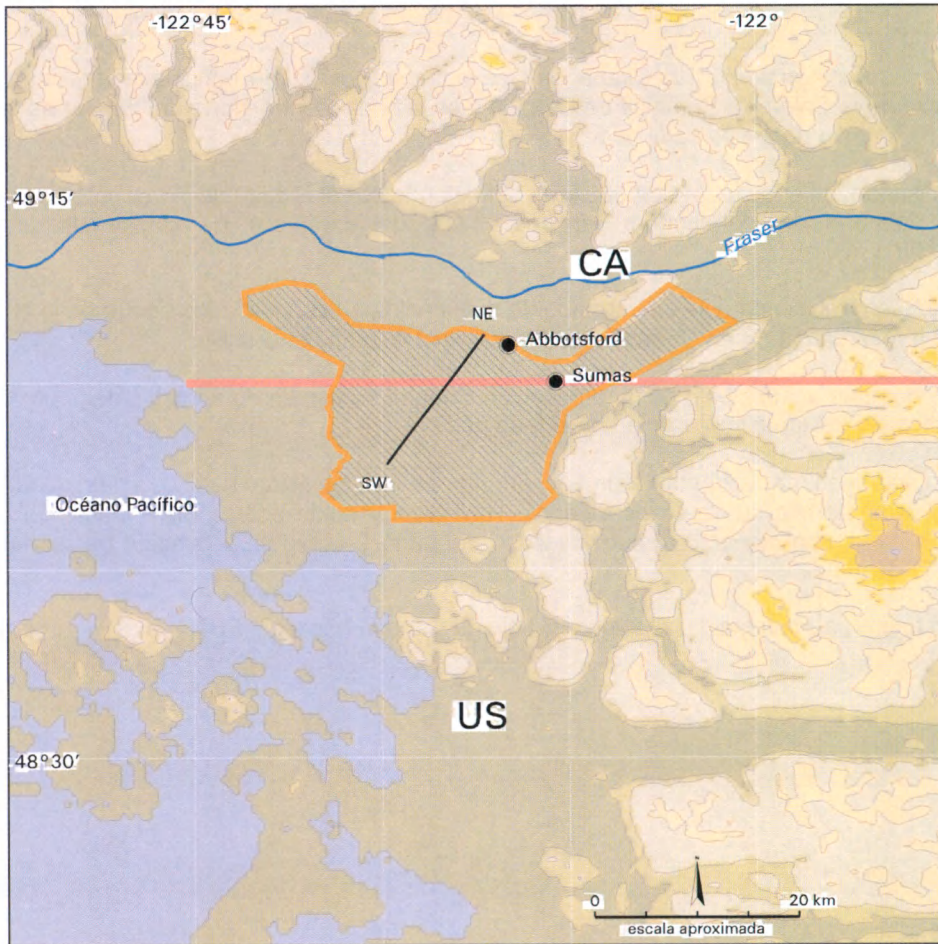
*Scibek, J., and Allen, D.M. 2005. Numerical groundwater flow model of the Abbotsford- Sumas aquifer, central Fraser Lowland of BC, Canada, and Washington State, US. Final Environmental report ,Canada, Vancouver, BC, 211 pp.*

#### Autores:

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA



# Sistema Acuífero Abbotsford-Sumas 1N CA-US



## 2N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO OKANAGAN-OSOYOOS CANADÁ-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Okanagan-Osoyoos está localizado principalmente en la zona Centro-Sur de la Provincia de la Columbia Británica en Canadá y en la zona Centro-Norte del Estado de Washington en los EUA. El clima en esta región es semi-árido.

La Cuenca Okanagan tiene cerca de 8000 km<sup>2</sup>, se extiende por el Estado de Washington y su mayor extensión hacia el Sur define el área del acuífero Osoyoos. El área del acuífero es de aproximadamente 25 km<sup>2</sup> con un espesor de 100 a 500 m.

El sistema acuífero multicapa está conformado de sedimentos no consolidados dentro de la cuenca hidrográfica Okanagan. La recarga ocurre en Canadá y la dirección del flujo es hacia el Sur.

La demanda de agua actualmente es moderada. En Canadá su uso es de aproximadamente 63 mm<sup>3</sup>/a. No hay un uso significativo del agua subterránea en el lado de EUA.

La cuenca Okanagan se enfrenta a un incremento de la población debido a las condiciones climáticas favorables y al desarrollo creciente de viñedos. Hay preocupación acerca del impacto del desarrollo en las aguas subterráneas con respecto al uso y calidad del Lago Okanagan, y también por el impacto del cambio climático en la demanda de agua.

El desarrollo futuro podría impactar el Lago y el flujo de Canadá hacia los EUA.

### Referencias

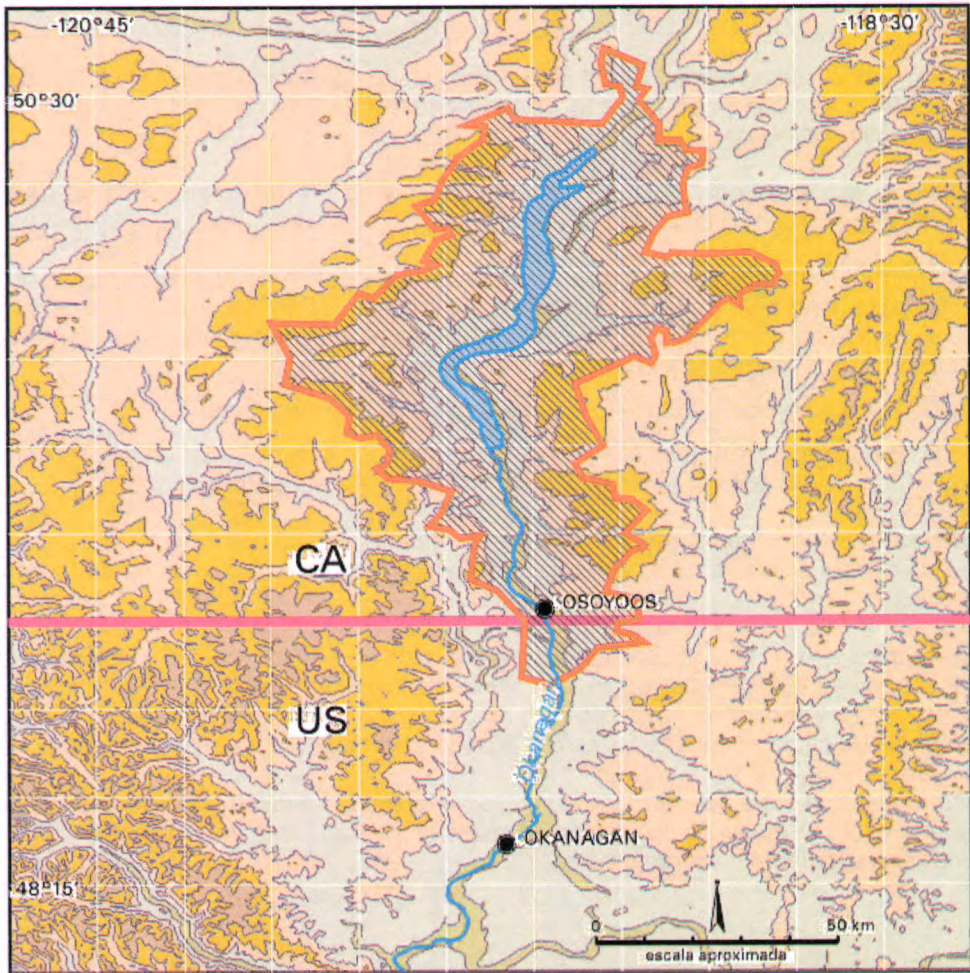
- York G. and A. Murray, 1993. *A Preliminary Land Use Assessment for Osoyoos BC 1993 by George York, and Osoyoos Pilot Pesticide Study 1993, by, A Report on the Osoyoos Region Lake Water Quality Pesticides and Groundwater 1993 by Okanagan University College Water Quality Technology*
- *Groundwater Monitoring Project 1989: Monitoring Well Construction Project.*
- Hodge, W.S., 1985. *Assessment of Water Quality and Identification of Water Quality Concerns and Problem Areas-Osoyoos.*
- Hodge, W.S., 1985. *Groundwater Quality Monitoring and Assessment Program-Osoyoos.*

### Autores:

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA



Sistema Acuífero Okanagan-Osoyoos  
2N CA-US



### 3N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO GRAND FORKS CANADÁ-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Grand Forks está localizado entre la zona Centro-Sur de las Provincias de Columbia Británica en Canadá y la parte Centro-Norte del Estado de Washington en los EUA, donde se encuentra un clima semi-árido.

La extensión del acuífero es de 34 km<sup>2</sup> y tiene un espesor de 50-100 metros. Se trata de un acuífero aluvial compuesto de sedimentos no consolidados.

La porción principal del acuífero se ubica en Canadá, principalmente alrededor de Grand Forks, Columbia Británica, con sólo una presencia localizada en EUA. La recarga ocurre en Canadá y la dirección del flujo es del Este hacia el Sur dentro de los EUA. En la parte de EUA se estima que el flujo es a lo largo de los Ríos Granby y Kettle hacia el Este, y luego hacia el Sur dentro de los EUA.

El volumen del acuífero es de 1,7 km<sup>3</sup> y la recarga está entre 30 a 120 mm/a.

La demanda de agua en la región es alta y es para uso múltiple; la explotación del acuífero en Canadá es de un máximo de 21.500 m<sup>3</sup>/día durante el verano, y mucho menos el resto del año.

En los EUA es un acuífero de interés solamente local; en esta área el uso de la tierra es principalmente para la agricultura. Este acuífero no ha sido estudiado mucho en los EUA porque no ha sido considerado como un sistema acuífero mayor.

El problema principal en el lado de Canadá está relacionado al cambio climático y cómo éste impacta en el flujo y en su disponibilidad. Esos impactos han sido estudiados con modelos numéricos (Allen y Scibek, 2004) para permitir una mejor evaluación y comprensión de los presupuestos que se designen para el agua y la incorporación de los cambios durante las estaciones vs. la demanda de agua subterránea.

El Acuífero Grand Forks fue seleccionado como caso de estudio debido a que tiene disponible una excelente base de datos, al hecho de que la comunidad se abastece del agua subterránea para uso doméstico e irrigación y a su condición de acuífero transfronterizo.

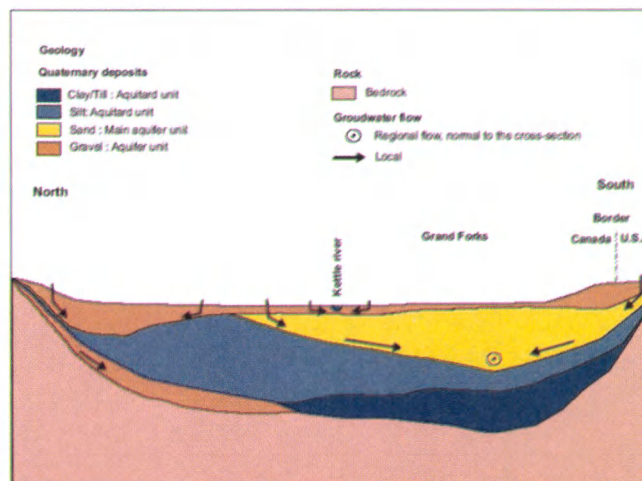
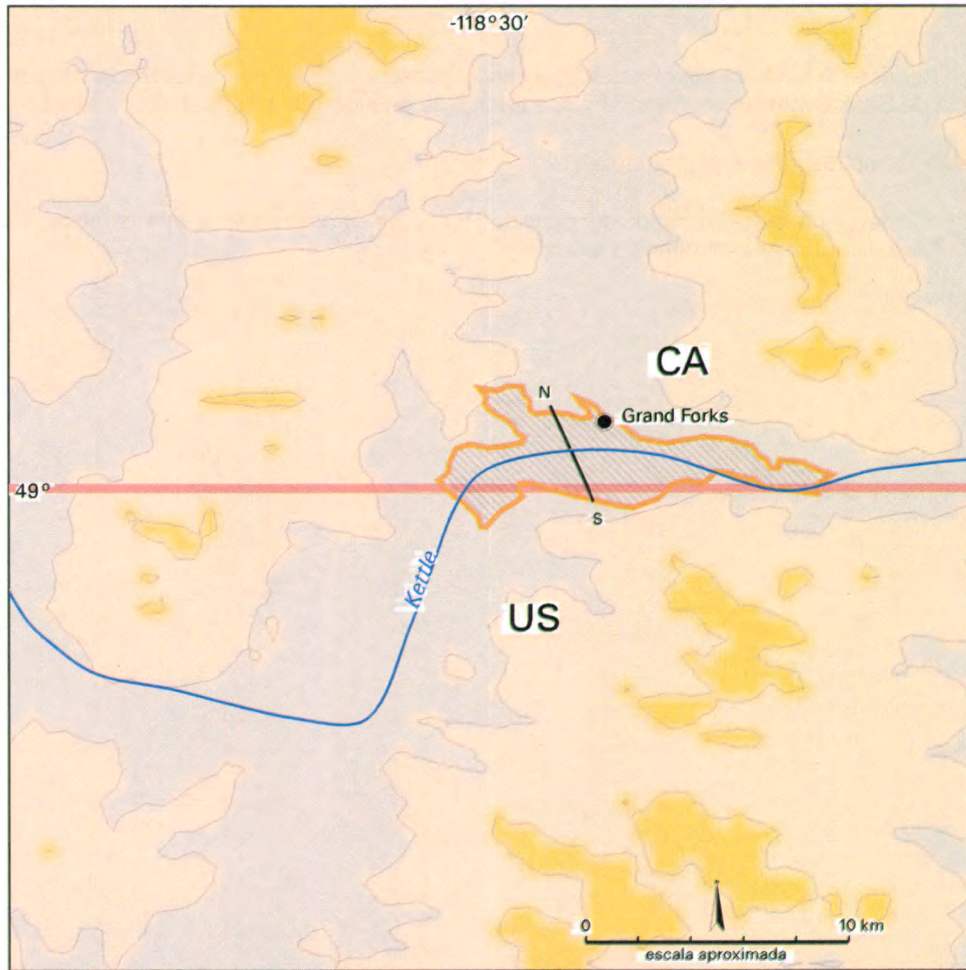
#### Referencias

- Allen, D. and Scibek, J., 2004. *Climate Change and Groundwater: A Modelling Approach for Identifying Impacts and Resource Sustainability in the Central Interior of British Columbia. Report prepared for: Climate Change Action Fund, Natural Resources Canada. Simon Fraser University, March 2004, 381 p*

#### Autores:

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA

Sistema Acuífero Grand Forks  
3N CA-US



**4N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO POPLAR  
CANADÁ-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Poplar (Ravenscrag, hacia el Este) ocupa un tercio de la porción superior de la Provincia de Saskatchewan en Canadá y dos tercios se encuentran en el Estado de Montana en los EUA.

No hay información disponible al momento.

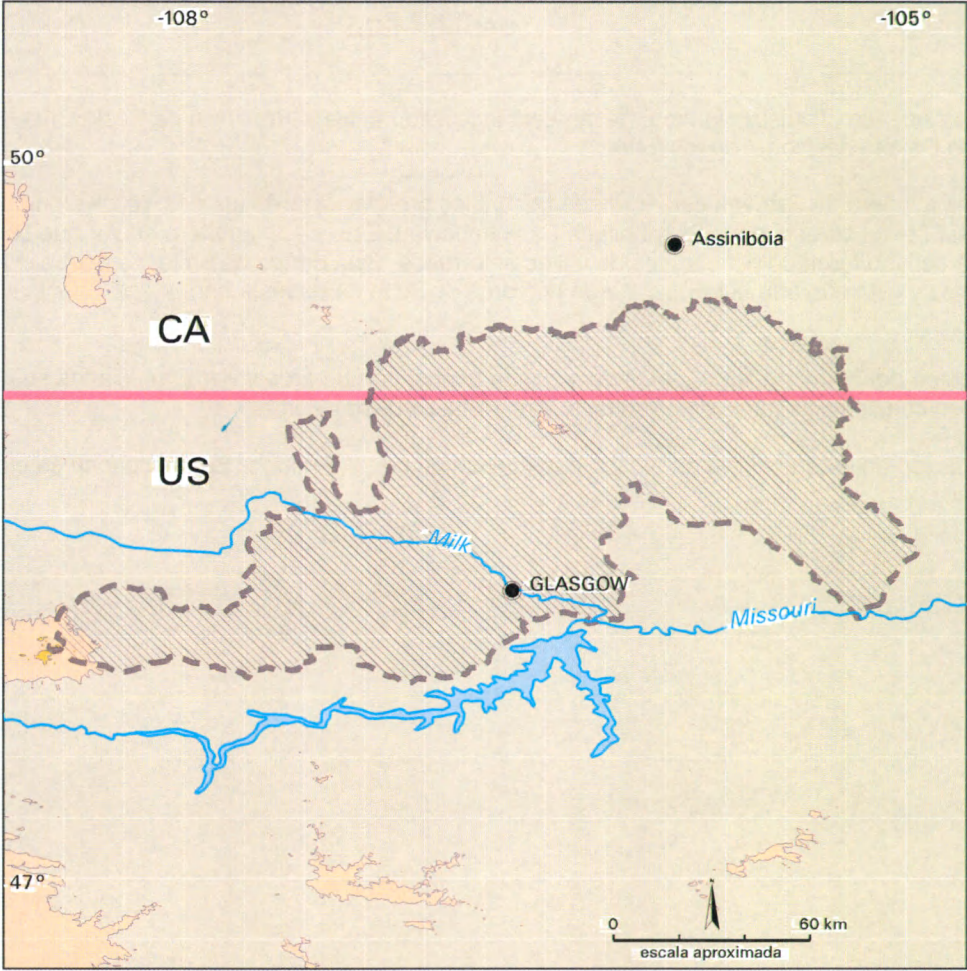
Un Comité Bilateral ha sido formado; su principal tarea es implementar e intercambiar información para el monitoreo. No existe una acción definida todavía.

**Autores:**

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA



Sistema Acuífero Poplar  
4N CA-US



## 5N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ESTEVAN CANADÁ-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Estevan está localizado entre la Provincia de Saskatchewan en Canadá y el Estado de Dakota del Norte, en los EUA.

El sistema acuífero de Estevan está formado por valles pre-glaciares de los ríos Yellowstone, Missouri y el "Northwest", en el sureste de la Provincia de Saskatchewan. Este es un acuífero mayor que cae dentro de la categoría del tipo formado por canales de valles enterrados. Está dentro de un lecho de rocas muy poco permeables y está cubierto por un acuitardo de cerca de 80 m de espesor compuesto principalmente de morenas.

Abarca cerca de 70 km de largo y más de 4 km de ancho, con un grosor de 80 m. Dadas sus características de acuífero en canales con valles enterrados, su área total es desconocida.

La explotación de este acuífero en el lado canadiense es de 37,5 mm<sup>3</sup>/a. Se desconoce su explotación del lado americano.

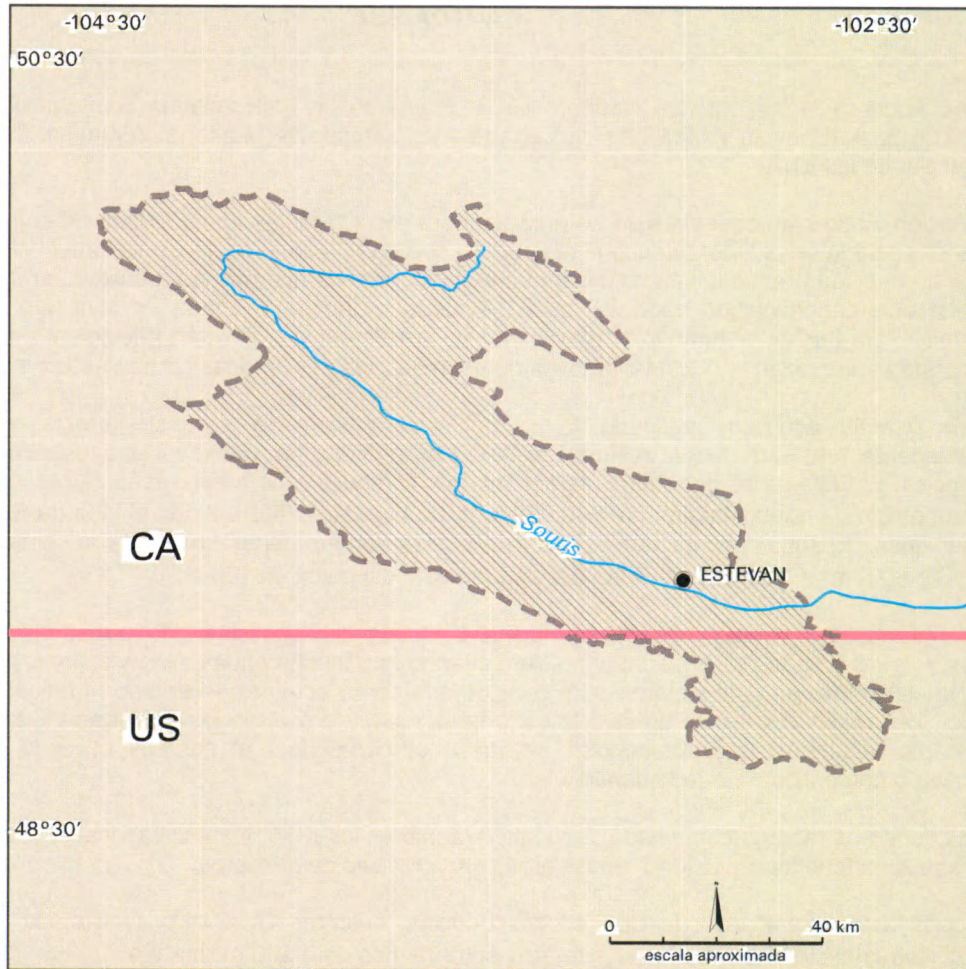
### Referencias

- Maathuis, H. and van der Kamp, G. 2003. *Groundwater resource evaluations of the Estevan Valley aquifer in southeastern Saskatchewan; a 40-year historical perspective. Proceedings 4th Joint IAH/CNC-CGS Conference, Winnipeg, Volume I, pp. 293 - 296. (CD-rom)*

### Autores:

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA

Sistema Acuífero Estevan  
5N CA-US



**6N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO NORTHERN GREAT PLAINS  
CANADÁ-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Northern Great Plains es un gran sistema acuífero localizado entre las Provincias de Saskatchewan y Manitoba en Canadá y los estados de Montana, Wyoming, Dakota del Norte y Dakota del Sur en los EUA.

La designación y nombres dados a este sistema acuífero son diferentes en cada lado de la frontera. El nombre "Cambriano" es dado en el lado americano al acuífero que en el lado canadiense se llama "Winnipeg" (tomando el nombre de la ciudad) el cual está esencialmente compuesto de las mismas areniscas en ambos lados de la frontera. La otra denominación dada en los EUA "Ordoviciano" en Canadá es conocido como el acuífero "Carbonatado". De hecho, el término "Ordoviciano" hace referencia a la edad geológica, pero esta formación está intercalada entre pizarras o lutitas, prácticamente impermeables, y rocas carbonatadas muy permeables.

Este gran sistema acuífero confinado forma un sinclinal con eje suroeste-noreste, con un largo de aproximadamente 1.400 km desde el Norte de Wyoming al Norte de Manitoba, atravesando cuatro estados y dos provincias. El Sistema es generalmente confinado y compuesto de areniscas, pizarras, calizas y dolomitas con una superficie de aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup>, de la cual el 75% esta en el lado de EUA y el 25% en el lado Canadiense. El agua del subsuelo fluye a través de la frontera generalmente hacia Canadá desde los EUA y se estima en 0,5 m<sup>3</sup>/s. La transmisividad del sistema está estimada en 100 m<sup>2</sup>/d.

Este sistema acuífero tiene aguas de formación compleja con mezclas de agua meteórica, cuencas de salmueras y aguas saladas de origen marino. Aun cuando hay mucha agua salina y salmueras a profundidades mayores a los 600 m, en este sistema para considerarlo como acuífero en el lado americano (arenisca en el paleozoico), en realidad si existe un flujo transfronterizo (agua dulce) de los EUA hacia Canadá a lo largo de algunas capas acuíferas (bajo paleozoico en rocas carbonatadas) el cual es utilizado como agua para abastecimiento domestico en el lado canadiense.

El sistema tiene una recarga combinada, a escala regional en los EUA, y a escala local en Canadá, creando un delicado equilibrio (cantidad y calidad) en las áreas canadienses de descarga.

La extracción actual en el lado de EUA es desconocida, mientras en el lado de Canadá (Winnipeg) el uso doméstico y de irrigación ha variado en el tiempo entre menos de 4.500 m<sup>3</sup>/día y 45.000 m<sup>3</sup>/día. Estas cifras se aplican solamente al acuífero conocido como "Ordoviciano" en los EUA y como "Carbonatado" en Canadá.

La demanda de agua es baja, pero se observa un aumento en la provincia de Manitoba en Canadá, mientras, por lo que se refiere a la calidad de las aguas, hay problemas de salinidad en la región canadiense. Las aguas del sistema acuífero tienen uso múltiple en toda la región y su vulnerabilidad es considerada alta. El sistema es importante a todos los niveles, local, regional y global.

**Referencias**

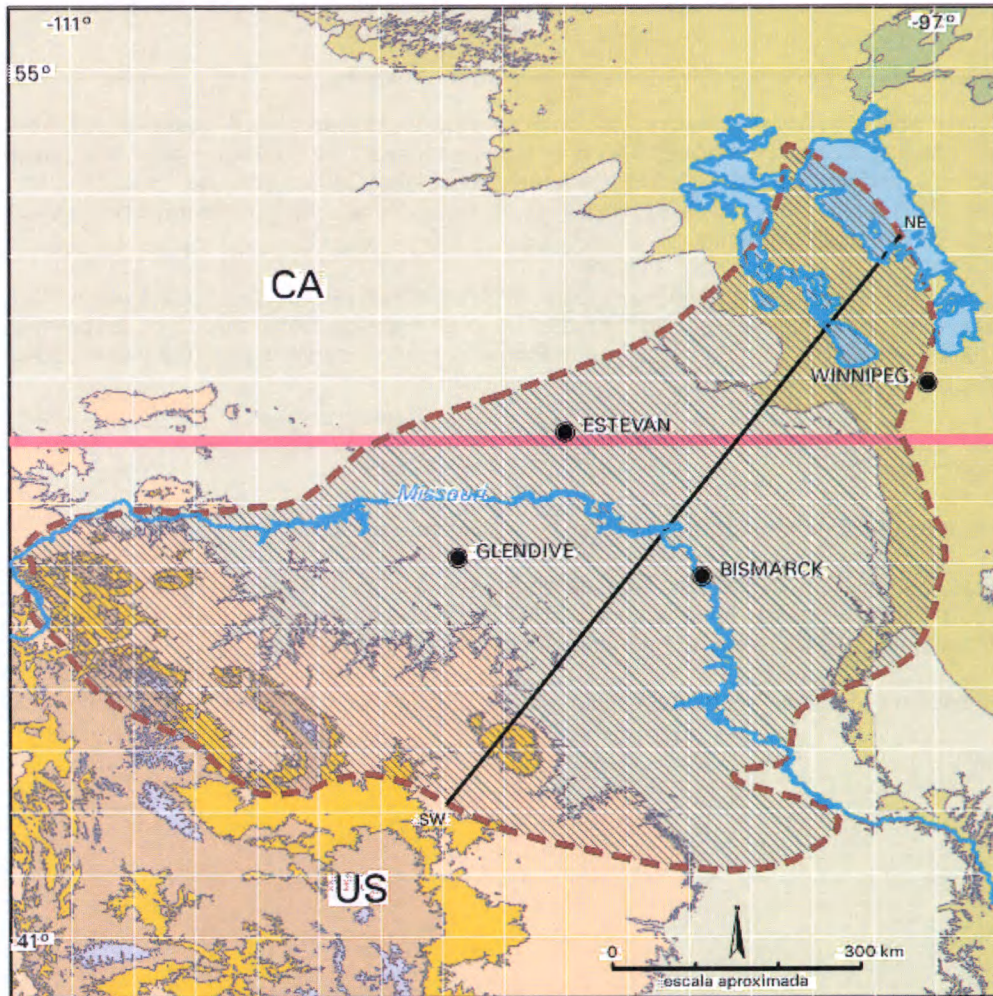
- Kennedy, P.L., 2003. *Groundwater flow and transport model of the Red River/Interlake Area in Southern Manitoba.* Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Manitoba.
- Betcher, R.N., Grove, G. and Pupp, C. 1995. *Groundwater in Manitoba: Hydrogeology, Quality Concerns, Management, March 1995.* NHRI Contribution No. CS-93017 March, 1995
- Grasby S., K. Osadetz and B. Betcher, 2000. *Reversal of the regional-scale flow system of the Williston basin in response to Pleistocene glaciation Geology; July 2000; v. 28; no. 7; p. 635-638; 7 figures*

**Autores:**

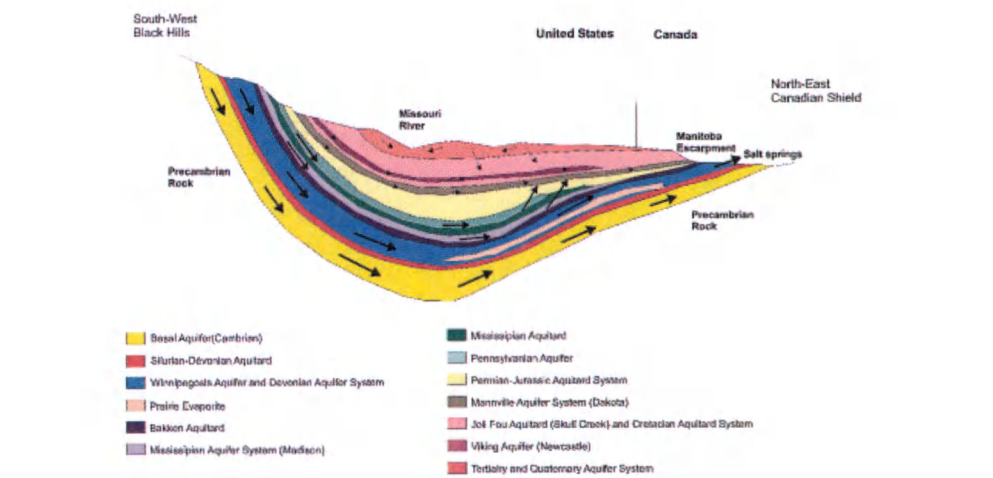
Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
Norman Grannemann, John M. Klein, USGS, EUA



# Sistema Acuífero Northern Great Plains 6N CA-US



Northern Great Plains transboundary aquifer system



## 7N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CHÂTEAUGUAY CANADÁ-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Châteauguay está localizado al Sur-Oeste de Montreal en Canadá y se extiende hacia la frontera de los EUA en el Estado de Nueva York. La región tiene una población relativamente densa con aproximadamente 100.000 habitantes en el lado Canadiense, de los cuales el 65% depende del subsuelo como fuente principal de suministro de agua. El uso aproximado de agua del subsuelo es de 15 mm<sup>3</sup>/a en el lado de Canadá solamente.

El área total del acuífero es de 2500 km<sup>2</sup>, 55% (1.375 km<sup>2</sup>) en la Provincia de Québec en Canadá y 45% (1.125 km<sup>2</sup>) en el Estado de Nueva York en los EUA. Tiene un espesor medio de 500 m. La productividad es alta y su vulnerabilidad es de baja a moderada. La preocupación por conservar su calidad y cantidad es a nivel regional y local respectivamente.

El acuífero está constituido por niveles de turba, arena y gravas superpuestas a areniscas, calizas y dolomitas no consolidadas.

La recarga es de 80 mm en el lado canadiense, equivalente a 200 mm<sup>3</sup>/a.

El acuífero es muy importante para Canadá en la Provincia de Québec, en donde la demanda de agua es alta para uso múltiple, y menos importante en EUA. Sin embargo, la cooperación binacional está aumentando el conocimiento actual para asegurar un manejo sostenible y su protección.

El agua subterránea almacenada está estimada en 1.250 km<sup>3</sup> en Canadá, y en 37,5 km<sup>3</sup> en EUA.

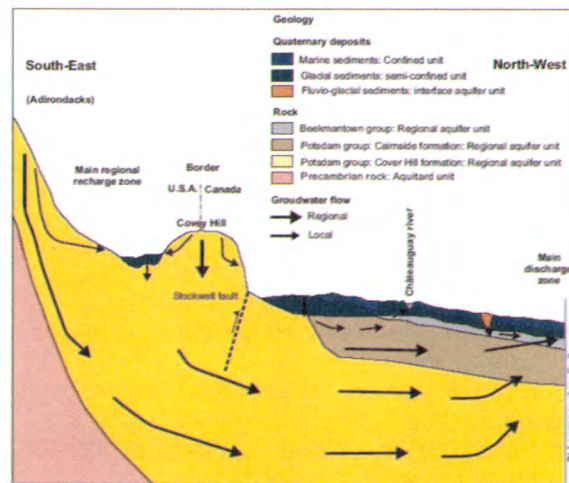
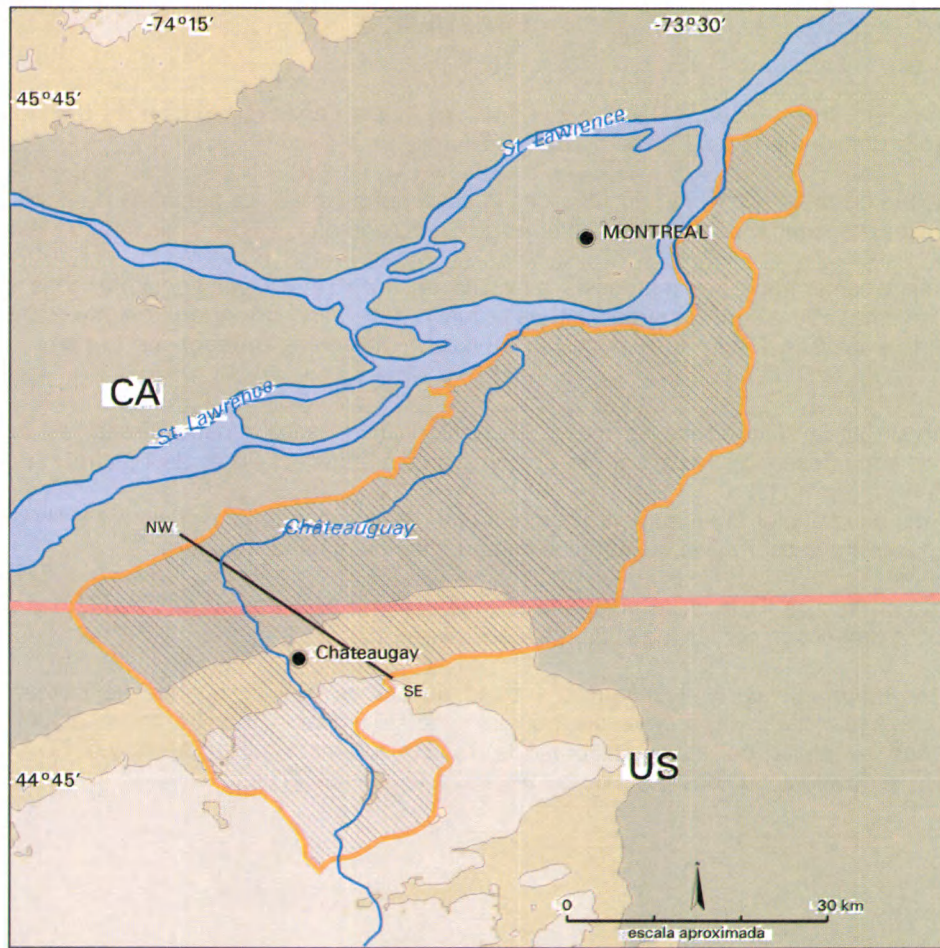
### Referencias

- Nastev, et al. 2004. *Hydrogeological overview of the Châteauguay River Transboundary Aquifers, Canada-USA. 5<sup>th</sup> Joint IAH-CNC/CGS Conference, October 24-28, 2004. Quebec city, Quebec, Canada*

### Autores:

Alfonso Rivera, GSC, Canadá  
John M. Klein, USGS, EUA

# Sistema Acuífero Châteaugay 7N CA-US



## MÉXICO – ESTADO UNIDOS

### 8N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SAN DIEGO-TIJUANA EUA - MÉXICO

El Sistema Acuífero Transfronterizo San Diego-Tijuana se localiza en la porción sur del Estado de California, en los EUA, y en la porción norte del Estado de Baja California, en México.

En esta región el clima es seco y la agricultura es la actividad principal. La demanda de agua para usos es alta en ambos países, concentrándose en las ciudades de San Diego en los EUA y Tijuana en México.

El acuífero está conformado por materiales aluviales en los valles y por conglomerados en las terrazas y lomeríos adyacentes. Su extensión superficial es reducida y su espesor en territorio mexicano es de unos 300 m, en la planicie de San Diego su espesor es menor. A México le corresponde la parte “aguas arriba” del sistema.

La extracción de agua subterránea es mayor en territorio mexicano, aunque disminuyó al incrementarse la importación de agua desde la cuenca del Río Colorado para el abastecimiento de Tijuana.

La salinidad del agua subterránea aumenta con la profundidad en territorio mexicano y en la planicie costera de San Diego se registra la ocurrencia de intrusión de agua marina en la faja costera.

El crecimiento urbano de Tijuana ha originado una contaminación creciente del acuífero y el ascenso de los niveles freáticos provocado por las fugas en las redes hidráulicas.

El sistema es importante para el desarrollo urbano en ambos países, aunque se tiende a incrementar la importación de agua desde la cuenca del río Colorado. El impacto transfronterizo actual o potencial está relacionado con la calidad del agua que cruza la frontera internacional de México a EUA, por el riesgo de contaminación asociado con la descarga de las aguas residuales de Tijuana.

#### Referencias

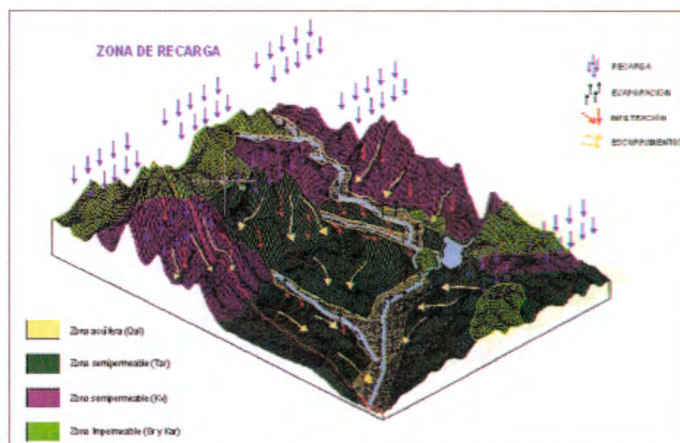
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico del Valle de Tijuana en el Estado de Baja California Norte. 1979.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudios de Nuevas Fuentes de Abastecimiento para las Ciudades Fronterizas del Estado de Baja California Norte. 1998.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio de Reactivación de Redes de monitoreo Piezométrico de los Acuíferos de los Valles de Mexicali, Tijuana y Tecate, B.C. 1999*

#### Autores:

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
John Klein, USGS, EUA



**Sistema Acuífero San Diego-Tijuana  
8N MX-US**



Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996

**9N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
CUENCA BAJA DEL RÍO COLORADO  
EUA - MÉXICO**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Cuenca Baja del Río Colorado se localiza en la porción sur de los Estados de California y Arizona, en los EUA, y en la porción norte de los Estados de Baja California y Sonora, en México.

El clima es seco, con precipitación pluvial menor a 200 mm/a y evaporación potencial mayor a 2000 mm/a. La densidad de población es baja y la actividad principal en ambos países es la agricultura.

El acuífero está constituido por clastos no consolidados depositados en el delta del río Colorado y en la fosa del Saltón; en la porción mexicana tiene gran extensión y espesor de varios cientos de metros. Aunque la recarga natural es muy escasa, el riego de una gran superficie con agua derivada del río Colorado ha generado una cuantiosa recarga incidental, por filtración en canales y retorno de excedentes de riego en terrenos con gran capacidad de infiltración. La extracción de agua subterránea es mayor en territorio mexicano estimada en 900 mm<sup>3</sup>/a. La salinidad del agua subterránea se ha incrementado por el lavado de suelos agrícolas y la infiltración de aguas provenientes del drenaje agrícola (1000-2400/ppm), y se ha identificado contaminación difusa originada por las prácticas agrícolas.

El sistema ha sido estudiado en ambos países por instituciones oficiales y académicas, por lo que se dispone de amplia información respecto a su recarga, descarga, extracción, funcionamiento hidrodinámico y calidad de agua subterránea, así como de modelos de simulación.

El sistema reviste gran importancia para el desarrollo agrícola, especialmente en territorio mexicano. El riesgo de impacto transfronterizo es muy serio, porque una fracción importante de la recarga de la porción mexicana del sistema procede de los EUA; de hecho hay obras en proyecto que reducirán significativamente la alimentación subterránea que recibe México, por lo que se están contemplando medidas de mitigación y hay enérgica oposición social en ambos países por parte de grupos ecologistas.

El tema es objeto de negociación en el seno de la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los EUA desde hace más de 20 años. A pesar de ello, puede convertirse en asunto de litigio internacional.

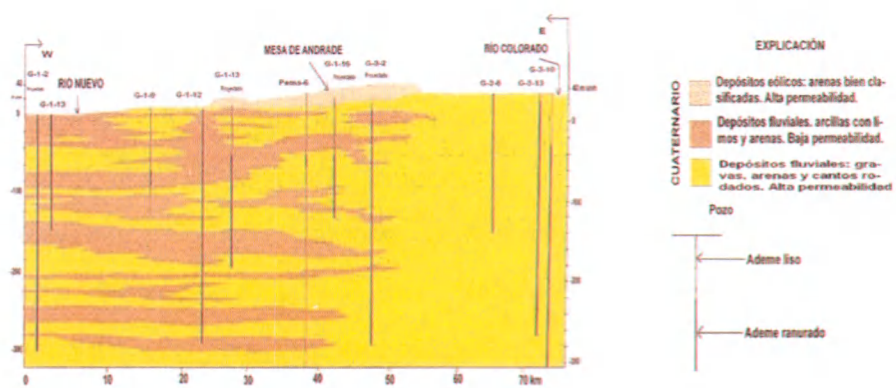
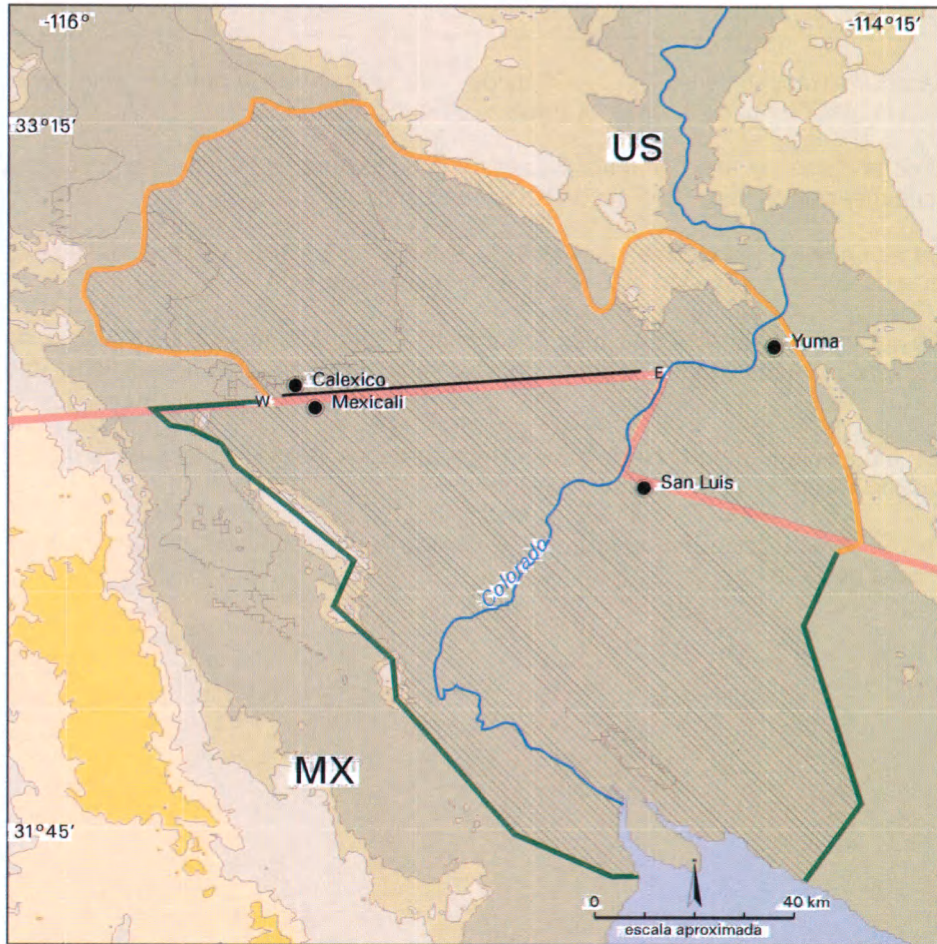
**Referencias**

- *Comisión Nacional del Agua. Efectos del Revestimiento del Canal Todo Americano sobre Territorio Mexicano. 1991.*
- *Comisión Nacional del Agua. Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Baja del Río Colorado, B.C. 1996.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio de Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de los acuíferos de los Valles de Mexicali-Mesa Arenosa, B.C.-Sonora; Río Santa Cruz, Sonora; Tijuana y Tecate, B.C. 1999. Contrato FUMEC-99-01.*

**Autores:**

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
John Klein, USGS, EUA

## Sistema Acuífero Cuenca Baja del Río Colorado 9N MX-US



Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2005

## 10N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SONOYTA-PÁPAGOS MÉXICO-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Sonoyta-Pápagos está ubicado en la porción norte del Estado de Sonora, en México y en la porción Sur del Estado de Arizona, en los EUA.

La densidad de población es baja en ambos países y la agricultura es la actividad principal. En el territorio de EUA existe una reservación india. El clima de la región es seco.

El acuífero está formado por materiales aluviales. Su extensión superficial es reducida; su espesor es de varias decenas a más de 200 m. La porción "aguas arriba" corresponde a EUA.

La extracción de agua subterránea es más importante en territorio mexicano, el uso principal del agua es agrícola. La calidad del agua varía en la zona, siendo común la presencia de agua salobre debido a la aridez de la región.

El sistema es importante para la población de la Reserva de los indios Pápagos en territorio de EUA y para la población rural en México.

El incremento en la extracción del agua en EUA implicaría una reducción en la alimentación que recibe la porción mexicana del sistema.

### Referencias

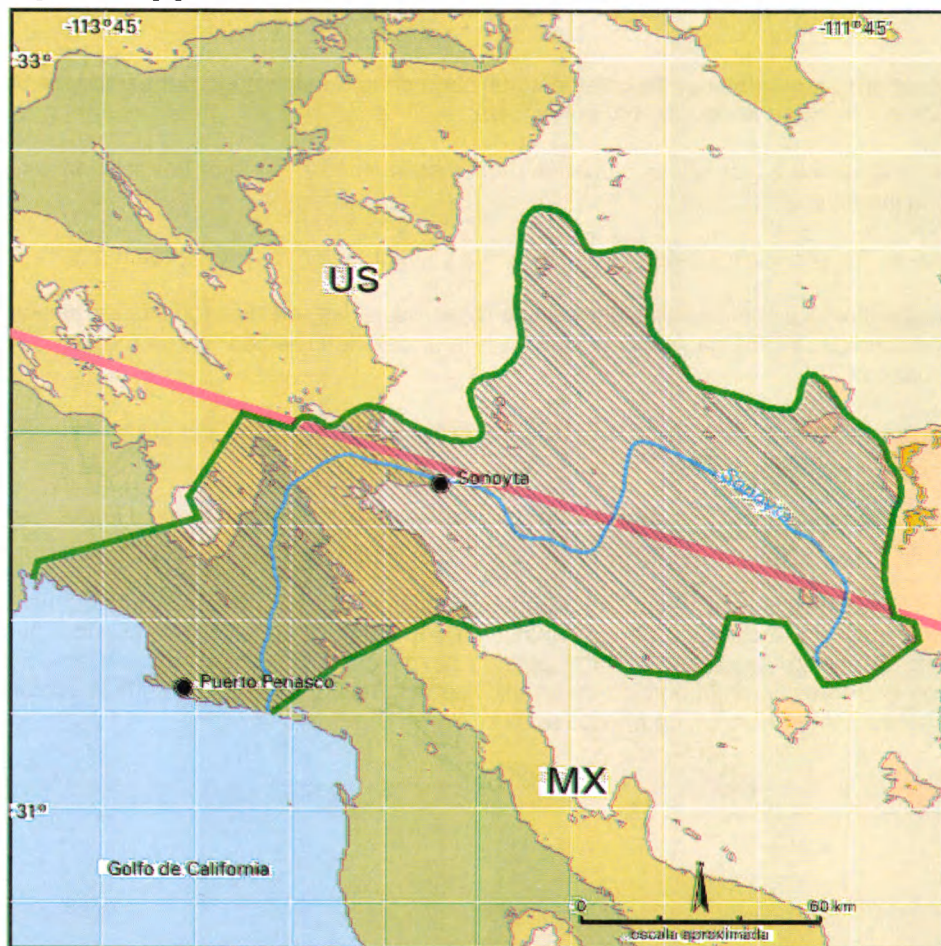
- *Comisión Nacional del Agua. Actualización del estudio geohidrológico del Río Sonoyta, Son. 1978.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico de Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable para el Poblado de Puerto Peñasco, Sonora. 1979.*
- *Comisión Nacional del Agua. Informe de la Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el área de Pinacate-Pápagos, Sonora. 1981*
- *Comisión Nacional del Agua. Censo de Captaciones de Aguas Subterráneas y Colección de Datos Geohidrológicos en la Zona de Puerto Peñasco, Sonora. 1997.*

### Autores:

Rubén Chávez Guillén, CNA, México;  
John Klein, USGS, EUA



**Sistema Acuífero Sonoyta-Pápagos**  
**10N MX-US**



## 11N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO NOGALES MÉXICO-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Nogales está ubicado en la porción norte del Estado de Sonora, en México, y en la porción sur del Estado de Arizona, en los EUA.

La población está concentrada en las ciudades gemelas de Nogales en que las actividades principales son la agricultura y la industria.

El clima es seco, con precipitación menor a 300 mm/a y evaporación mayor a 2000 mm/a.

El acuífero, constituido por materiales aluviales y rocas fisuradas, es de reducida extensión, poco espesor y permeabilidad media. La recarga es pobre debido a la aridez de la región, en su mayor parte es generada en territorio mexicano.

El agua subterránea circula de México a EUA a través de la faja estrecha del arroyo Nogales, estimándose el caudal de flujo en 2 mm<sup>3</sup>/a.

La calidad natural del agua es aceptable, aunque se ha identificado contaminación de origen industrial en territorio mexicano.

El sistema es importante para el desarrollo urbano e industrial. El impacto transfronterizo está más relacionado con la calidad, que con la cantidad: la contaminación del acuífero, generada en México, puede propagarse a EUA y afectar la calidad del agua captada por los pozos municipales de Nogales en Arizona. Además, el incremento de la extracción en la porción mexicana puede interceptar el caudal de flujo subterráneo que pasa a través de la frontera internacional, de México a EUA.

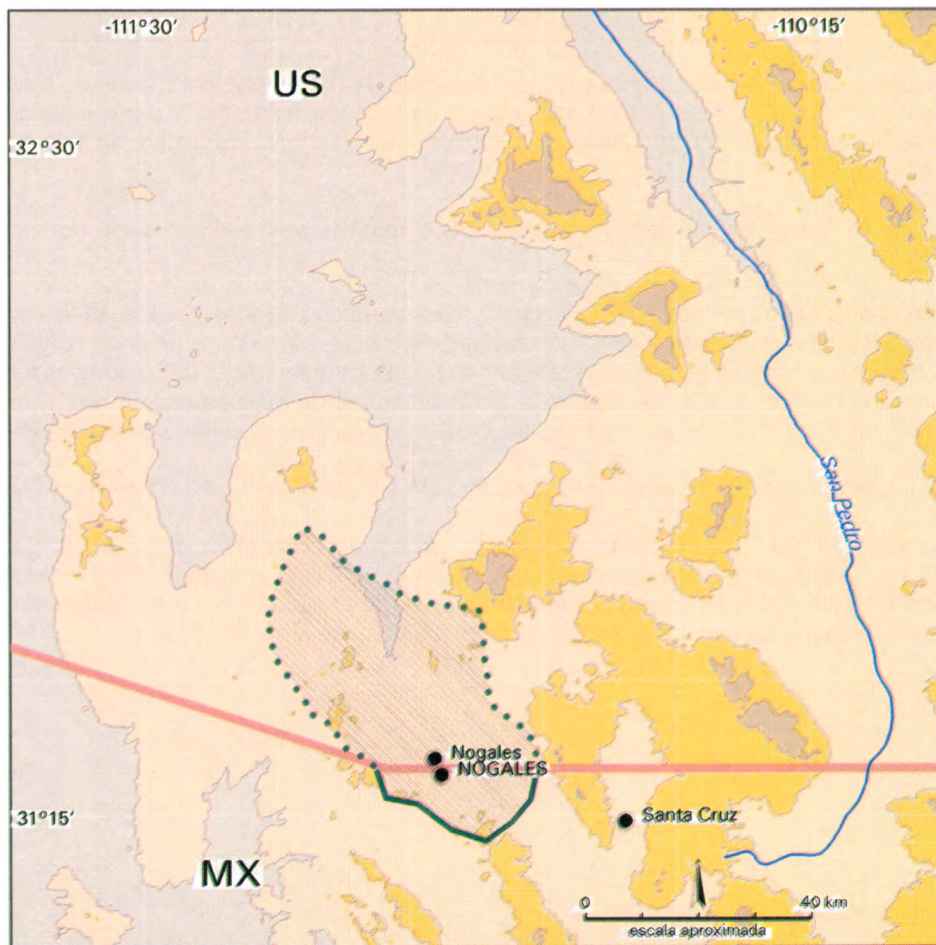
### Referencias

- *Comisión Nacional del Agua. Evaluación de la Contaminación del Acuífero de Nogales, Sonora. 1994.*
- *Comisión Nacional del Agua, Comisión Internacional de Límites y Aguas, EUA Environmental Protection Agency y Arizona Department of Environmental Quality. Programa Binacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas sobre el Arroyo Los Nogales. 1998. Informe Preliminar. 77 p.*
- *Comisión Nacional del Agua. Diagnóstico de la Contaminación en el Acuífero del Arroyo Los Nogales, Sonora. Informe Técnico No. GAS/98/02. 1998. 44 p*

### Autores:

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
John Klein, USGS, EUA

**Sistema Acuífero Nogales**  
**11N MX-US**



## 12N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SANTA CRUZ MÉXICO-EUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Santa Cruz se localiza en la parte norte del Estado de Sonora, en México, y en la parte sur de Arizona, en los EUA. La población está concentrada en la parte estadounidense y en su mayor parte está dedicada a la agricultura; en territorio mexicano la densidad de población es baja y el desarrollo incipiente.

El clima regional es seco, con precipitación menor a 300 mm anuales y evaporación potencial mayor a 2000 mm.

El acuífero está constituido por materiales aluviales, conglomerados y rocas volcánicas fisuradas; su extensión superficial y espesor son reducidos y su transmisividad es media. La recarga es poco cuantiosa y en parte es originada en territorio mexicano al que le corresponde la parte "aguas arriba" del sistema. La dirección principal del flujo subterráneo es de S a N, de México a EUA; el caudal de flujo se estima en 1.7 mm<sup>3</sup>/a. La calidad natural del agua subterránea es buena y no se han identificado focos importantes de contaminación.

El sistema es importante para el desarrollo agrícola en EUA y para el desarrollo urbano en México.

En territorio mexicano hay una creciente exportación de agua subterránea del valle de Santa Cruz para el abastecimiento de la población de Nogales; en territorio de EUA, existe un campo de pozos que suministra agua a la población de Nogales en Arizona. El incremento de la extracción de agua subterránea en la porción mexicana puede reducir y aun anular el caudal de flujo que pasa de México a EUA.

### Referencias

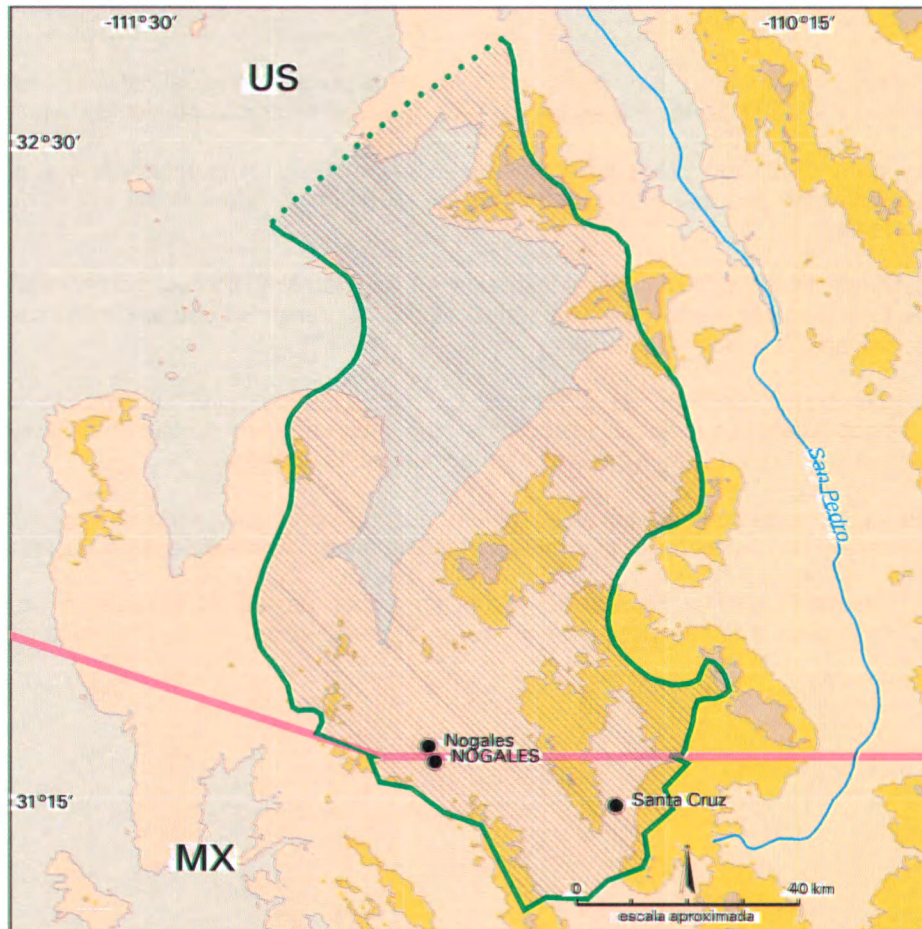
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua y definición de explotación en el valle de Río Santa Cruz con fines de abastecimiento de agua a la ciudad de Nogales, Sonora. 1989.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio de Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de los acuíferos de los Valles de Mexicali-Mesa Arenosa, B.C.-Sonora; Río Santa Cruz, Sonora; Tijuana y Tecate, B.C. 1999. Contrato FUMEC-99-01*
- *Grupo México, Mexicana de Cananea, S.A. de C.V. Actualización del Estudio Geohidrológico de las Cuencas del Río San Pedro y Norte del Río Sonora, en Cananea, Sonora. 2000.*

### Autores:

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
John Klein, USGS, EUA



**Sistema Acuífero Santa Cruz  
12N MX-US**



### 13N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SAN PEDRO EUA-MÉXICO

El Sistema Acuífero Transfronterizo San Pedro se localiza en la porción norte del Estado de Sonora, en México, y en la porción sur del Estado de Arizona, en los EUA. La densidad en ambas porciones de población es baja.

El clima regional es seco, con precipitación menor a 300 mm/a y evaporación mayor a 2000 mm/a. La agricultura es la actividad principal en ambos países; en México hay un desarrollo industrial importante en la cabecera del sistema.

El acuífero está constituido por materiales aluviales en los valles y por conglomerados en las lomeríos adyacentes. Su extensión superficial y espesor son reducidos, su transmisividad es media a baja. La recarga es poco cuantiosa debido a la aridez de la región.

La porción "aguas arriba" corresponde a México. La extracción de agua subterránea está ampliamente distribuida en ambos países. La dirección principal del flujo subterráneo es de México a EUA; se estima que el caudal del flujo que pasa a través de la frontera internacional es de unos 2 mm<sup>3</sup>/a.

La calidad natural del agua subterránea es aceptable, aunque se ha registrado un riesgo de contaminación derivado de la descarga de aguas residuales de una empresa minera asentada en la cabecera del sistema.

El sistema es importante para el desarrollo agrícola en ambos países. El incremento de la extracción en territorio mexicano implicaría una reducción de la recarga subterránea que recibe la porción estadounidense del sistema.

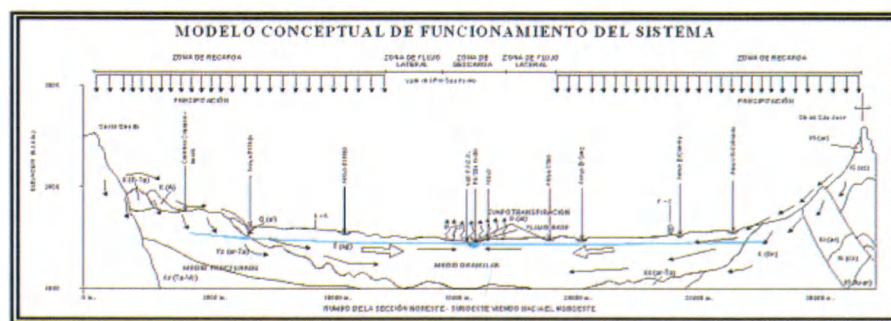
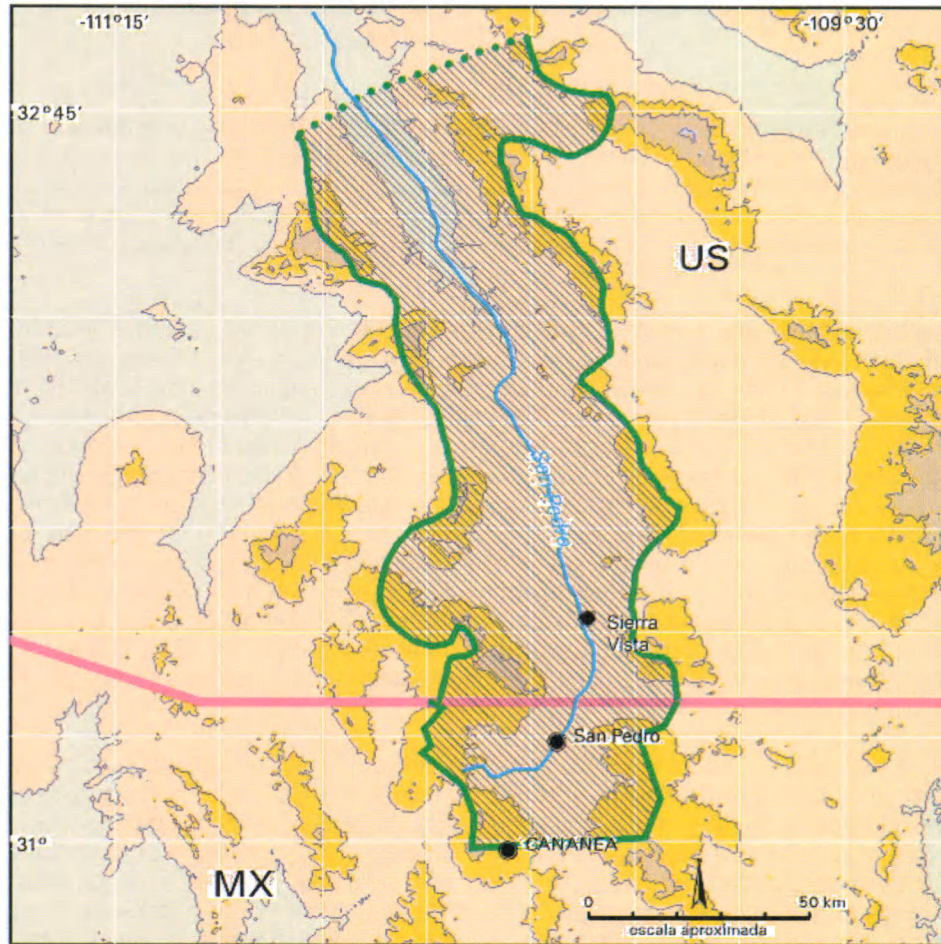
#### Referencias

- *Comisión Nacional del Agua. Condiciones Geohidrológicas Generales en la Cuenca Alta del Río San Pedro, Edo. Sonora. 1987.*
- *Grupo México, Mexicana de Cananea, S.A. de C.V. Actualización del Estudio Geohidrológico de las Cuencas del Río San Pedro y Norte del Río Sonora, en Cananea, Sonora. 2000.*

#### Autores:

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
John Klein, USGS, EUA

**Sistema Acuífero San Pedro  
13N MX-US**



Fuente: Grupo México, Mexicana de Cananea S.A. de CV., 2000

**14N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
CONEJOS MÉDANOS-BOLSÓN DE LA MESILLA.  
MÉXICO-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla se extiende a lo largo del Estado de Chihuahua (México) y el Estado de Texas (EUA), en una región muy árida: la precipitación pluvial media es menor a 100 mm/a y la evaporación potencial es mayor a 2.000 mm/a. Su desarrollo es incipiente en México y poco significativo en EUA; sin embargo, en el futuro próximo revestirá importancia creciente, conforme aumente la presión de la demanda de agua en las ciudades de Juárez y El Paso, ubicadas en el colindante Bolsón del Hueco.

El acuífero forma parte de las cuencas cerradas de la porción Occidental de Texas y de la porción Norte de México. Está constituido por materiales aluviales y depósitos de bolsón, cuyo espesor es de varios cientos de metros y aún mayor a 1,000 m en ambos países; su extensión superficial es de unos 10.000 km<sup>2</sup>. Es de tipo "libre", de permeabilidad media a baja y gran capacidad de almacenamiento. El agua que contiene es dulce (<1,000 ppm) en su tramo superior, de unos 100 m, su salinidad aumenta con la profundidad, y en algunas áreas contiene elementos químicos (As, Fe, Mn) disueltos en concentraciones mayores que las permisibles para el consumo humano. En territorio de EUA se captan de este acuífero unos 65 mm<sup>3</sup>/a para uso doméstico, industrial y agrícola; en territorio mexicano la extracción de agua es apenas de unos 2 mm<sup>3</sup>/a para uso doméstico y pecuario, aunque se está contemplando un proyecto para suministrar agua de este acuífero a Ciudad Juárez a mediano plazo. No se ha determinado la recarga de este acuífero, pero debido a la escasa precipitación pluvial y a la intensa evaporación potencial, se supone de muy reducida magnitud; sin embargo, su cuantiosa reserva almacenada permitiría captar importantes volúmenes de agua durante varios años. En su estado actual, casi natural, un reducido caudal de agua subterránea pasa de México a los EUA y descarga al cauce del río Bravo/Grande.

Hasta ahora, la escasez natural de agua ha limitado el desarrollo de esta cuenca. Sin embargo, este acuífero representa una importante reserva de agua para cubrir demandas futuras en el propio bolsón o para transferir agua al colindante Bolsón de El Hueco, donde el desarrollo es de mucha mayor importancia y la oferta adicional de agua es muy limitada. Por lo mismo, se está considerando un proyecto de recarga artificial del agua residual de la municipalidad de Ciudad de Juárez en la porción mexicana del Bolsón de La Mesilla, con el fin de aumentar la renovación del acuífero y sostener un sistema de tratamiento-recarga-reuso, similar al que ya existe en el Bolsón del Hueco. Hasta ahora no se han provocado efectos transfronterizos, porque los aprovechamientos en territorio de EUA están muy alejados de la frontera internacional y la captación en la porción fronteriza mexicana es prácticamente nula. A futuro, sin embargo, tendrán que realizarse estudios y celebrarse acuerdos binacionales, con el objetivo de elaborar conjuntamente una estrategia para explotar la reserva poco renovable de este acuífero sin generar impactos perjudiciales en el país vecino.

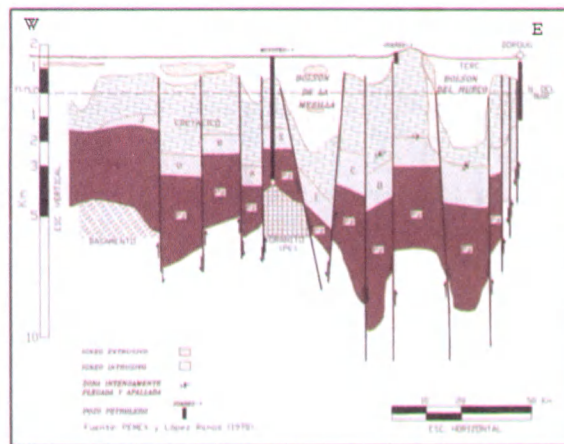
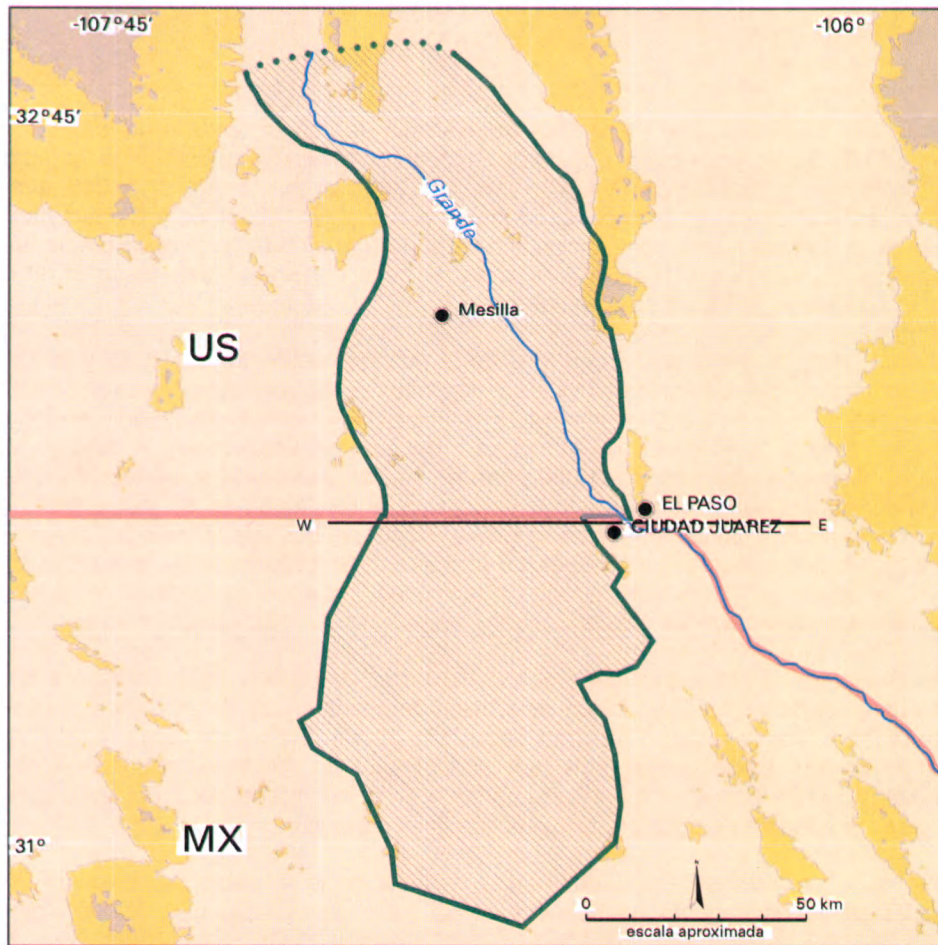
**Autores:**

John Klein, USGS, EUA

Rubén Chávez Guillén, CNA, /México



**Sistema Acuífero Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla  
14N MX-US**



Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, 2000

**15N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
BOLSÓN DEL HUECO-VALLE DE JUÁREZ  
MÉXICO-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Bolsón del Hueco-Valle de Juárez, es uno de los más importantes de la frontera México-EUA. Se extiende por el Estado de Chihuahua (México) y el Estado de Texas (EUA). Tiene gran importancia, dado que se trata de una región con precipitación pluvial menor a 200 mm/a y evaporación potencial mayor a 2.000 mm/a. En México, es la fuente principal que abastece a Ciudad Juárez y al distrito de riego del Valle de Juárez; la fuente complementaria es el río Bravo/Grande; en los EUA, la fuente principal que suministra agua a la ciudad de El Paso y a la zona de riego del Bolsón del Hueco es el río Bravo/Grande, mientras que el acuífero es la fuente complementaria.

El acuífero forma parte de las cuencas cerradas de la porción occidental de Texas y de la porción norte de México. Está constituido por materiales aluviales y depósitos de bolsón, cuyo espesor es de varios cientos de metros en México y de más de 1.000 m en territorio de los EUA; su extensión superficial es de unos 8.000 km<sup>2</sup>, correspondiendo un 80% a EUA. Es de tipo "libre", de permeabilidad media a baja y gran capacidad de almacenamiento. Contiene agua dulce (<1,000 ppm) en su tramo superior, especialmente en la faja fluvial del río Bravo/Grande; agua salobre en su tramo intermedio, y agua salada en su tramo profundo. En su estado natural, estaba hidráulicamente conectado al río Bravo/Grande, al que descargaba por ambos márgenes, por lo que no había circulación subterránea a través de la frontera; al incrementarse la explotación del acuífero en ambos países, se abatieron los niveles del agua subterránea y el acuífero se desconectó del río, que ahora le alimenta por infiltración a lo largo del cauce.

La extracción de agua subterránea es del orden de 310 mm<sup>3</sup>/a, volumen que representa el mayor porcentaje respecto a su contraparte en los EUA. La concentración de pozos en las zonas urbanas colindantes de Ciudad Juárez y de El Paso, ha generado una gran depresión de los niveles del agua subterránea en la porción suroccidental del bolsón, donde se han provocado abatimientos de varias decenas de metros en los últimos 30 años; la concentración de pozos es también importante en el distrito de riego del Valle de Juárez, donde se capta un volumen importante de agua subterránea con fines agrícolas.

El abatimiento de los niveles de agua subterránea ha inducido la migración ascendente del agua salobre o salada hacia las porciones someras que contienen agua dulce; dando lugar a un deterioro gradual de la calidad del agua.

En México, el crecimiento demográfico urbano concentrado en Ciudad Juárez ha motivado una transferencia gradual de agua del sector agrícola al público urbano. En EUA, el crecimiento de la demanda de agua de la ciudad de El Paso y la limitada oferta de las fuentes de suministro, ha dado lugar al desarrollo de un sistema de tratamiento-recarga-reuso: las aguas residuales municipales de la ciudad de El Paso son conducidas a una planta de tratamiento de nivel terciario, inyectadas mediante pozos al subsuelo donde reciben un tratamiento natural y recuperadas aguas abajo para servir las nuevamente a la ciudad. La concentración del bombeo de pozos ha generado impactos transfronterizos: en ambos lados de la frontera, principalmente el abatimiento de los niveles del agua y la interferencia de los pozos municipales concentrados en las zonas urbanas mayores y la salinización gradual del agua.

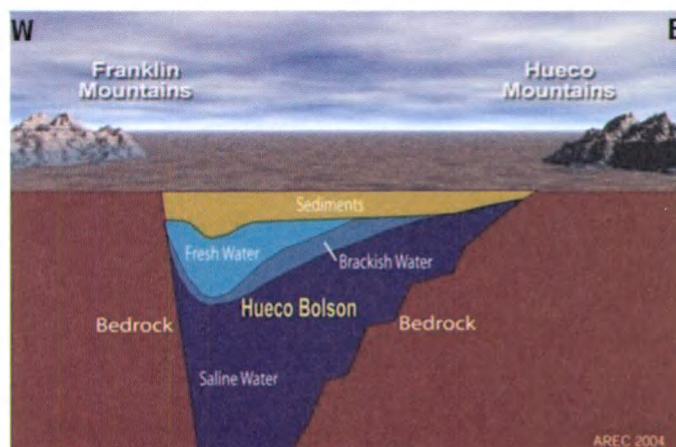
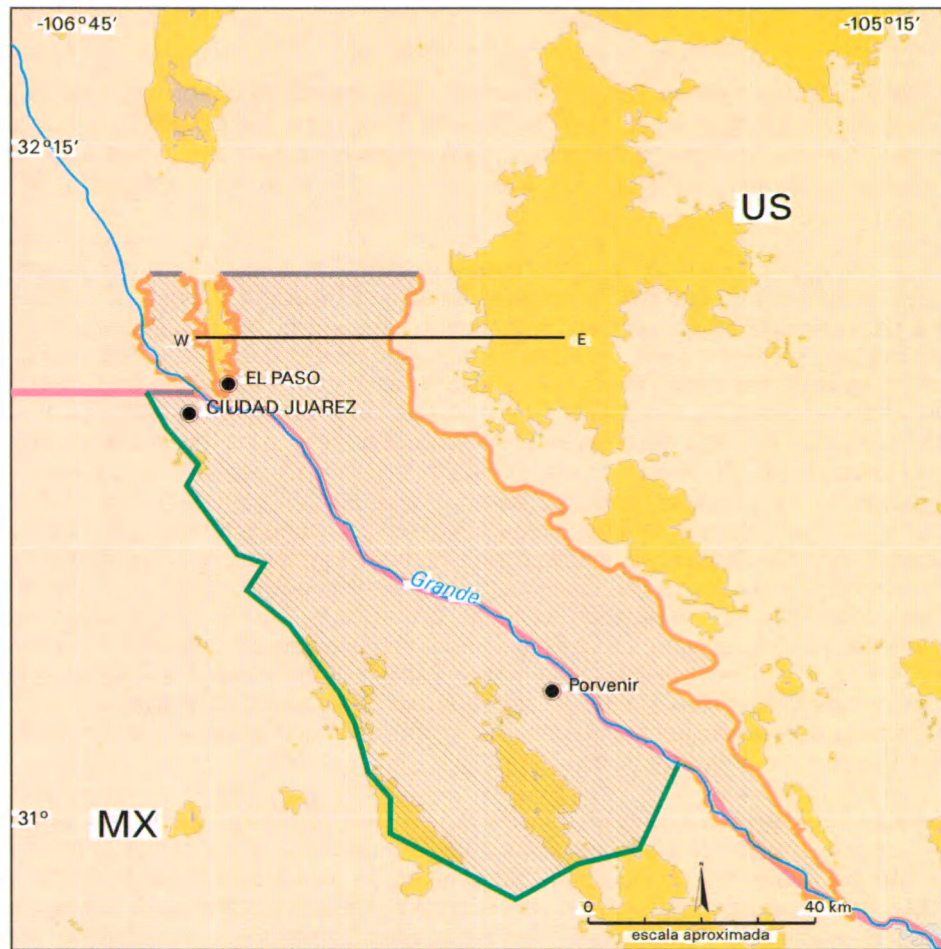
Debido a la importancia de este acuífero, desde hace varias décadas se ha llevado a cabo el intercambio de información entre ambos países y un estudio binacional encaminado a formular conjuntamente estrategias de manejo.

**Autores:**

John Klein, USGS, EUA

Rubén Chávez Guillén, CNA, México.

## Sistema Acuífero Bolsón del Hueco-Valle de Juárez 15N MX-US



Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, 2000

**16N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO EDWARDS-TRINITY-EL BURRO  
MÉXICO-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Edwards-Trinity-El Burro se extiende a lo largo de la porción Norte del Estado de Coahuila (México) y en la porción Sur del Estado de Texas (EUA), en una región árida: la precipitación pluvial media es menor a 300 mm/a y la evaporación potencial mayor a 2.000 mm/a. En territorio de EUA el acuífero es la principal fuente de abastecimiento de la ciudad de Austin y de otras localidades menores.

El acuífero está constituido por rocas calizas de alta permeabilidad secundaria; su extensión superficial en territorio de EUA es de unos 70.000 km<sup>2</sup>. En amplias áreas de EUA aflora originando caudalosos manantiales y alimentando a pozos de alta producción; en territorio mexicano subyace a una importante secuencia de rocas sedimentarias marinas y continentales poco permeables. La calidad del agua que contiene varía en el área, entre agua dulce en las áreas donde aflora o se encuentra cerca de la superficie del terreno, y agua salobre o salada en las porciones profundas del acuífero, dependiendo de la composición de las rocas que conforman los acuíferos y del tiempo de estancia del agua en el subsuelo. En México, las rocas que constituyen este acuífero afloran en la Serranía de El Burro, donde el acuífero descarga parcialmente a través de caudalosos manantiales, cuyas aguas sustentan unidades de riego y se infiltran para alimentar a acuíferos someros de menor espesor y extensión, constituidos por materiales aluviales y conglomerados poco cementados, que están conectados con el río Bravo/Grande y que abastecen a numerosas poblaciones medianas y menores asentadas en su faja fluvial. En la secuencia de rocas poco permeables que confinan al acuífero Edwards existen yacimientos de carbón que son explotados en territorio mexicano, para lo cual ha sido necesario abatir los niveles freáticos del acuífero somero. La explotación del acuífero Edwards es más importante en territorio de EUA, donde sus porciones más accesibles y permeables suministran importantes volúmenes de agua para usos domésticos, municipales, agrícolas e industriales; en territorio mexicano, la explotación es mucho menor. Se desconoce la recarga de este acuífero, pero debido a la gran extensión y capacidad de infiltración de sus zonas receptoras, se le supone de gran magnitud.

Hasta ahora no se han identificado efectos transfronterizos y es poco probable que se generen en el mediano plazo porque el acuífero descarga en forma difusa a las formaciones sobreyacentes y, finalmente, al cauce del río Bravo/Grande, sin que exista circulación subterránea de un país a otro. A pesar de ello, dado el creciente desarrollo poblacional e industrial de la región, es importante propiciar programas de intercambio de información y realizar estudios binacionales, para promover el desarrollo sustentable de este acuífero y prevenir impactos perjudiciales transfronterizos.

**Referencias**

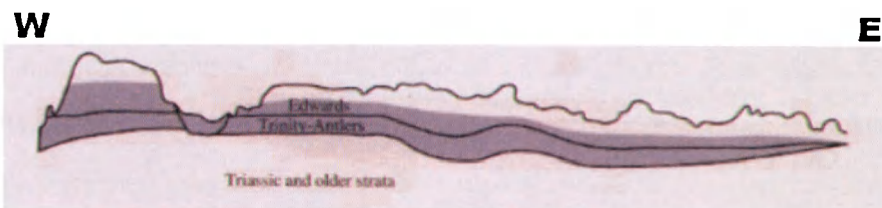
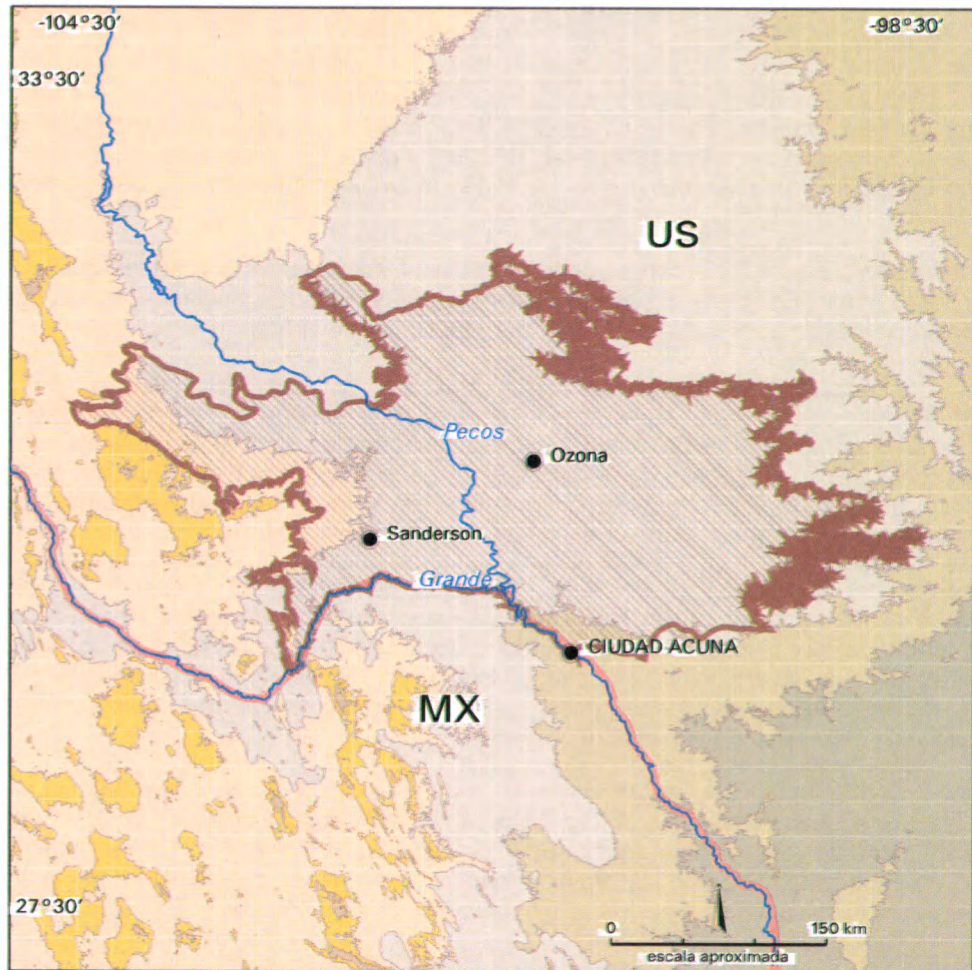
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico de la Zona de Allende-Piedras-Negras, Coahuila. 1990.*
- *Comisión Federal de Electricidad. Estudio Geohidrológico del Sistema Acuífero en Calizas de la Porción Norte del Estado de Coahuila. Informe anual. 1998.*
- *Grupo Modelo, S.A. de C.V. Estudio Geohidrológico para Determinar la Factibilidad de Abastecimiento de la Planta Zaragoza, Coahuila. 2003.*

**Autores:**

John Klein USGS, EUA  
Rubén Chávez Guillén, CNA, México



**Sistema Acuífero Edwards-Trinity-El Burro  
16N MX-US**



Fuente: L.E. Walker, 1979

**17N - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
CUENCA BAJA DEL RÍO BRAVO/GRANDE  
MÉXICO-EUA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Cuenca Baja del Río Bravo/Grande se extiende a lo largo de la porción Norte de los Estados de Coahuila y Tamaulipas (México) y por la porción Sur del Estado de Texas (EUA), en la faja del río Bravo/Grande comprendido entre la Presa Internacional Falcón y la desembocadura del río en el Golfo de México.

Se trata de una región semiárida, con precipitación pluvial media de unos 350 mm/a y evaporación potencial del orden de 1.800 mm/a. En ambos países existen numerosas ciudades medianas en esa faja, que demandan cantidades crecientes de agua para usos municipal, industrial y servicios.

El sistema está conformado por numerosos acuíferos alojados en los depósitos fluviales del río Bravo/Grande y sus afluentes principales. Estos acuíferos son de extensión superficial variada, espesor de unas cuantas decenas a varios cientos de metros, prácticamente independientes entre sí; están hidráulicamente conectados al río, que constituye su nivel base de descarga, y en general contienen agua dulce a salobre. En la planicie costera, los acuíferos fluviales sobreyacen a una secuencia de rocas sedimentarias continentales y marinas, de gran espesor y baja permeabilidad, que contienen agua cuya salinidad crece con la profundidad hasta concentraciones de 5.000 ppm o mayores. Los acuíferos dulces son captados por gran número de pozos someros de caudal medio o bajo, parte del cual procede del caudal del río cuando el área de influencia del bombeo se extiende hasta su cauce. La recarga de estos acuíferos depende en parte de la variación de los caudales conducidos por el río y, en parte, es inducida por el bombeo de los pozos, a costa de una reducción de su caudal base y de la disponibilidad de agua superficial. En territorio mexicano se están contemplando proyectos de desarrollos industriales poco consumidores de agua, que serían abastecidos mediante desalinización de agua subterránea salobre o salada.

No se han identificado efectos transfronterizos, pero la explotación de estos acuíferos puede reducir la disponibilidad de agua superficial, por lo cual será conveniente cuantificar su aportación al río Bravo/Grande y acordar esquemas de uso conjunto aguas superficiales/aguas subterráneas. Un incremento importante de la extracción de agua subterránea podría provocar que los acuíferos se desconecten del río, incrementando con ello la infiltración en su cauce a costa de una mayor reducción de su caudal base.

**Referencias**

- *Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos (CILA). Estudio Binacional sobre la Presencia de Sustancias Tóxicas en el Río Bravo/Río Grande y sus Afluentes, en su Porción Fronteriza entre México y Estados Unidos. 1994. Informe Final. 285 p.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico de Actualización en la Zona Bajo Río Bravo - Reynosa. 1980.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudios Geofísicos y Geohidrológicos para Determinar Zonas Adecuadas de Explotación en la Cuenca Baja del Río Bravo de Tamaulipas y Coahuila. 1995.*

**Autores:**

John Klein, USGS, EUA  
Rubén Chávez Guillén, CNA, México

**Sistema Acuífero Cuenca Baja del Río Bravo/Grande  
17N MX-US**



Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, 2000

### 3. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DEL CARIBE

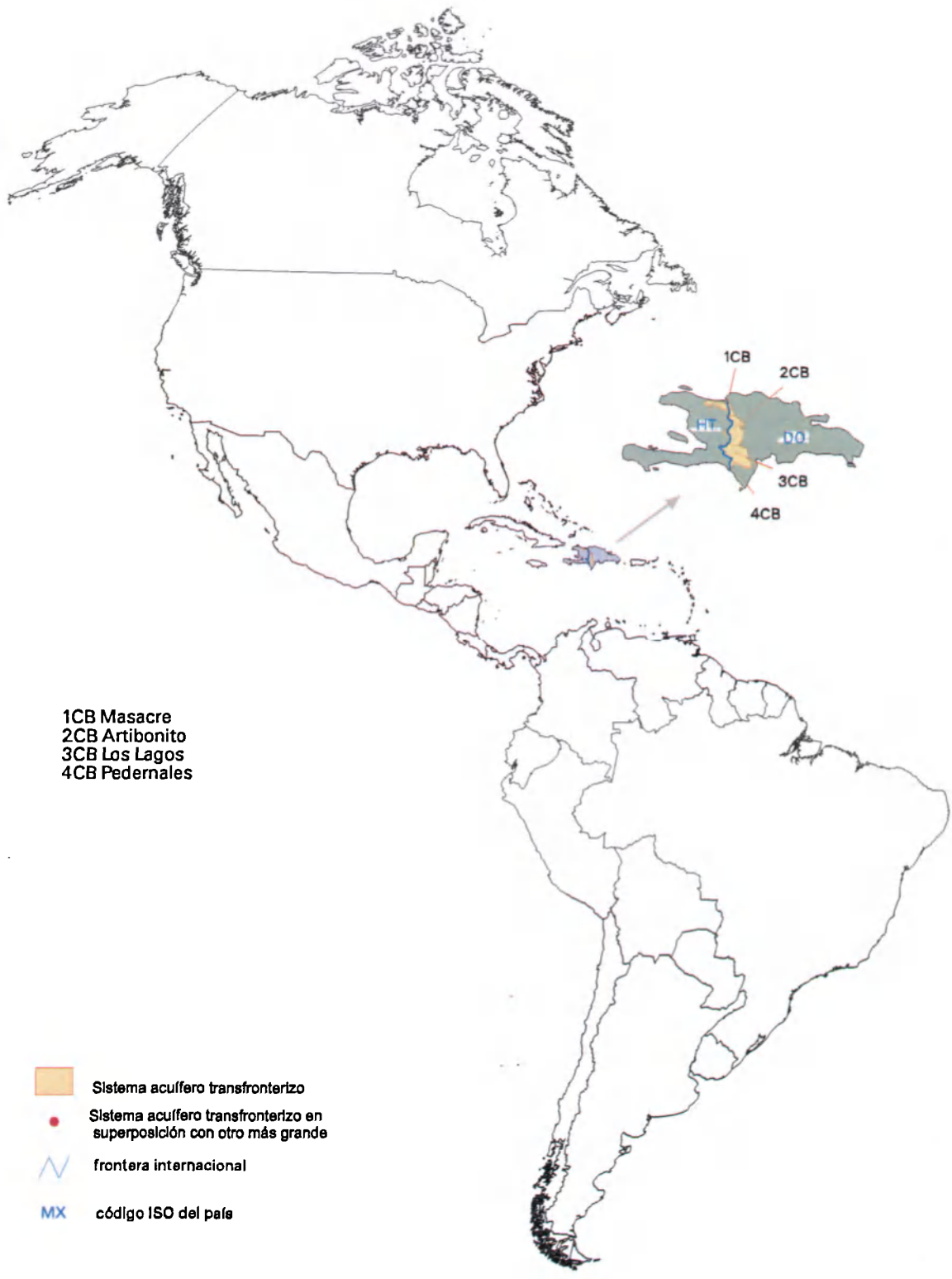
#### Sinopsis sub-regional

En el Caribe fueron identificados 4 sistemas acuíferos transfronterizos localizados entre Haití y República Dominicana. Las características más significativas de estos sistemas se indican en el cuadro siguiente:

Países	Sistemas acuíferos transfronterizos	Características significativas
	<b>1CB – Masacre</b>	Su área es de 1.200 km <sup>2</sup> en el lado Dominicano y de 1.080 km <sup>2</sup> en el lado haitiano. Es un acuífero costero y sus aguas son utilizadas para abastecimiento y agricultura. Tiene problemas de intrusión salina por el mar. Es objeto de un proyecto GEF/PNUMA/OEA/UNESCO enfocado a su protección y uso sustentable.
Haití-República Dominicana	<b>2CB – Artibonito</b>	Con un área de 3.000 km <sup>2</sup> en la República Dominicana y de 6.780 km <sup>2</sup> en Haití, es uno de los más importantes acuíferos de los dos países. Junto con el sistema acuífero transfronterizo Masacre, es parte del Proyecto GEF/PNUMA/OEA/UNESCO como ejemplo de acuífero transfronterizo intermontano en zonas desertificadas por excesiva deforestación y con alto nivel de pobreza.
	<b>3CB - Los Lagos</b>	Sus aguas subterráneas son importantes para los dos países como fuente para todos los usos. Poco conocido hidrogeológicamente.
	<b>4CB – Pedernales</b>	Es un acuífero con poca información en ambos lados de la frontera. Sus aguas son utilizadas para abastecimiento de la población local. Necesita ser estudiado con más detalle.



# Sistemas Acuíferos Transfronterizos del Caribe



## HAITÍ – REPÚBLICA DOMINICANA

### 1CB - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO MASACRE REPÚBLICA DOMINICANA-HAITÍ

El Sistema Acuífero Transfronterizo Masacre está ubicado en la Provincia Dajabón del lado dominicano y en el Departamento Nordeste del lado haitiano.

El uso actual es doméstico y agrícola en ambos lados. Tiene una demanda potencial para uso industrial en el lado dominicano. Tiene una superficie aproximada de 1.200 km<sup>2</sup> del lado dominicano y 1.080 km<sup>2</sup> del lado haitiano. La precipitación anual es de 1.500 mm en el lado dominicano y 1.300 mm en el lado haitiano.

Las características geológicas son del cuaternario en ciénagas y terrazas fluviales y del terciario superior con una formación cerrada del lado dominicano y cuaternario aluvial en la planicie y volcans intrusiva en las montañas del lado haitiano.

En cuanto a las características hidrogeológicas en el lado dominicano, aunque el conjunto es de baja permeabilidad, cabe destacar dentro del mismo acuífero la permeabilidad de las calizas arrecifales del Eoceno-Mioceno. En el lado haitiano la permeabilidad es media, de capacidad de 10 a 20 l/s. El flujo de este acuífero a través de la frontera va en dirección NE-SO en el sentido S-O del lado dominicano, mientras que del lado haitiano va en dirección S-N.

El área de recarga es de 157 km<sup>2</sup> del lado dominicano; la recarga es directa por infiltración de las lluvias y en los cauces de los ríos. El número de pozos de monitoreo es de 3 en Rep. Dominicana y 17 en Haití.

Este acuífero tiene un gran significado a nivel local tanto del lado dominicano como del haitiano por el uso agrícola y doméstico para agua potable. A nivel regional es muy importante por ser uno de los cuatro acuíferos transfronterizos en el Caribe. A nivel global es un acuífero compartido por dos países en una misma isla.

#### Referencias

- Dirección General de Minería, Cartografía geológica, 1:250000, 1991. INDRHI. Cartografía hidrogeológica 1: 250000, R.D. 2004.
- INDRHI-EPTISA, 2004. Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, Fase I y II.

#### Autores:

Francisco Rodríguez, INDRHI, República Dominicana  
Yvelt Chery, SNRE, Haití

Sistema Acuífero Masacre  
ICB HT-DO



## 2CB - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ARTIBONITO HAÍTÍ-REPÚBLICA DOMINICANA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Artibonito está ubicado en la zona centro occidental de la República Dominicana y en el valle de Artibonito en Haití.

El uso actual en la República Dominicana es agrícola, para consumo humano e industrial. En Haití es doméstico, agrícola y de uso en energía eléctrica.

Tiene una superficie aproximada de 3.000 km<sup>2</sup> del lado dominicano y 6.780 km<sup>2</sup> del lado haitiano. La precipitación anual es de 800-2.000 mm a ambos lados de la frontera.

Las características geológicas en el lado dominicano son: rocas magmáticas, volcánicas y volcanosedimentarias. En el Valle de San Juan tiene conglomerados, abanicos y terrazas aluviales. En la Sierra de Neyba, nace el Macasías, su afluente principal, en calizas arrecifales del Eoceno-Nioceno. En el lado haitiano el acuífero está constituido por rocas carbonáticas, arcilla, conglomerados y esquistos.

En el lado dominicano las formaciones acuíferas son del tipo dendríticas y libres en el valle, con permeabilidad por porosidad intersticial, mientras la permeabilidad es baja en Haití.

El área de recarga es de 800 km<sup>2</sup> y esta ubicada en Rep. Dominicana. La recarga es directa a través de la infiltración de las lluvias y de los cauces de los ríos. El gradiente hidráulico a través de la frontera es desconocido.

Este acuífero es muy significativo a nivel local a ambos lados de la frontera, por el uso humano, agrícola, industrial y energético. A nivel regional es uno de los cuatro acuíferos transfronterizos en toda la región del Caribe y a nivel global es un acuífero compartido por dos países en una misma isla.

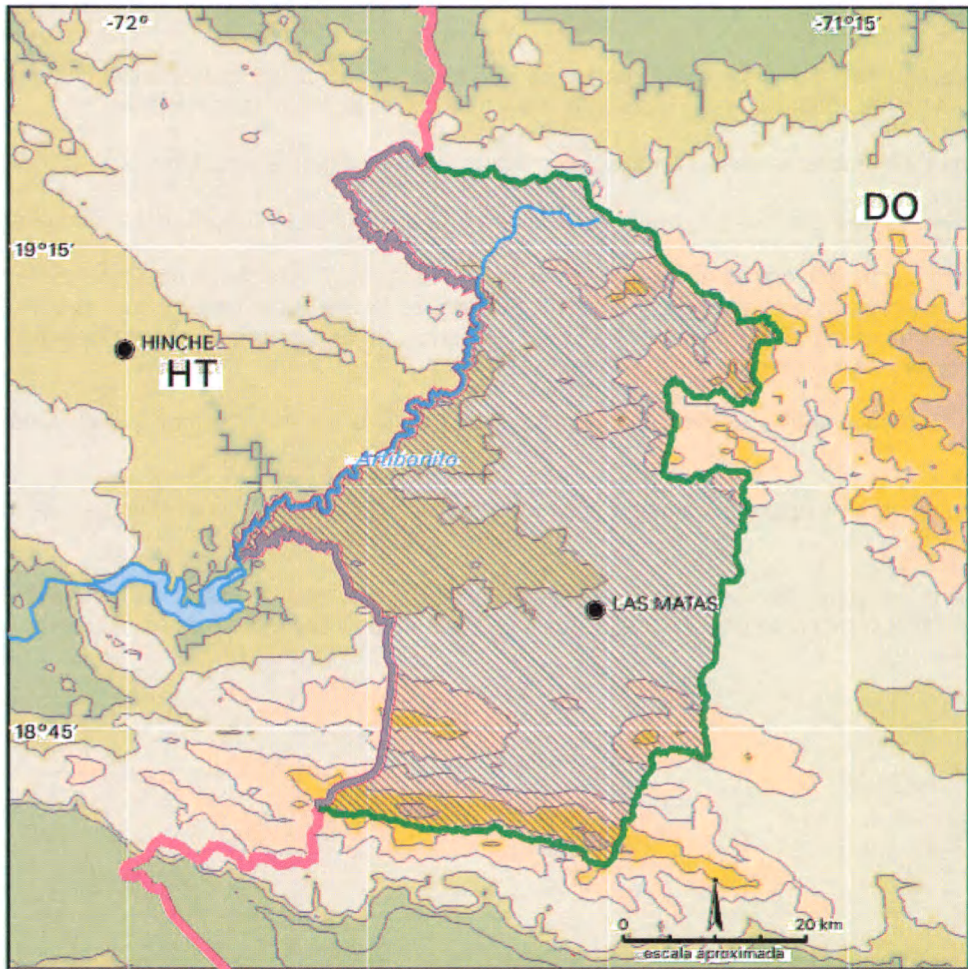
### Referencias

- *Dirección General de Minería, Cartografía geológica, 1:250000, R.D., 1991.*
- *INDRHI. Cartografía hidrogeológica 1: 250000, R.D., 2004.*
- *INDRHI-EPTISA. Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, Fase I y I, 2004.*
- *Modelo conceptual del acuífero: Estudio Hidrogeológico Nacional, Memorias Finales - Memoria 4, Studio Hidrogeológico del Valle de San Juan, AQUATER/INDRHI, 2000.*

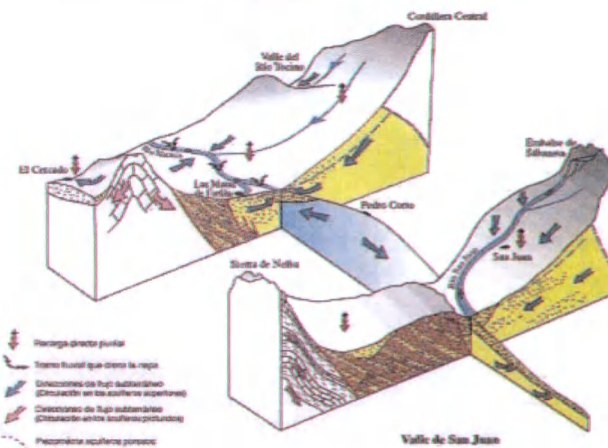
### Autores:

Francisco Rodríguez, INDRHI, República Dominicana  
Yvelt Chery, SNRE, Haití

**Sistema Acuífero Artibonito  
2CB HT-DO**



Esquema de la circulación hídrica subterránea



Fuente: AQUATER, 2000



**3CB - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO LOS LAGOS  
REPÚBLICA DOMINICANA-HAITÍ**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Los Lagos está ubicado en la región Noroeste, Valle de Neyba del lado dominicano y en la Planicie de Cul de Sac, Departamento del Oeste del lado haitiano.

El uso actual en ambos países es agrícola, doméstico y potencialmente industrial.

Su extensión es de 2.300 km<sup>2</sup> en el lado dominicano y se desconoce la superficie que ocupa en el lado haitiano.

Las características geológicas en el lado dominicano son: calizas arrecifales del Eoceno-Mioceno en la Sierra de Neyba; conglomerados, abanicos y terrazas aluviales en la Sierra de Neyba y calizas blancas del Oligoceno-Eoceno, calizas rojizas del Mioceno-en la Sierra de Bahoruco. El acuífero en el lado haitiano es constituido por rocas carbonáticas, con arcillas y conglomerados.

Se trata de formaciones acuíferas del tipo dendrítico y libre en el valle, con permeabilidad por porosidad intersticial.

El área de recarga es aproximadamente 900 km<sup>2</sup> en el lado dominicano y aproximadamente 150 km<sup>2</sup> en el lado haitiano.

Por los usos agrícolas, humano y potencialmente industrial este acuífero tiene gran significado a nivel local. A nivel regional es importante por ser uno de los cuatro acuíferos transfronterizos en la zona del Caribe.

**Referencias**

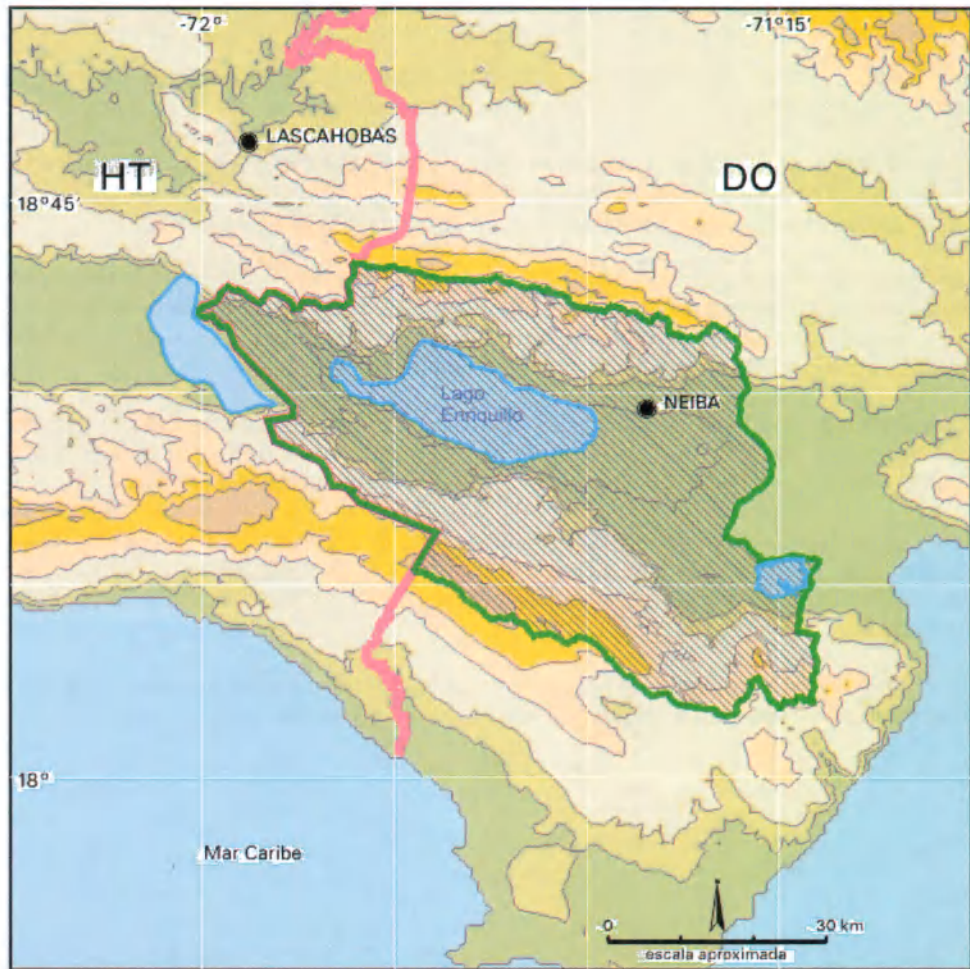
- *Dirección General de Minería, Cartografía geológica, 1:250000, R.D. 1991.*
- *INDRHI. Cartografía hidrogeológica 1: 250000, R.D., 2004.*
- *INDRHI-EPTISA, 2004. Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, Fase I y II, 2004.*

**Autores:**

Francisco Rodríguez, INDRHI, República Dominicana  
Yvelt Chery, SNRE, Haití



Sistema Acuífero Los Lagos  
3CB HT-DO



**4CB - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PEDERNALES  
REPÚBLICA DOMINICANA-HAITÍ**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Pedernales está ubicado en la Provincia del mismo nombre en el lado dominicano y en el Departamento del Sudeste en lado haitiano.

Su extensión es de aproximadamente 2.000 km<sup>2</sup> en la Sierra de Bahoruco y de 300 km<sup>2</sup> en la Península Sur de Barahona. Se desconoce el área de extensión en el lado haitiano. Su uso es agrícola y potencialmente para turismo en el lado dominicano y de uso humano y agrícola en Haití.

En este conjunto de materiales de diversa naturaleza, se destaca una importante superficie aflorante de materiales carbonatados de una extensión en superficie de 2.500 km<sup>2</sup>, que conforman un amplio anticlinal y un extenso acuífero carbonatado con permeabilidad por fracturación, en el que se ha desarrollado un proceso de carstificación avanzado, sobretodo en sus unidades submeridionales.

Los principales niveles acuíferos carbonatados lo constituyen las calizas blancas del Eoceno-Oligoceno (Ec) y las calizas rojizas del Mioceno (Mc), ambas en Facies Nerítica, aunque su disposición estructural hace que funcionen como un acuífero único, con permeabilidad alta por fracturación – carstificación.

Las características hidrogeológicas en el acuífero principal la constituyen las calizas blancas y rojizas con importante grado de carstificación y con flujo predominante S-N y NO-SE en el lado dominicano. En la parte haitiana es un acuífero principal carbonatado carstificado y fisurado con numerosas surgencias y con producción variable.

Por los usos agrícolas y humanos y potencialmente un uso turístico, este acuífero tiene una gran significación local. A nivel regional es uno de los cuatro acuíferos transfronterizos en la zona del Caribe.

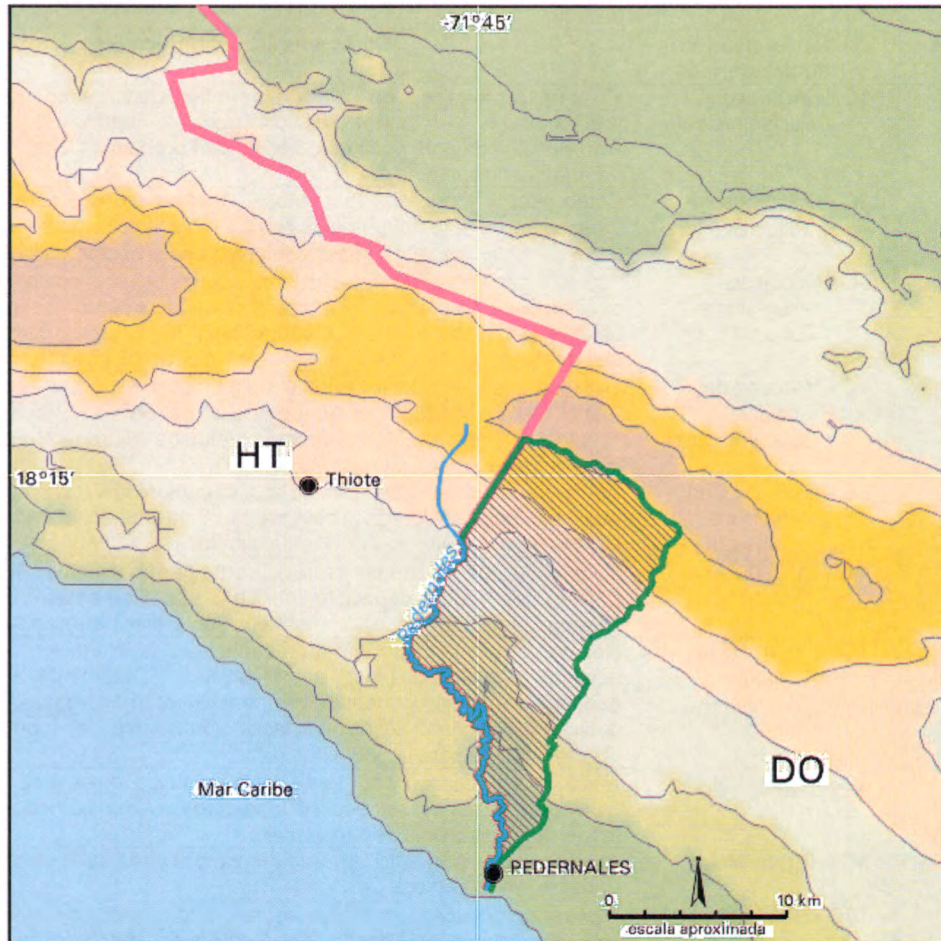
**Referencias**

- *Dirección General de Minería, Cartografía geológica, 1:250000, R.D., 1991.*
- *INDRHI. Cartografía hidrogeológica 1: 250000, R.D., 2004.*
- *INDRHI-EPTISA, 2004. Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, Fase I y II, 2004.*

**Autores:**

Francisco Rodríguez, INDRHI, República Dominicana  
Yvelt Chery, SNRE, Haití

Sistema Acuífero Pedernales  
4CB HT-DO



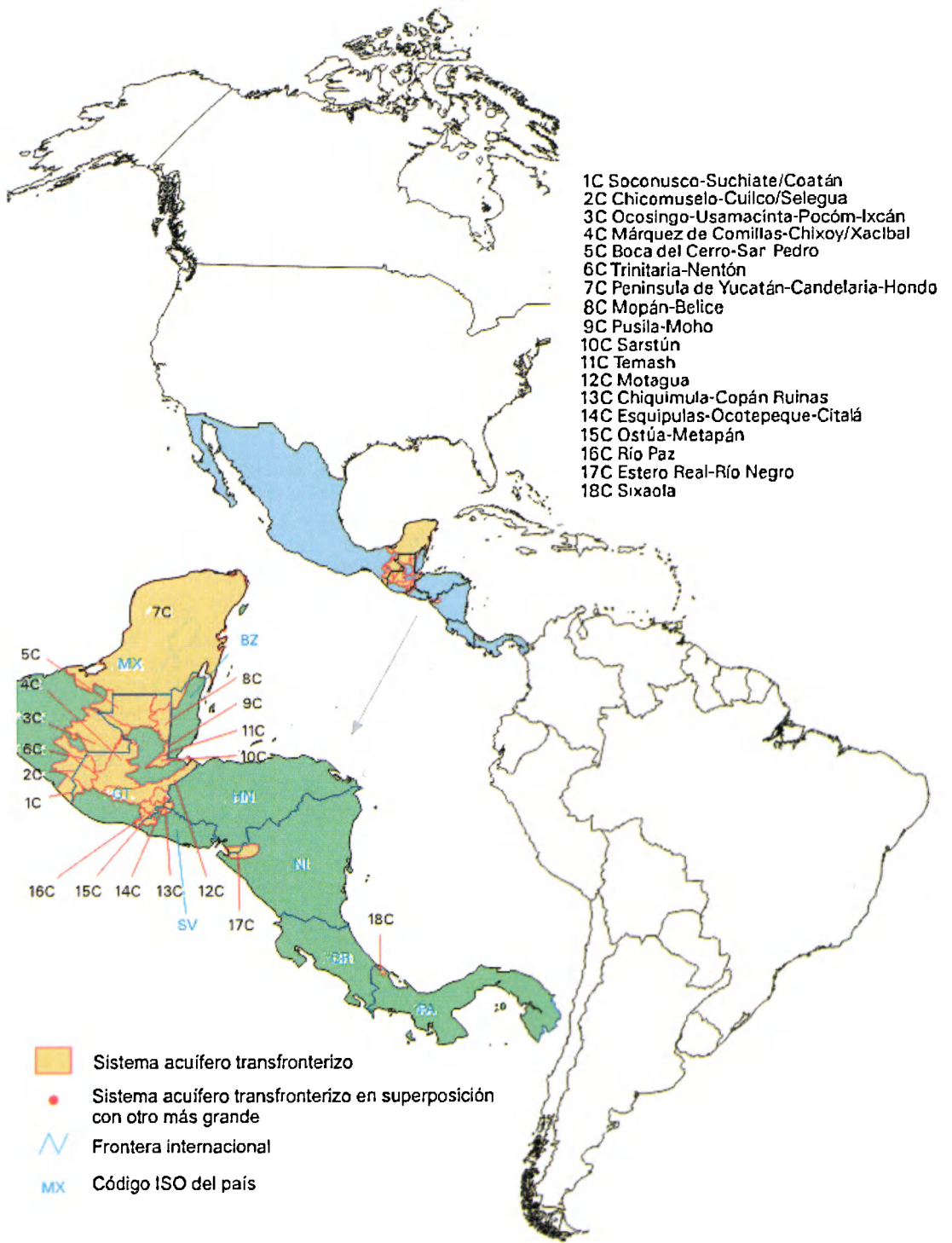
#### 4. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE CENTROAMÉRICA

##### Sinopsis sub-regional

En Centroamérica fueron identificados 18 sistemas acuíferos transfronterizos. Las características más significativas de estos sistemas se indican en el siguiente cuadro:

<b>Países</b>	<b>Sistemas acuíferos transfronterizos</b>	<b>Características significativas</b>
Guatemala-México	<b>1C</b> - Soconusco-Suchiate/Coatán	El agua subterránea es utilizada para abastecer alrededor de 1.500.000 habitantes y en menor medida para la agricultura. Acuífero libre, hidrogeológicamente poco estudiado y con problemas locales de salinización de origen antropogénico.
	<b>2C</b> - Chicomuselo-Cuilco/Selegua	Clima seco y topografía montañosa. Acuífero de tipo libre con desarrollo cárstico importante. Información hidrogeológica disponible en los dos países. Es la principal fuente de abastecimiento para el sector agrícola y pecuario.
	<b>3C</b> - Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán	Acuífero cárstico con niveles profundos asociados a complejos sistemas de circulación. Predominan rocas cársticas. Localmente sus aguas son poco aptas para el consumo humano debido a las altas concentraciones de sulfatos y carbonatos. Los estudios son dispersos y localizados.
	<b>4C</b> - Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal	Utilizado para el abastecimiento de poblaciones urbanas y rurales, y en menor escala para irrigación de áreas pequeñas. Acuífero cárstico de circulación profunda que demanda estudios hidrogeológicos. Las aguas circulan de Guatemala hacia México.
	<b>5C</b> - Boca del Cerro-San Pedro	Aprovechamiento escaso debido al alto contenido de sulfatos y carbonatos, abastece sólo a algunas poblaciones. Está siendo objeto de estudio por ambos países. Acuífero cárstico de circulación profunda.
	<b>6C</b> - Trinitaria-Nentón	El acuífero es la fuente principal de agua para abastecimiento de las poblaciones rurales, especialmente en la época de estiaje. El agua fluye de Guatemala hacia México. Los estudios son preliminares en ambos países.
Guatemala-México-Belice	<b>7C</b> - Península de Yucatán-Candelaria-Hondo	Región de relieve plano con gran capacidad de infiltración que conforma un acuífero cárstico de alta permeabilidad y altamente vulnerable a la contaminación antropogénica. El conocimiento hidrogeológico es limitado debido al escaso desarrollo local. Constituye la fuente principal de abastecimiento para la población rural.
Guatemala-Belice	<b>8C</b> - Mopán-Belice	Acuífero estudiado en la parte de Guatemala cuya área cubre cerca de 5.000 km <sup>2</sup> y donde se localiza la recarga. Clima húmedo. El suelo sufre fuerte deforestación. Calidad variable.
	<b>9C</b> - Pusila-Moho	Acuífero estudiado sólo en Guatemala con área aproximada de 260 km <sup>2</sup> . Clima húmedo tropical.
	<b>10C</b> - Sarstún	A pesar de que los datos sobre aguas subterráneas son escasos, el acuífero está ampliamente utilizado en Guatemala. Es una zona fuertemente deforestada, pero con zonas selváticas.
Guatemala-Honduras	<b>11C</b> - Temash	Región de limitado desarrollo económico. Información hidrogeológica todavía escasa. Cubre un área de alrededor de 100 km <sup>2</sup> . Clima húmedo tropical.
	<b>12C</b> - Motagua	Región con precipitación entre 600 hasta 3.000 mm/año. Acuífero poco profundo. Transmisividad variable. La extensión del acuífero es de 2.300 km <sup>2</sup> aproximadamente, hacia el Caribe.
	<b>13C</b> - Chiquimula-Copán Ruinas	Región con zonas subtropicales y semi-áridas. Poca población. Agricultura de subsistencia. Poca información hidrogeológica. Flujo de Honduras hacia Guatemala.
Guatemala-Honduras-El Salvador	<b>14C</b> - Esquipulas-Ocotepeque-Citalá	El área del acuífero es de alrededor de 600 km <sup>2</sup> , tiene 100.000 habitantes. Clima húmedo. Sistema acuífero complejo. Agua subterránea muy utilizada. Estudios en Guatemala y El Salvador.
El Salvador-Guatemala	<b>15C</b> - Ostúa-Metapán	Zona semi-árida con aproximadamente 500.000 habitantes. El área del acuífero es de alrededor de 800 km <sup>2</sup> . Tiene problemas de sobreexplotación y contaminación.
	<b>16C</b> - Río Paz	Exploración geotérmica con pozos. Precipitación aproximada 1.300 mm/año. Acuíferos superficiales muy explotados. Necesita estudios hidrogeológicos.
Honduras-Nicaragua	<b>17C</b> - Estero Real-Río Negro	Acuífero libre entre 5 y 60 m de profundidad. Muy utilizado en los dos países. Problemas de contaminación. Países articulan estudios conjuntos.
Costa Rica-Panamá	<b>18C</b> - Sixaola	Acuífero utilizado para agroindustria principalmente. Panamá y Costa Rica iniciaran trabajos conjuntos para el conocimiento y la gestión de la cuenca del río Sixaola.

## Sistemas Acuíferos Transfronterizos de Centroamérica





## MEXICO – GUATEMALA

### 1C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SOCONUSCO-SUCHIATE/COATÁN MÉXICO – GUATEMALA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Soconusco-Suchiate/Coatán se extiende por el Estado de Chiapas en México y por el Departamento de San Marcos en Guatemala. La topografía es predominantemente montañosa en su parte alta y de relieve plano en su porción costera. La población está concentrada en la zona costera del lado Mexicano y en el lado guatemalteco en los valles intermontanos, estimándose una población de 1,5 millones de habitantes.

El clima es muy variado dado que la elevación topográfica varía entre 0 y más de 4400 metros sobre el nivel del mar.

El agua subterránea tiene importancia mayor en los períodos de estiaje, para el consumo humano y el desarrollo agrícola. El agua subterránea tiene mayor importancia en la porción costera del Océano Pacífico, en donde está expuesto a la intrusión salina, y donde también contribuye al sostenimiento de los ecosistemas costeros (humedales y manglares).

El acuífero está constituido por materiales aluviales de granulometría variada, que descansan sobre rocas cristalinas (granitos, dioritas) y volcánicas del Terciario (basaltos y andesitas emitidas por el volcán Tacaná). El acuífero es de tipo libre, de características hidráulicas variadas y está conectado con el río Suchiate en su porción baja, el cual constituye su nivel base de descarga. En la porción alta, el flujo subterráneo es de Guatemala hacia México, en la porción baja prácticamente no existe circulación subterránea a través de la frontera internacional.

El conocimiento que se tiene del sistema acuífero es escaso; el monitoreo de niveles y de calidad del agua subterránea tiene poca cobertura y falta actualizar la evaluación del sistema en cuanto a su renovación. El acuífero ha sido observado y evaluado por el INSIVUMEH en Guatemala y por la CONAGUA en México y en los aspectos transfronterizos interactúan bajo la coordinación de la CILA. El Conocimiento que se tiene del sistema acuífero es escaso; el monitoreo de niveles y la calidad del agua subterránea tiene poca cobertura y falta actualizar la evaluación del sistema en cuanto su renovación.

El acuífero es fuente importante para la agricultura en la parte baja de la cuenca y para los usos domésticos-pecuarios en toda su extensión. Está expuesto a la intrusión salina en la porción costera y su calidad ha sido deteriorada por las actividades agropecuarias, deposición de desechos líquidos y sólidos. Al momento, los riesgos significativos de impacto transfronterizo son mínimos; aunque los eventos meteorológicos extremos, como sequías, huracanes y tormentas tropicales, pueden afectar la calidad y disponibilidad de agua.

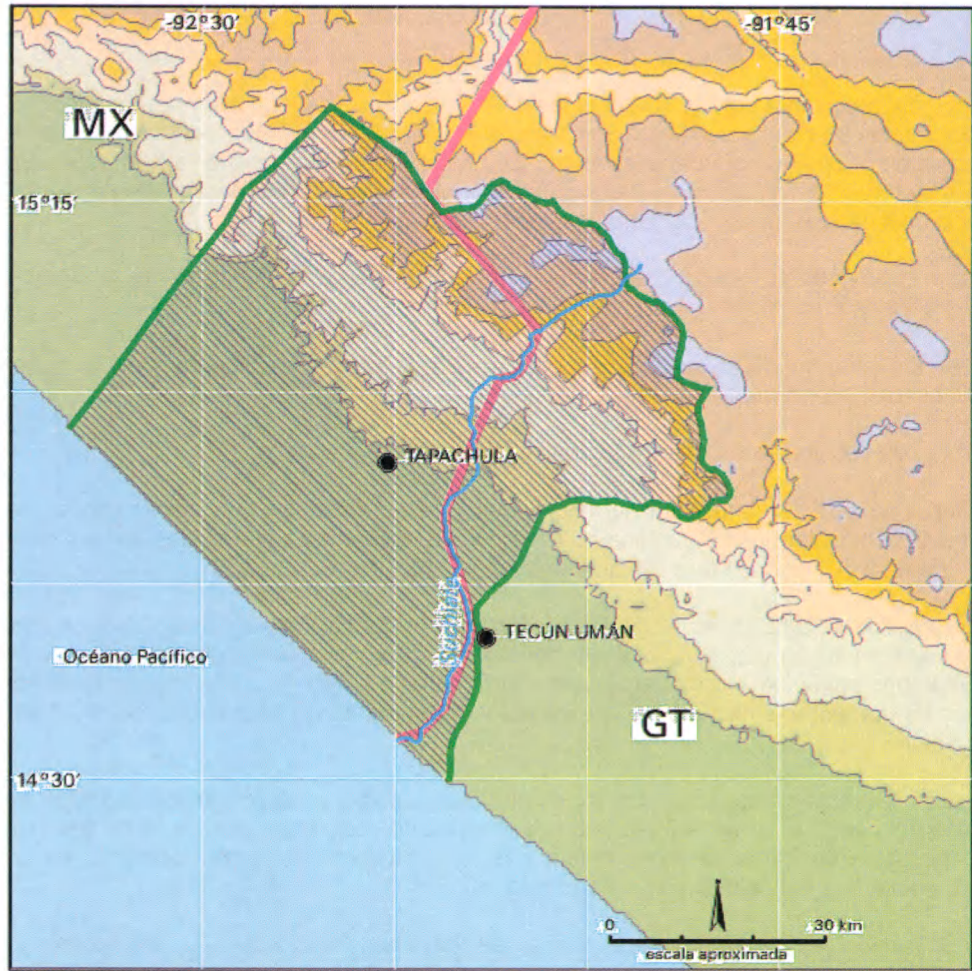
#### **Autores:**

Rubén Chávez, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaboradores:** CNA, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax



**Sistema Acuífero Soconusco-Suchiate/Coatán**  
**1C GT-MX**



**2C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
CHICOMUSELO-CUILCO/SELEGUA  
GUATEMALA- MÉXICO**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Chicomuselo-Cuilco/Selegua se localiza en el Estado de Chiapas, México y los Departamentos de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango Guatemala. La población más importante se encuentra en la ciudad de Huehuetenango. El agua subterránea es importante, especialmente durante los períodos de estiaje, aprovechándose la descarga de manantiales y la extracción de pozos someros en los valles para usos doméstico, pecuario y agrícola en escala pequeña.

El clima es relativamente seco, especialmente en el territorio mexicano, y la topografía montañosa con pequeños valles intermontanos.

El acuífero está conformado en su parte superior por clásticos no consolidados y en su parte inferior por rocas cársticas limitadas inferiormente por rocas metamórficas y marinas.

El acuífero es de tipo libre con desarrollo cárstico importante.

Su permeabilidad secundaria es alta por carsticidad y fracturamiento y hay zonas conductoras asociadas con grandes fallas geológicas; tiene estrecha relación con las corrientes superficiales con las que intercambia agua en forma alternada. El agua circula de Guatemala hacia México.

El acuífero ha sido estudiado por CONAGUA en México y por CILA en ambos países; el INSIVUMEH dispone de información climatológica, hidrológica y geológica. El conocimiento del sistema acuífero en general es escaso en ambos países; el monitoreo escaso e incipiente de niveles y calidad del agua subterránea, hay pocas mediciones de corrientes superficiales, la evaluación de manantiales es poco confiable y también se carece de una evaluación de la recarga.

El acuífero es la fuente principal de abastecimiento para los sectores doméstico y agropecuario, así como para el consumo humano. El agua subterránea es importante, especialmente durante los períodos de estiaje, aprovechándose la descarga de manantiales y la extraída mediante pozos someros en los valles para uso doméstico, pecuario y agrícola en pequeña escala.

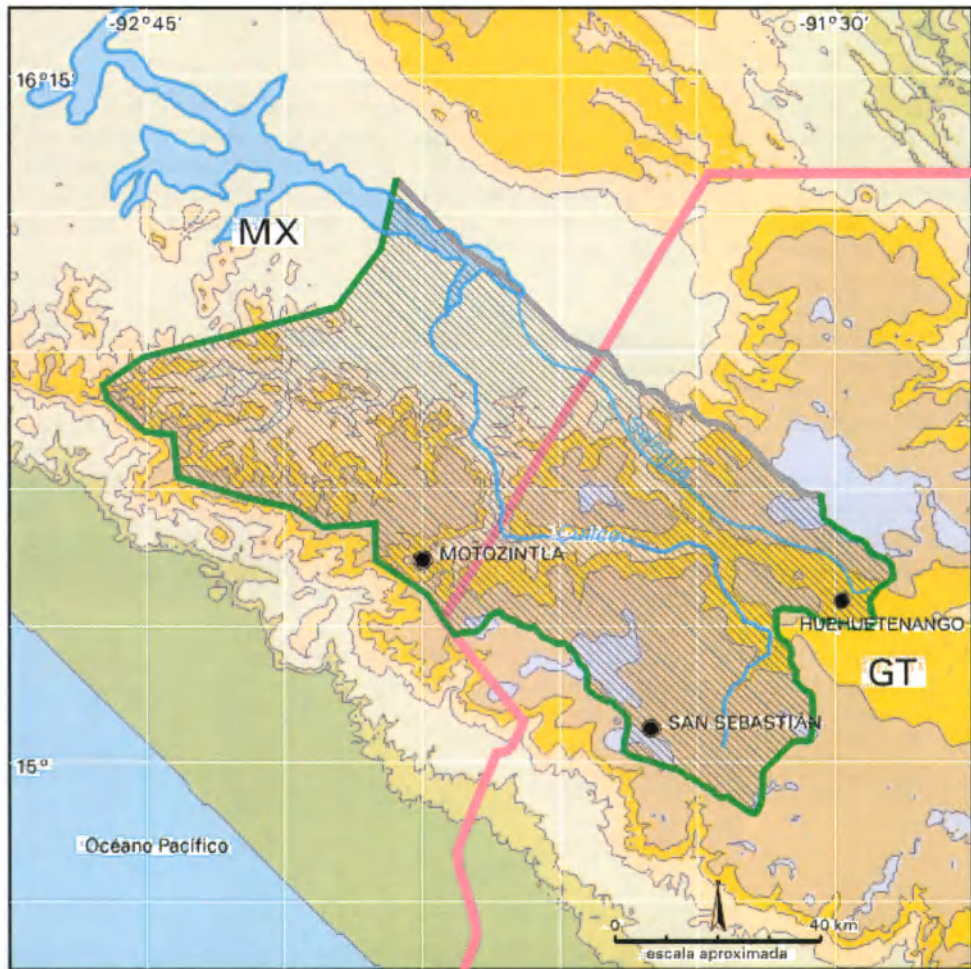
Hay contaminación antropogénica por descargas de aguas residuales a las corrientes y por falta de saneamiento ambiental básico. Puede haber riesgo de impacto transfronterizo por contaminación del agua en las partes altas. El acuífero es vulnerable a eventos meteorológicos extremos que pueden generar efectos degradativos sobre la calidad del agua subterránea.

**Autores:**

Rubén Chávez, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaboradores:** CNA, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax

Sistema Acuífero Chicomuselo-Cuilco/Selegua  
2C GT-MX



**3C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
OCOSINGO-USUMACINTA-POCÓM-IXCÁN  
MÉXICO-GUATEMALA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán se localiza en el Estado de Chiapas en México y en los Departamentos de Huehuetenango, Petén y Quiché en Guatemala. El relieve es montañoso, con valles y mesetas intermontanos. El agua subterránea es de poca importancia relativa, porque los niveles del agua son profundos; y es captada en los manantiales y mediante pozos profundos. La población está dispersa en pequeñas comunidades, en donde se utiliza el agua para usos doméstico y agropecuario; las principales poblaciones de Guatemala lo constituyen Sayaxché y el Triángulo Ixil. El clima es cálido subtropical en Guatemala y seco en México.

El acuífero está constituido por rocas cársticas que representan complejos sistemas de circulación subterránea, asociados con grandes cavernas y fracturas. El agua subterránea circula de Guatemala hacia México y descarga al río Usumacinta, que es el nivel del caudal base. En algunas áreas, el agua subterránea se caracteriza por su alto contenido de sulfatos y carbonatos que la hacen poco apta para el consumo humano y animal.

El acuífero ha sido poco estudiado, aunque se dispone de información obtenida en los estudios y exploraciones petroleras. El conocimiento Hidrogeológico es pobre a causa del escaso desarrollo local. Las mediciones hidrométricas sobre el río Usumacinta, proporcionan una idea del caudal base aportado por el acuífero. El acuífero abastece a la población rural que utiliza el agua con fines doméstico y pecuario; así mismo, alimenta a los ríos y sostiene la vegetación ribereña especialmente durante los períodos de estiaje.

El principal impacto transfronterizo consistiría en una reducción significativa del caudal base del río Usumacinta, con seria afectación a los ecosistemas y a la navegación fluvial.

**Referencias**

- *Comisión Nacional del Agua. Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el Edo. de Chiapas. 1979. Compañía Estudios Geológico y Obras Civiles S.A.*
- *Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico de Evaluación y Censo en la Región de Soconusco. 1987.*
- *Comisión Nacional del Agua. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Soconusco, 2002. Disponibles en: <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>*

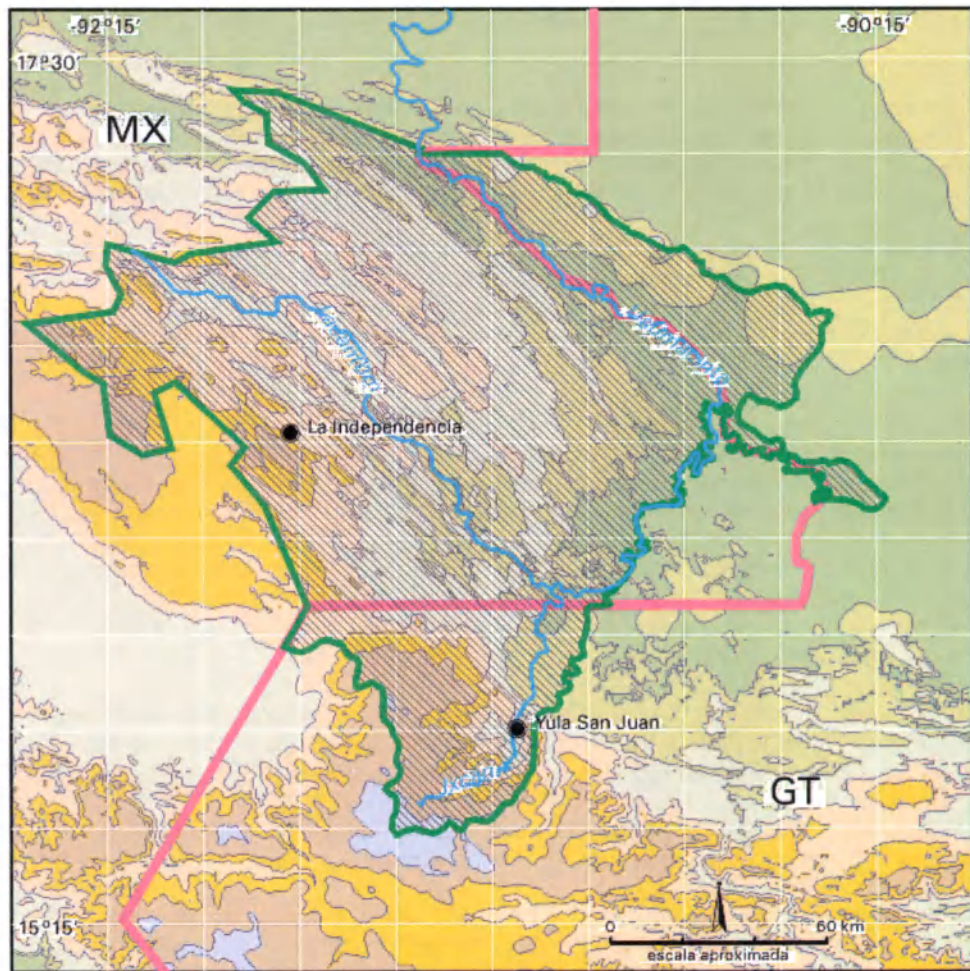
**Autores:**

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaboradores:** CAN, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax



Sistema Acuífero Ocosingo-Usumacinta-Pocóm-Ixcán  
3C GT-MX



**4C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
MÁRQUEZ DE COMILLAS-CHIXOY/XACLBAL  
MÉXICO - GUATEMALA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal se extiende a lo largo del Estado de Chiapas (México) y en los Departamentos de Totonicapán, Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz y Petén (Guatemala). En las zonas altas existen poblaciones importantes, como: Santa Cruz del Quiché, Salamá y Cobán, mientras que en las partes bajas del territorio guatemalteco, las poblaciones están dispersas.

El clima es variable, desde zonas templadas con altitudes mayores de 3000 metros sobre el nivel del mar hasta las tierras bajas de los ríos Lacandón (México) y Salinas (Guatemala), en zonas selváticas tropicales.

Existen manantiales localizados en las partes altas de las cuencas y con ello se abastece de agua a las comunidades.

El acuífero se encuentra en depósitos de rocas sedimentarias del Cretácico Terciario, calizas y dolomitas cretácicas que presentan extensas área de circulación cárstica. El acuífero por estar en rocas cársticas presenta complejos sistemas de circulación subterránea asociado con grandes cavernas y fracturas. El agua subterránea circula de Guatemala hacia México y la descarga es a través de los ríos Salinas y La Pasión (Guatemala).

Los niveles del agua subterránea normalmente son profundos y muy variados. En las parte altas de la cuenca, el agua subterránea se aprovecha por medio de pozos excavados, pozos perforados y manantiales. En las partes bajas el aprovechamiento es escaso y algunas áreas se caracterizan por el alto contenido de sulfatos y carbonatos que la hacen poco apta para el consumo humano y animal.

El acuífero ha sido medianamente estudiado en los valles intermontanos, disponiéndose de información hidrometeorológica en INSIVUMEH, INDE y en las Municipalidades de algunos municipios de Guatemala, pero en las partes bajas el conocimiento Hidrogeológico es escaso.

Los caudales de los ríos Chixoy y Xaclbal dan una idea del caudal base reportado por el acuífero. En este río existen algunas hidroeléctricas importantes, como la del Chixoy.

El acuífero abastece a la población urbana y rural que utiliza el agua con fines domésticos, agropecuarios y principalmente en pequeños sistemas de irrigación; así mismo, alimenta a los ríos y riachuelos que sostienen la vegetación ribereña y la protección de las montañas.

El principal impacto transfronterizo consistiría en la reducción significativa del caudal base de los ríos Chixoy y Xaclbal afectando los sistemas fluviales y los humedales de la región.

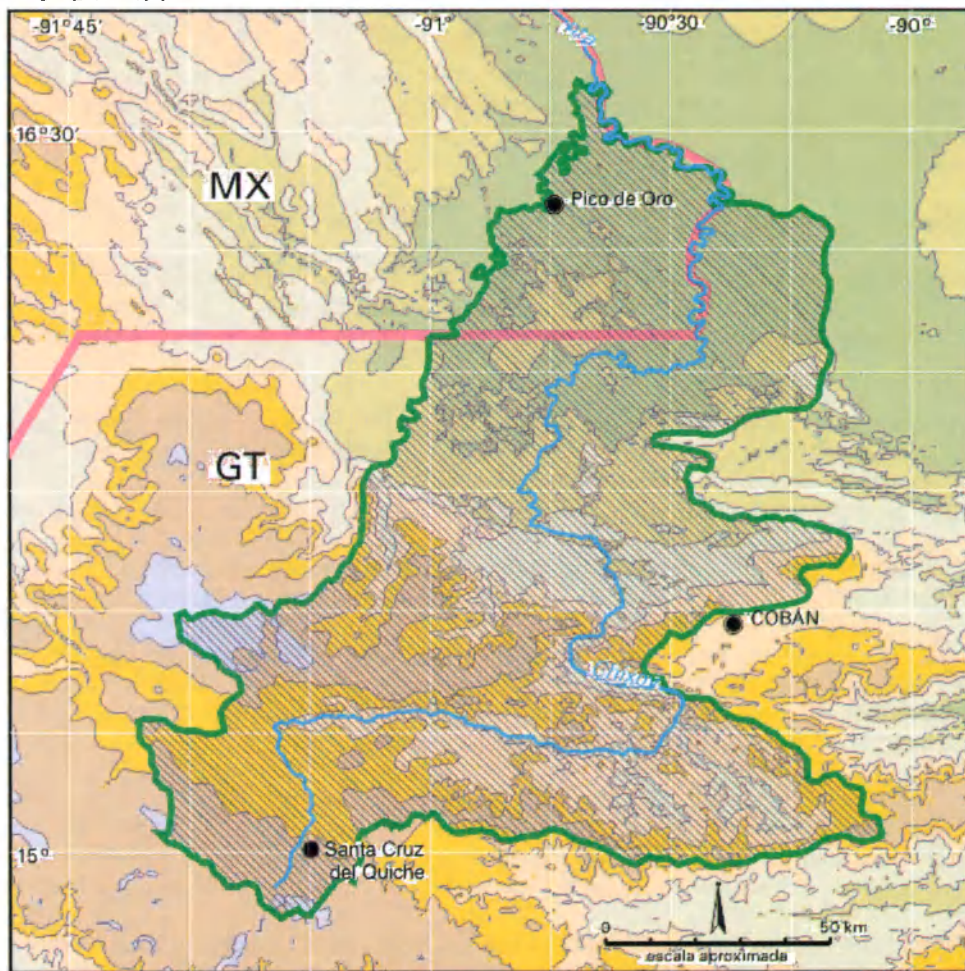
**Autores:**

Rubén Chávez Guillén, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaboradores:** CNA, : Roberto Sención Aceves, V. Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero; INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax.



Sistema Acuífero Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal  
4C GT-MX



## 5C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO BOCA DEL CERRO-SAN PEDRO GUATEMALA- MÉXICO

El Sistema Acuífero Transfronterizo Boca del Cerro-San Pedro se extiende a lo largo de los Estados de Tabasco, Campeche y Yucatán (México) y en el Departamento de Petén (Guatemala). La mayoría de la población del lado de Guatemala se encuentra en la cabecera de la cuenca, mientras que en el lado mexicano se ubica en las partes bajas de la cuenca hidrográfica.

El clima es cálido húmedo y tropical en toda su extensión, las mayores alturas alcanzan los 600 metros sobre el nivel del mar. Los niveles del agua subterránea normalmente son profundos y muy variados. El Sistema Acuífero se localiza sobre calizas y dolomitas que tienen elevado grado de permeabilidad por fracturación y de extensas áreas con desarrollo de circulación cárstica. En las zonas medias y bajas se tienen sedimentos marinos terrígenos, areniscas calizas arcillosas y lutitas cubiertas por sedimentos recientes depositadas en el ambiente continental.

En la mayor parte de su área el acuífero es libre, conformado por materiales no consolidados. Es un acuífero multiestrato de modesta productividad y niveles de permeabilidad variable, primaria y secundaria, generalmente baja con intercalación de niveles impermeables a semi-permeables. En estratos profundos puede encontrarse un acuífero de buena productividad. El flujo es de Este a Oeste dirigiéndose al Golfo de México.

El aprovechamiento de aguas subterráneas es escaso y en casi toda el área se caracteriza por el alto contenido de sulfatos y carbonatos, que la hacen poco apta para el consumo humano y animal.

El acuífero ha sido estudiado únicamente en la cuenca del Lago Petén Itzá y en su área de influencia por el INDE y el INSIVUMEH, pero el conocimiento Hidrogeológico del resto del área guatemalteca es escaso. Existe monitoreo hidrométrico y climatológico por parte de INSIVUMEH Guatemala, CONAGUA México y la Oficina de la Comisión Internacional de Límites y Aguas México – Guatemala CILA.

El acuífero abastece de agua a las poblaciones del área urbana central de Petén Guatemala y la ciudad de Tenosique; así mismo alimenta con el caudal base a los afluentes de la cuenca, los cuales mantienen la vegetación ribereña y la humedad de la cobertura boscosa. En el lado guatemalteco es importante el aporte de agua a los sistemas de humedales, que ocupan una superficie considerable de la cuenca hidrográfica.

El principal impacto transfronterizo consistiría en la reducción significativa del caudal base del río San Pedro, afectando a los sistemas fluviales y a los humedales de la región.

### **Autores:**

Rubén Chávez, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaboradores:** CNA, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax

**Sistema Acuífero Boca del Cerro-San Pedro  
5C GT-MX**



**6C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO TRINITARIA – NENTÓN  
GUATEMALA – MÉXICO**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Trinitaria-Nentón se localiza en el Estado de Chiapas, en México y en el Departamento de Huehuetenango, en Guatemala. El relieve es montañoso con valles intermontanos estrechos y el clima es seco.

El agua subterránea es importante, sobre todo en la estación seca. Actualmente es captada en manantiales y mediante pozos someros en los valles, y es utilizada con fines domésticos, pecuarios y para el abastecimiento de pequeños sistemas de irrigación.

El acuífero está alojado en un relleno de materiales no consolidados, depositado sobre una estructura sinclinal de rocas calcáreas. El acuífero es del tipo libre, de permeabilidad media y baja capacidad de almacenamiento. Sus niveles freáticos son someros y tiene estrecha conexión con las corrientes superficiales, con las que intercambia agua. El agua fluye en el subsuelo de Guatemala hacia México.

El acuífero ha sido estudiado a nivel preliminar por CONAGUA y por CILA en México; INSIVUMEH mantiene monitoreos climáticos e hidrológicos en Guatemala, pero el conocimiento del acuífero es aún escaso en ambos países.

El acuífero es la fuente principal de agua que abastece a la población rural. Está localmente contaminado por la descarga de aguas residuales de las poblaciones sin instalaciones sanitarias adecuadas.

En las condiciones actuales no hay riesgo de impacto transfronterizo.

**Referencias**

- *Comisión Nacional del Agua. Censo, Geología, Geoquímica de la Zona de la Trinitaria en el Estado de Chiapas. 1974. Compañía INGESA.*
- *Comisión Nacional del Agua. Levantamientos Geológicos GeoHidrológicos en áreas de Chiapas. 1976. Compañía Estudios Geológicos y Obras Civiles, S. A.*
- *Comisión Nacional del Agua. Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el Estado de Chiapas. 1979. Compañía Estudios Geológicos y Obras Civiles, S. A.*

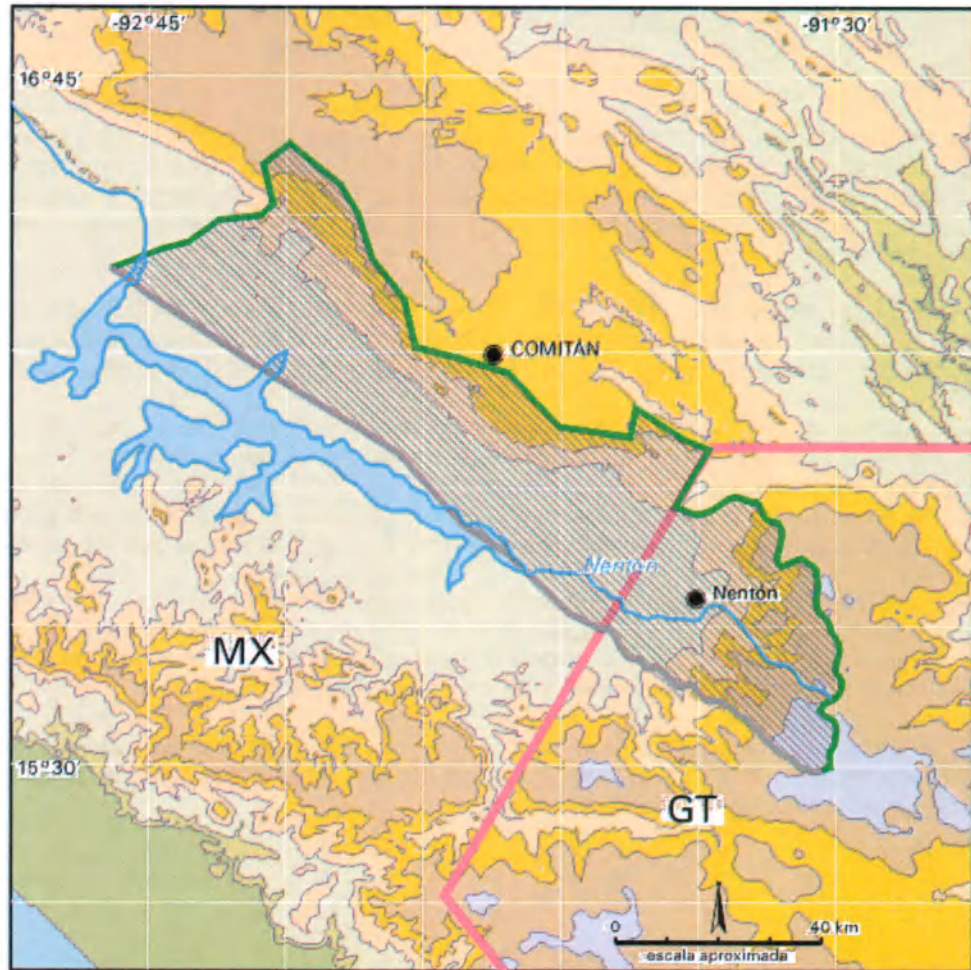
**Autores:**

Rubén Chávez, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala.

**Colaboradores:** CNA, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax



**Sistema Acuífero La Trinitaria-Nentón**  
**6C GT-MX**





## BELICE – GUATEMALA – MÉXICO

### 7C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PENÍNSULA DE YUCATÁN-CANDELARIA-HONDO BELICE – MÉXICO – GUATEMALA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Península de Yucatán-Candelaria-Hondo se localiza en la porción Sur de la Península de Yucatán, en los Estados de Campeche y Quintana Roo en México, en el Departamento de Petén en Guatemala y en los Distritos de Orange Walk y Corozal en Belice. En su mayor parte se extiende a lo largo de la Plataforma Yucateca, de relieve plano. La población está ampliamente dispersa en las tres naciones. El clima de la región es subtropical.

El agua subterránea reviste gran importancia relativa, porque el terreno cárstico tiene reducida pendiente topográfica y gran capacidad de infiltración; consecuentemente, la única corriente superficial es el río Hondo, que recibe parte de la descarga del acuífero, que es captado mediante gran número de pozos poco profundos.

El acuífero está formado por rocas cársticas de alta permeabilidad secundaria, asociada con oquedades de disolución, donde se han desarrollado complejos sistemas de circulación subterránea. El agua circula a través del subsuelo de Guatemala a Belice y luego hacia México. En algunas áreas tiene altas concentraciones de sulfatos, por lo que no es apta para el consumo humano y pecuario. El acuífero ha sido poco estudiado en las tres naciones. El conocimiento Hidrogeológico es muy limitado, debido al escaso desarrollo local.

El acuífero es vulnerable a la contaminación antropogénica, porque el terreno cárstico tiene gran capacidad de infiltración y capacidad prácticamente nula para atenuar contaminantes; sin embargo la abundante recarga y la rápida circulación del agua propicia la disolución y el transporte de los contaminantes, especialmente durante las lluvias torrenciales asociadas a los huracanes y las tormentas tropicales.

El sistema acuífero es la principal fuente de abastecimiento de agua para la población rural. No se identifica mayor riesgo de impacto transfronterizo, debido al escaso desarrollo en el territorio guatemalteco y a que la recarga en la porción mexicana y beliceña es cuantiosa.

#### Referencias

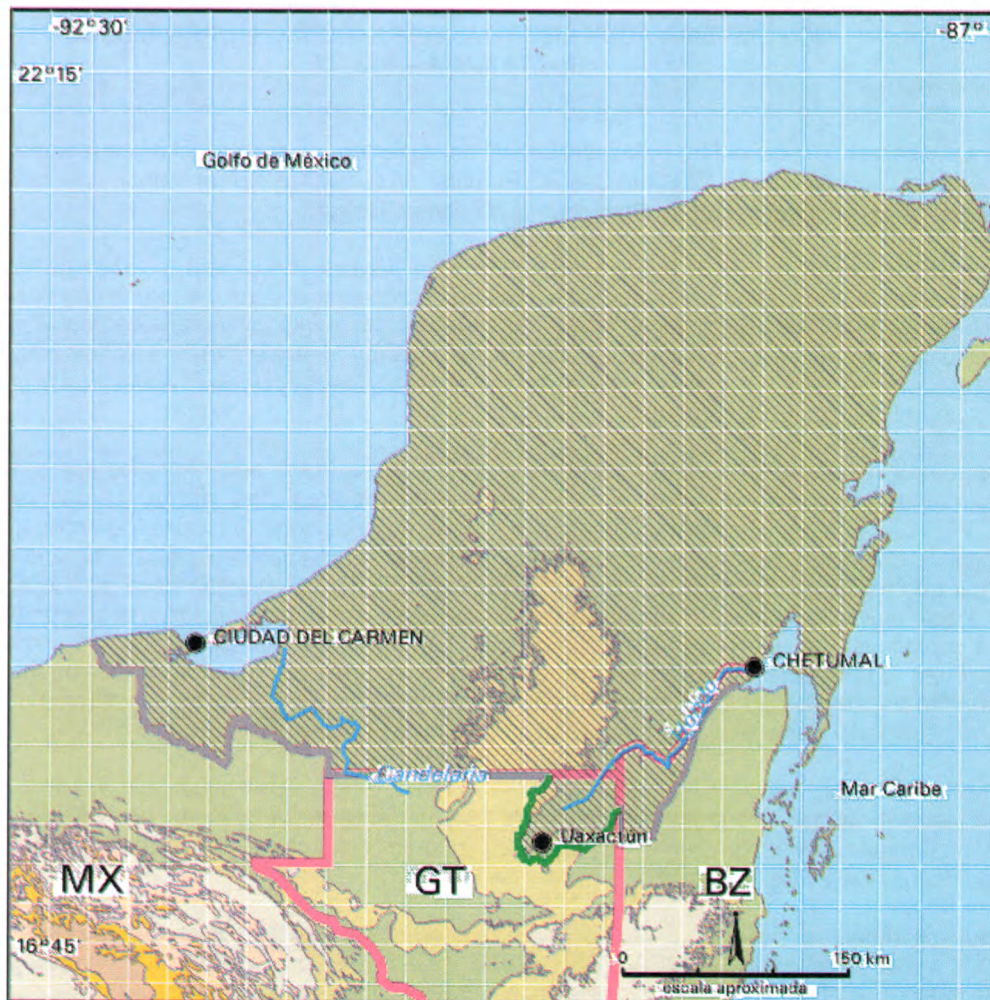
- *México: Comisión Nacional del Agua. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el acuífero Península de Yucatán, Estado de Yucatán. 2002. Disponible en <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>*
- *Guatemala: Hidrogeología – Disponibilidad de agua subterránea en la República de Guatemala, Plan Maestro de Riego y Drenaje, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). 1991. Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003 Componente Riego.*

#### Autores:

Ruben Chávez Guillén, CNA, México  
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Ramón Frutos, BNMS, Belice

**Colaboradores:** CNA, México: Roberto A. Sención Aceves, Víctor Manuel Castañón Arcos, Angélica Molina Maldonado, Mario Rivera Colmenero. INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax

# Sistema Acuífero Península de Yucatán-Candelaria-Hondo 7C GT-MX-BZ



## GUATEMALA - BELICE

### 8C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO MOPÁN-BELICE GUATEMALA – BELICE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Mopán-Belice se extiende a lo largo del Departamento de Petén en Guatemala y en el Distrito de El Cayo en Belice. Es parte de la cuenca del río Mopán que nace en Guatemala y uno de los principales afluentes, el río Chiquibul, que nace en Belice.

La cuenca hidrográfica en el lado guatemalteco drena un área de 4.910 km<sup>2</sup>. La topografía es ondulada con altitudes de 900-1000 msnm en las partes más altas hasta alcanzar el nivel del mar en su desembocadura en el territorio beliceño. En el área predomina el clima húmedo tropical y originalmente la vegetación fue de selva; hoy en día el uso del suelo ha cambiado abruptamente pasando principalmente a pastizales y muchas zonas fuertemente deforestadas. En la zona constituyen las principales actividades la agricultura y ganadería con bajo nivel de desarrollo y la actividad forestal.

Geológicamente la cuenca está conformada en un 55% por depósitos sedimentarios con predominio de rocas sedimentarias muy poco consolidadas, alternándose estratos de areniscas, siltitas, margas, calizas, dolomitas y yeso. El 25% del área está conformada por aluviones cuaternarios con predominio de arcillas, y el restante 20% por calizas y dolomitas cretácicas, con elevado grado de permeabilidad por fracturación y con extensos fenómenos de circulación cárstica. Los suelos superficiales generalmente son poco profundos, a excepción de algunas áreas aluviales cercanas a los cauces de los ríos y en algunos valles. Los depósitos sedimentarios terciarios constituyen un acuífero multiestrato de productividad baja y de permeabilidad primaria a secundaria. Los aluviones cuaternarios constituyen un acuífero de porosidad primaria y de buena productividad y transmisividad variable de 50 a 800 m<sup>2</sup>/día. Las calizas y dolomitas cretácicas constituyen un acuífero de muy buena potencialidad y permeabilidad muy variable. Las lluvias pueden infiltrar de 25-50%.

El flujo es en dirección Suroeste - Noreste hacia el Noreste, dirigiéndose a Belice y al Mar Caribe. El área de recarga potencial del acuífero prácticamente es el 75% del área de la cuenca, equivalente a 3.683 km<sup>2</sup> en el territorio guatemalteco y el gradiente hidráulico en el área fronteriza es de 0,5 – 2 m/km; mientras que la oscilación de los niveles freáticos puede alcanzar de 2 – 6 m/a.

Por lo que se refiere a la calidad de las aguas subterráneas, se han observado valores altos de sulfatos, carbonatos y otros compuestos. INSIVUMEH, INDE y CILA han monitoreado los niveles y caudales del río Mopán y de algunos afluentes, pero los datos de las aguas subterráneas son escasos.

En general los principales usos del agua superficial son para consumo humano, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria. En el área existe deficiencia en la cobertura de agua para consumo humano y pecuario: para usos domésticos, se utiliza el sistema de aljibes y de aguadas o pequeñas lagunas almacenadoras de aguas.

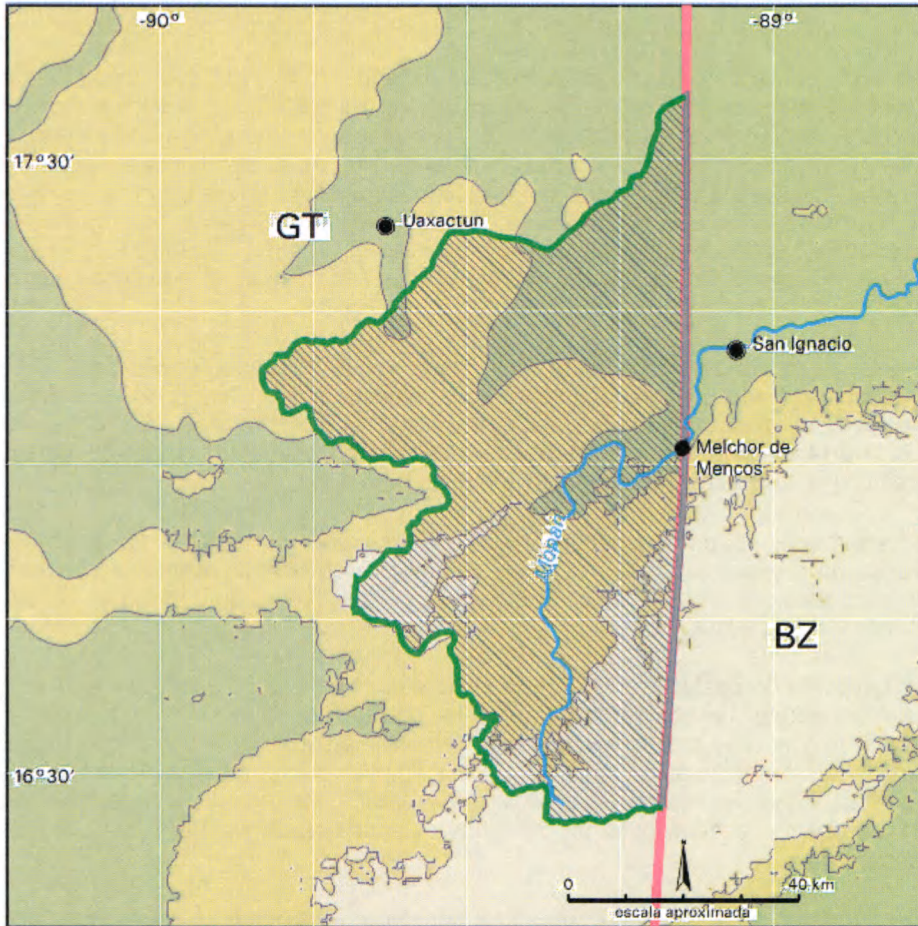
Existe conexión directa entre las aguas subterráneas y las superficiales, por lo que es un acuífero vulnerable a la contaminación antropogénica y las inundaciones provocadas por los fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, tormentas y depresiones tropicales como con los temporales provocados por los fuertes fríos procedentes del Golfo de México. Durante la época seca del año, esta zona es muy vulnerable a la presencia de incendios forestales, principalmente provocados por el hombre. En las zonas bajas en el territorio beliceño existe el riesgo de la intrusión marina.

#### **Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Ramón Frutos, BNMS, Belice

**Colaborador:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax.

Sistema Acuífero Mopán-Belice  
8C GT-BZ





## 9C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PUSILA - MOHO GUATEMALA - BELICE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Pusila-Moho se extiende a lo largo del Departamento de Petén en Guatemala y de los Distritos de El Cayo y Toledo en Belice. Es parte de la cuenca del río Moho que nace en Guatemala y se dirige hacia Belice. La cuenca puede considerarse de topografía ondulada con altitudes de 300-400 msnm en las partes más altas hasta alcanzar el nivel del mar en su desembocadura en el territorio beliceño hacia el Mar Caribe. La cuenca hidrográfica en el lado guatemalteco drena un área de 644 km<sup>2</sup>. En el área predomina el clima húmedo tropical; originalmente la vegetación fue de selva; hoy en día el uso del suelo ha cambiado abruptamente, pasando principalmente a pastizales; muchas zonas son fuertemente deforestadas. En la zona constituyen las principales actividades la agricultura y la ganadería, con bajo nivel de desarrollo, y la actividad forestal.

Geológicamente la cuenca hidrográfica está conformada en el 80% por depósitos sedimentarios clásticos marinos del cretácico terciario con predominio de rocas sedimentarias muy poco consolidadas, alternándose estratos de areniscas, siltitas, margas, calizas, y dolomitas. El restante 20% está conformado por calizas y dolomitas cretácicas con elevado grado de permeabilidad por fracturación y con fenómenos de circulación cársica. Los suelos superficiales generalmente son poco profundos.

Los depósitos sedimentarios terciarios constituyen un acuífero multiestrato de productividad baja y de permeabilidad primaria a secundaria. Las calizas y dolomitas cretácicas constituyen un acuífero de muy buena potencialidad y permeabilidad muy variable de 30 a 150 m<sup>2</sup>/día, principalmente en el Graven de Pusila. Las lluvias pueden infiltrar de 20-30%.

El flujo corre en dirección Suroeste - Noreste hacia el Noreste, dirigiéndose a Belice y al Mar Caribe. El área de recarga potencial del acuífero prácticamente es el 40% del área de la cuenca, equivalente a 258 km<sup>2</sup> en el territorio guatemalteco y el gradiente hidráulico en el área fronteriza es de 0.5 – 1 m/km aproximadamente. La oscilación de los niveles freáticos puede alcanzar de 2 – 10 m/a. Por lo que se refiere a la calidad de las aguas subterráneas, se han observado valores altos de sulfatos, carbonatos y otros compuestos. INSIVUMEH, INDE y CILA han realizado algunas evaluaciones de los niveles y caudales del río Moho, pero los datos de las aguas subterráneas son escasos.

En general los principales usos del agua superficial son para las siguientes actividades: agua para consumo humano, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria. En el área existe deficiencia en la cobertura de agua para consumo humano y pecuario. Para usos domésticos se utiliza el sistema de aljibes y de aguadas o pequeñas lagunas almacenadoras de aguas. Debido a la conexión directa entre las aguas subterráneas y las superficiales, el sistema acuífero es muy vulnerable a la contaminación antropogénica y a las inundaciones provocadas por los fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, tormentas y depresiones tropicales como con los temporales provocados por los frentes fríos procedentes del Golfo de México. Durante la época seca del año, esta zona es muy vulnerable a la presencia de incendios forestales, principalmente provocados por el hombre. En las zonas bajas en el territorio beliceño existe el riesgo de la intrusión marina.

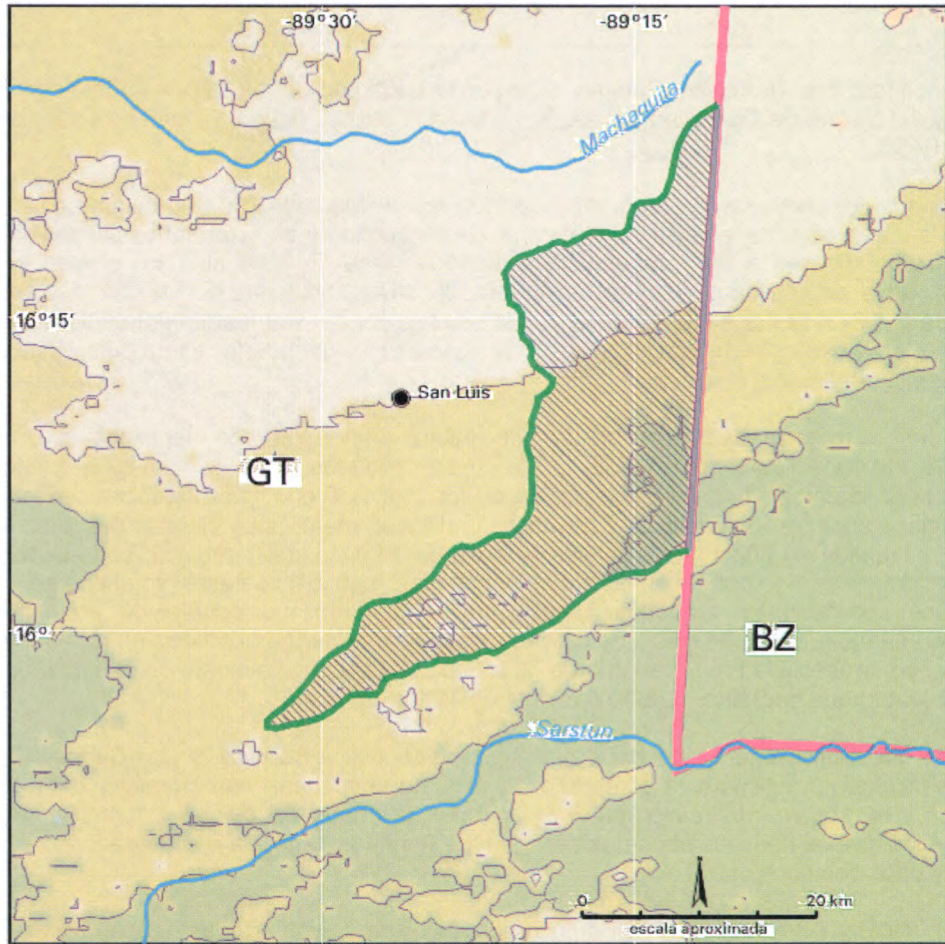
### **Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH/Guatemala  
Ramón Frutos, BNMS/ Belice

**Colaborador:** INSIVUMEH/Guatemala: Pedro Tax



Sistema Acuífero Pusila-Moho  
9C GT-BZ



## 10C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SARSTÚN GUATEMALA - BELICE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Sarstún se extiende a lo largo de los Departamentos de Petén e Izabal en Guatemala y del Distrito de Toledo en Belice. Es parte de la cuenca del río Sarstún que nace en Guatemala y se dirige hacia Belice.

La cuenca puede considerarse de topografía ondulada con altitudes de 600-700 msnm en las partes más altas, en Guatemala, hasta alcanzar el nivel del mar en su desembocadura en el territorio beliceño hacia el Mar Caribe. La cuenca hidrográfica en el lado guatemalteco drena un área de 2109 km<sup>2</sup>. En el área predomina el clima húmedo tropical y originalmente la vegetación era de selva; hoy en día el uso del suelo ha cambiado abruptamente pasando principalmente a pastizales; muchas zonas son fuertemente deforestadas. En la región, las principales actividades están constituidas por la agricultura y ganadería con regular nivel de desarrollo y la actividad forestal artesanal e industrial.

Geológicamente la cuenca está conformada principalmente por 25% de depósitos sedimentarios clásticos marinos, 45% de rocas carbonatadas del cretácico consolidadas, 25% de aluviones cuaternarios recientes principalmente en la porción baja y en jurisdicción del territorio beliceño, y 5% de rocas sedimentarias con capas rojas del terciario superior. Las calizas y dolomitas cretácicas manifiestan elevado grado de permeabilidad por fracturación y también se presentan extensos fenómenos de circulación cárstica. Los suelos superficiales son variables, generalmente son pobres en las zonas pendientes, y poco a bastante profundos en las áreas aluviales. Los depósitos sedimentarios terciarios constituyen un acuífero multiestrato de productividad baja y de permeabilidad primaria a secundaria. Las calizas y dolomitas cretácicas constituyen un acuífero de muy buena potencialidad y permeabilidad muy variable de 50 a 200 m<sup>2</sup>/día, principalmente en el cauce del Sarstún, y en la zona aluvial cuaternaria en Belice. Las lluvias pueden infiltrar de 30-40%.

El flujo es en dirección Oeste - Este hacia el Este, dirigiéndose a Belice y al Mar Caribe. El área de recarga potencial del acuífero prácticamente es el 70% del área de la cuenca, equivalente a 1.476 km<sup>2</sup> en el territorio guatemalteco y el gradiente hidráulico en el área fronteriza puede ser de 0,5 – 1 metro /km; mientras que la oscilación de los niveles freáticos puede alcanzar de 2 – 6 metros / año. Se encuentran valores altos de sulfatos, carbonatos y otros compuestos.

INSIVUMEH, INDE y CILA han realizado monitoreos, estudios y evaluaciones de los niveles y caudales del río Sarstún, pero los datos de las aguas subterráneas son escasos.

En general los principales usos del agua superficial son para las siguientes actividades: agua para consumo humano, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo, industria, actividad forestal y artesanal, y transporte fluvial. En el área existe deficiencia en la cobertura de agua para consumo humano y pecuario. Para el primero se utiliza el sistema de aljibes y de aguadas o pequeñas lagunas almacenadoras de aguas para usos domésticos.

Existe conexión directa entre las aguas subterráneas y las superficiales, por lo cual el acuífero es vulnerable a la contaminación antropogénica y las inundaciones provocadas por los fenómenos meteorológicos extremos.

### **Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Ramón Frutos, BNMS, Belice

**Colaborador:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax.

Sistema Acuífero Sarstún  
10C GT-BZ



**11C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO TEMASH  
GUATEMALA - BELICE**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Temash se extiende a lo largo del Departamento de Petén en Guatemala y del Distrito de Toledo en Belice. Es parte de la cuenca del río Temash que nace en Guatemala y se dirige hacia Belice. La cuenca hidrográfica en el lado guatemalteco drena un área de 69 km<sup>2</sup>. La topografía es ondulada con altitudes menores a 300 msnm en las partes más altas de Guatemala, hasta alcanzar el nivel del mar en su desembocadura en el territorio beliceño hacia el Mar Caribe. En el área predomina el clima húmedo tropical; originalmente la vegetación fue de selva; hoy en día el uso del suelo ha cambiado abruptamente pasando principalmente a pastizales. Los suelos superficiales generalmente son pobres y poco profundos y muchas zonas son fuertemente deforestadas. Las principales actividades están constituidas por la agricultura y ganadería de sobrevivencia, con bajo nivel de desarrollo y la actividad forestal artesanal.

Geológicamente la cuenca está conformada principalmente por depósitos sedimentarios clásticos marinos del cretácico terciario, con predominio de un 90% de rocas sedimentarias muy poco consolidadas, alternándose estratos de areniscas, sillitas, margas, calizas, y dolomitas. El restante 10% está conformado por Calizas y Dolomitas Cretácicas con elevado grado de permeabilidad por fracturación y con extensos fenómenos de circulación cárstica. Los depósitos sedimentarios terciarios constituyen un acuífero multiestrato de productividad baja y de permeabilidad primaria a secundaria. Las calizas y dolomitas cretácicas constituyen un acuífero de muy buena potencialidad y permeabilidad muy variable de 20 a 80 m<sup>3</sup>/día, principalmente en el cauce del Temash. Las lluvias pueden infiltrar de 20-30%. El flujo corre en dirección Oeste - Este hacia el Este, dirigiéndose a Belice y al Mar Caribe. El área de recarga potencial del acuífero prácticamente es el 65% del área de la cuenca, equivalente a 45 km<sup>2</sup> en el territorio guatemalteco y el gradiente hidráulico en el área fronteriza puede ser de 0,5 – 1 metro / km; mientras que la oscilación de los niveles freáticos puede alcanzar de 2 – 8 metros / año. INSIVUMEH, INDE y CILA han realizado algunas evaluaciones de los niveles y caudales del río Temash, pero los datos de las aguas subterráneas son escasos.

En general los principales usos del agua superficial son para las siguientes actividades: agua para consumo humano, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria.

En el área existe deficiencia en la cobertura de agua para consumo humano y pecuario. Para el primero se utiliza el sistema de aljibes y de aguadas o pequeñas lagunas almacenadoras de aguas para usos domésticos.

Debido a la conexión directa entre las aguas subterráneas y las superficiales, el acuífero es vulnerable a la contaminación antropogénica y a las inundaciones provocadas por los fenómenos meteorológicos extremos.

**Autores:**

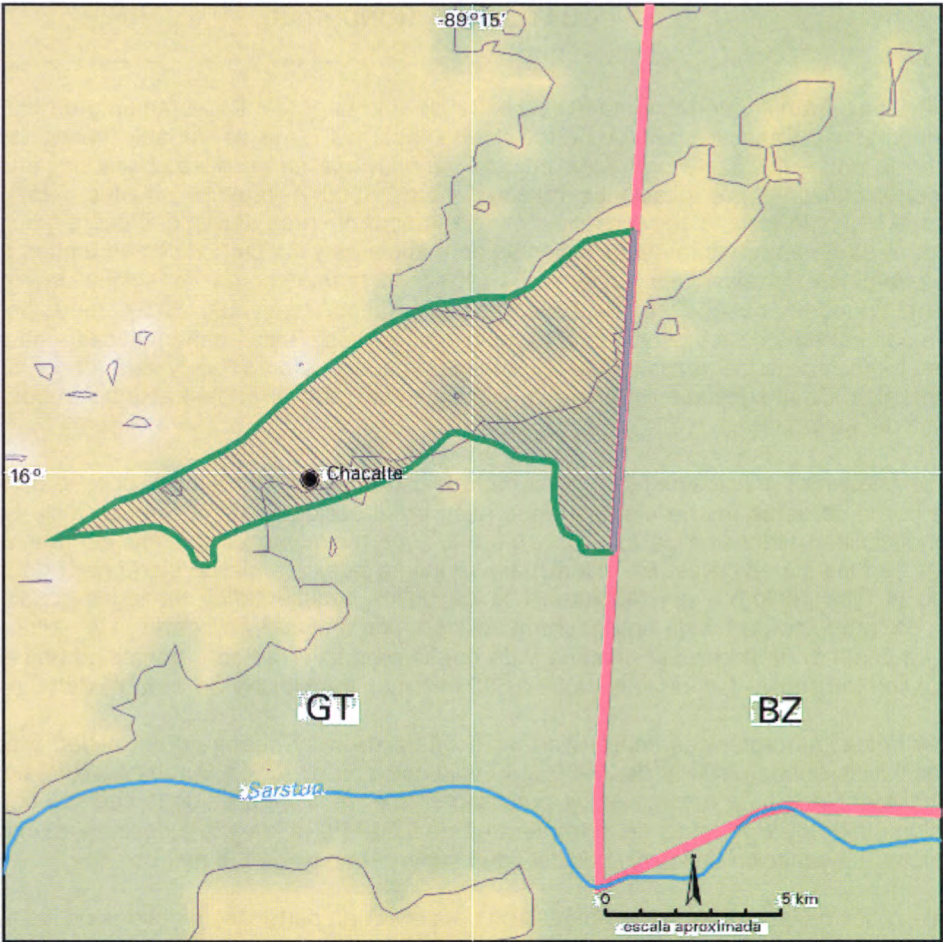
Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Ramón Frutos, BNMS, Belice

**Colaborador:**

INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax



Sistema Acuífero Temash  
11C GT-BZ





## GUATEMALA – HONDURAS

### 12C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO MOTAGUA GUATEMALA - HONDURAS

El Sistema Acuífero Transfronterizo Motagua se extiende a lo largo del Departamento de Izabal (Guatemala) y los Departamentos de Santa Bárbara y Cortés (Honduras). El clima es variable desde una zona semiseca subtropical en la parte alta hasta una zona tropical muy lluviosa en su desembocadura en el Mar Caribe en donde pueden alcanzarse precipitaciones mayores a los 3000 milímetros anuales. En esta zona puede observarse una geología variada con presencia de una importante área aluvial que cubre extensas zonas planas y que sirve de sustrato para mantener los sistemas de manglares y los humedales en ambos países. En el área de Izabal predominan los aluviones cuaternarios (45%) de granulometría variable y de regular profundidad. Posteriormente pueden observarse depósitos sedimentarios terciarios (20%) muy poco consolidados, alternándose con estratos de areniscas, calizas, dolomitas y yeso. Rocas metamórficas y otras. En los valles la conductividad hidráulica de los pozos es alta, normalmente el acuífero es libre y está en contacto directo con las aguas superficiales. En el subsuelo se infiere la existencia de cierto nivel de fracturación por la presencia de la falla geológica del Motagua.

El acuífero se encuentra principalmente a poca profundidad en el estrato aluvial reciente de los valles que son atravesados por la corriente del río Motagua, que nace en el occidente de la República de Guatemala. En los valles la conductividad hidráulica de los pozos es alta y normalmente el acuífero es libre y está en contacto directo con las aguas superficiales. En el subsuelo se infiere la existencia de cierto nivel de fracturación por la presencia de la falla geológica del Motagua. Los depósitos sedimentarios terciarios constituyen un acuífero multiestrato de productividad baja y de permeabilidad primaria a secundaria. Los aluviones cuaternarios constituyen un acuífero de porosidad primaria y de buena productividad con porosidad primaria de muy buena productividad con transmisividad variable de 50 a 500 m<sup>2</sup>/día. y transmisividad variable de 50 a 800 m<sup>2</sup>/día.

Las calizas y dolomitas cretácicas constituyen un acuífero de muy buena potencialidad y permeabilidad muy variable. Las lluvias pueden infiltrar de 25-50%. El flujo corre en dirección Suroeste - Noreste hacia el Noreste, dirigiéndose al Mar Caribe. La recarga es de prácticamente el 75% del área de la cuenca, equivalente a 10.770 km<sup>2</sup>. El gradiente hidráulico a través de la frontera es de 0,5 – 1,0 m/km y la extensión aproximada del acuífero es de 2.340 km<sup>2</sup>. La variación de los niveles del agua subterránea es de 2-5 metros/año.

Los principales usos de las aguas subterráneas son para suplir en parte las demandas de los abastecimientos de agua para consumo humano y animal, riego, turismo, ecoturismo, forestal, industria, minería y en el sostenimiento de los sistemas de humedales y manglares costeros. Existen datos escasos de calidad y cantidad de las aguas subterráneas. En las zonas subtropicales y semi-secas el agua subterránea constituye un recurso muy valioso durante la época que no hay lluvias.

**Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala

**Colaborador:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax.

**Sistema Acuífero Motagua  
12C GT-HN**



### 13C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CHIQUIMULA - COPÁN RUINAS GUATEMALA - HONDURAS

El Sistema Acuífero Transfronterizo Chiquimula-Copán Ruinas se extiende a lo largo del Departamento de Chiquimula (Guatemala) y del Departamento de Santa Rosa de Copán (Honduras). El clima es variable entre zonas subtropicales secas hasta semi-áridas y el déficit hídrico es notorio durante la mayor parte del año. Normalmente la mayor parte de la cuenca del río Camotán (Guatemala) o río Copán (Honduras) presenta una topografía quebrada con sistemas montañosos de altas pendientes con amplias zonas deforestadas y erosionadas.

En la cuenca del río Camotán, predominan las lavas y tobas volcánicas (45%), de diferente grado de consolidación y de diversa naturaleza litológica; lavas cuaternarias (30%); Aluviones cuaternarios (15%); Calizas y dolomitas cretácicas (10%). La principal actividad de los pobladores es la agricultura de sobrevivencia, con rendimientos extremadamente bajos e ingresos per capita muy bajos.

Constituye un acuífero con porosidad secundaria, relacionada al grado de fracturación. Acuífero con permeabilidad primaria y secundaria, es importante para la recarga de acuíferos subyacentes. Los aluviones cuaternarios presentan acuíferos de buena productividad con transmisividad de 50 a 600 mt<sup>2</sup>/día; fuera de esas zonas la permeabilidad es baja.

Las áreas con suelos de calizas y dolomitas cretácicas tienen un elevado grado de permeabilidad por fracturación y por fenómenos de circulación cárstica y acuíferos de buena potencialidad. Normalmente las mejores áreas acuíferas la constituyen las zonas aluviales del cuaternario. El gradiente hidráulico a través de la frontera es de 0.5-2.0 metros/kilómetro, mientras que las variaciones anuales de las aguas subterráneas pueden ser de 2-5 metros. El flujo en la frontera viene de Honduras y se dirige a Guatemala.

El acuífero en esta zona se encuentra a poca profundidad en el estrato aluvial atravesado por el río Camotán en los pequeños valles intermontanos. En la época seca los pobladores dependen del agua de los manantiales y de los pozos para abastecimiento humano y para demandas pecuarias domésticas. Es una zona muy pobre, con costumbres ancestrales que interfieren en el desarrollo de las comunidades. La zona acuífera es vulnerable principalmente a fenómenos meteorológicos como los períodos de sequía debidos al fenómeno de El Niño. Es también vulnerable a la contaminación por infiltración de compuestos que son volcados al cauce del río Camotán.

#### Referencias

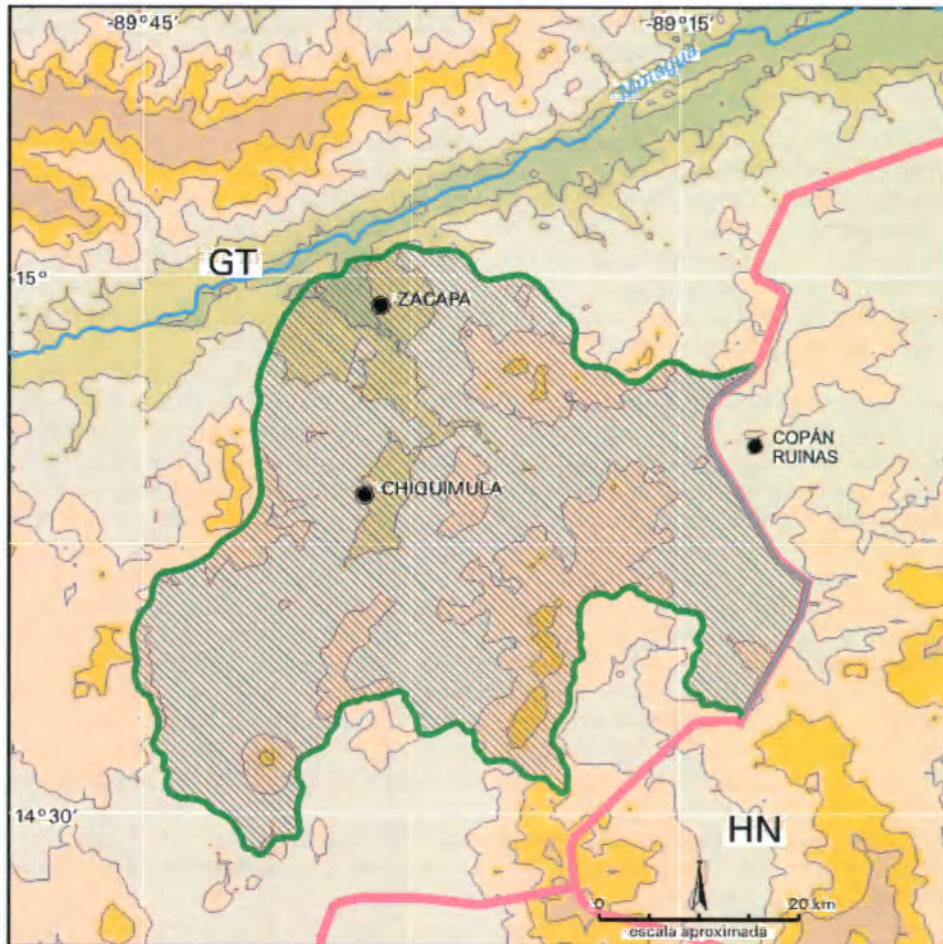
- *Hidrogeología – Disponibilidad de agua subterránea en la República de Guatemala, Plan Maestro de Riego y Drenaje, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). 1991. Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003 Componente Riego.*
- *Estudios Hidrogeológicos en Guatemala. 1982. Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) – Universidad de San Carlos de Guatemala.*

#### Autor:

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH/Guatemala

**Colaborador:** INSIVUMEH/Guatemala: Pedro Tax

Sistema Acuífero Chiquimula-Copán Ruinas  
13C GT-HN



## GUATEMALA – HONDURAS – EL SALVADOR

### 14C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ESQUIPULAS-OCOTEPEQUE-CITALÁ GUATEMALA - HONDURAS - EL SALVADOR

El Sistema Acuífero Transfronterizo Esquipulas-Ocotepeque-Citalá se extiende aproximadamente a lo largo de 600 km<sup>2</sup> correspondiendo a los Municipios de Metapán, Citalá, San Ignacio, La Palma, en el El Salvador; a los Municipios de Esquipulas, Olopa, Quetzaltepeque, en Guatemala; a los Municipios de Nueva Ocotepeque, Santa Fe, Concepción, en Honduras. Los elementos fisiográficos dominantes están representados por la cadena volcánica del Terciario con elevaciones de hasta 2700 msnm. Hay ocurrencia de lahares. En la zona acuífera compartida por ambos países hay una población aproximadamente de 100.000 habitantes. Climáticamente, se trata de una zona húmeda con una pluviosidad variable de 1.200 a 2.000 mm anuales, con lluvias de mayo a octubre y temperatura promedio anual de 23<sup>o</sup> a 25<sup>o</sup> C.

El sistema acuífero es un sistema multicapa, libre a confinado, siendo la condición libre más predominante; es de tipo poroso y fracturado, ya que esta constituido por depósitos sedimentarios en valles aluviales cuaternarios, y de piroclastitas y lavas ácidas a intermedias-ácidas del Terciario. En muchas zonas se observa alteración hidrotermal. El acuífero somero tiene una profundidad mediana de 20 m; el acuífero profundo varía de 100 a 150 m. Existe una conexión hidráulica entre ríos y sistema acuífero. La dirección del flujo predominante es desde Noroeste hacia Sureste, hasta nueva Ocotepeque, en donde cambia su dirección.

Los acuíferos de la región son de bajo rendimiento. Los usos principales son para agua potable, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria. Recientemente, la demanda para consumo humano, animal, riego e industria ha incrementado y actualmente es una demanda insatisfecha. El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es mayor por aguas servidas domiciliarias e industriales; las aguas contienen residuos de agroquímicos que después de acumularse en el suelo son arrastrados a los acuíferos. Actualmente se está trabajando en la definición de los límites del sistema acuífero, pero todavía son necesarios estudios de actualización, también para mejorar el detalle del monitoreo y los objetivos de las investigaciones.

Los mayores problemas del sistema acuífero están relacionados a la contaminación por actividad domiciliar y industrial, en particular en las cercanías de la frontera, y a la sobre-explotación y pérdida de áreas de recarga por aumento de desarrollos urbanísticos y deforestación.

Es necesario realizar una gestión local y regional coordinada de los acuíferos entre países para aprovechar el recurso de las aguas subterráneas en la región fronteriza de Guatemala y El Salvador, de una manera más racional para mitigar los impactos actuales y futuros.

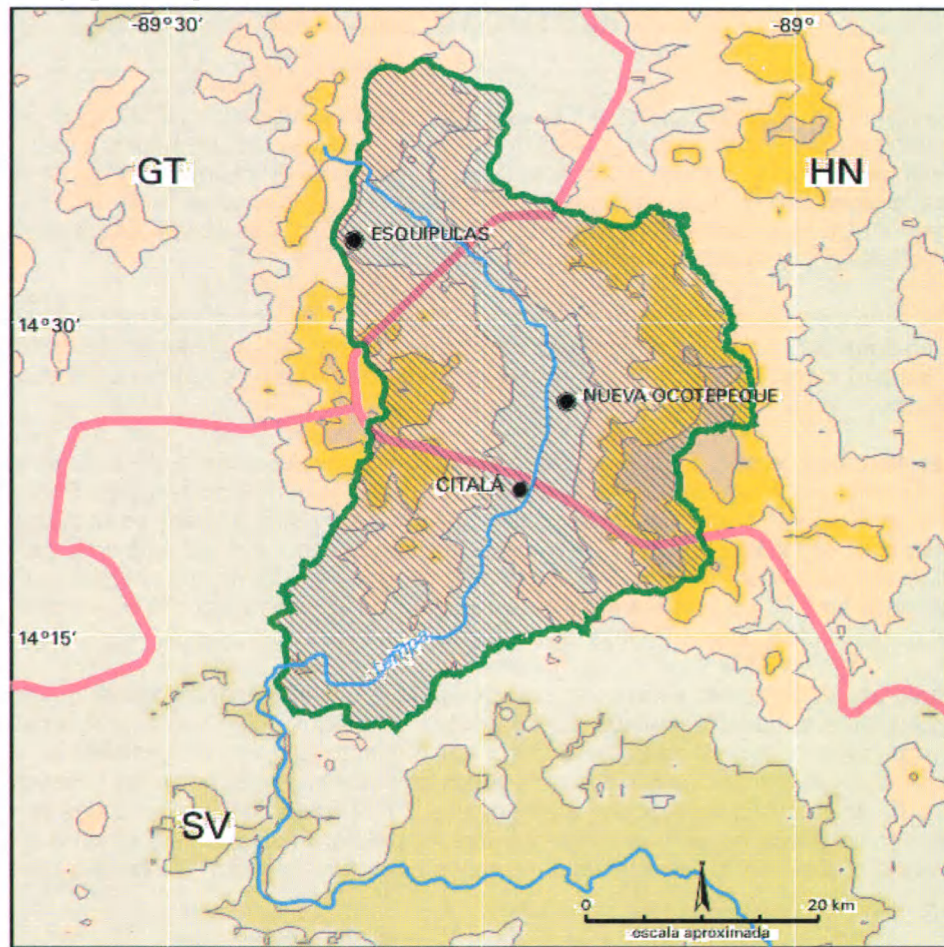
#### **Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Mario Guevara Retana, SNET, El Salvador

**Colaboradores:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax; SNET, El Salvador: Celina Mena, Ana Deisy López.



**Sistema Acuífero Esquipulas-Ocotepeque-Citalá**  
**14C GT-HN-SV**



## EL SALVADOR - GUATEMALA

### 15C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO OSTÚA-METAPÁN GUATEMALA-EL SALVADOR

El Sistema Acuífero Transfronterizo Ostúa-Metapán se ubica en el Municipio de Metapán en El Salvador y en los Departamentos de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula en Guatemala. Los elementos fisiográficos dominantes están representados por la cadena volcánica del Terciario con elevaciones de hasta 2700 msnm. Hay ocurrencia de lahares. Es una zona semiárida de clima seco; la pluviosidad es de 800 a 1100 mm anuales con lluvias de mayo a octubre y temperatura promedio anual de 24° a 26°C. La zona acuífera compartida por ambos países está poblada por aproximadamente 500.000 habitantes.

El sistema se extiende a un área de 800 km<sup>2</sup> y es un acuífero multicapa libre a confinado, siendo la condición libre la más predominante, con una profundidad máxima de 20 m para las capas acuíferas someras y de 100 a 200 m para las profundas. Existe conexión hidráulica entre ríos, lagos y acuíferos. La dirección del flujo es de Noroeste-Sureste.

El sistema acuífero es poroso y fracturado, siendo constituido por depósitos sedimentarios en valles aluviales cuaternarios en rellenos de escoria volcánica, que incluyen coladas de lavas basálticas. En algunas zonas como Asunción Mita y Metapán, se observan relativamente pequeñas y aisladas áreas de rocas calizas así como de rocas metamórficas, en la zona de Concepción Las Minas. La extracción anual está en el orden aproximado de los 200 millones de m<sup>3</sup>. Hasta mediados de los años 90's, en los acuíferos de la región se extraía un volumen anual aproximadamente de 60 millones de m<sup>3</sup>/año. Este volumen incluye algunos pozos estatales, municipales y de algunas comunidades, pero no incluye los pozos de algunas fincas privadas.

La demanda de aguas es fundamentalmente para consumo humano, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria; actualmente se ha incrementado mucho y está insatisfecha. Los mayores problemas identificados son los relacionados con la contaminación por actividad domiciliar e industrial, en particular en las cercanías de la frontera, y con la sobre-explotación y pérdida de áreas de recarga por aumento de desarrollos urbanísticos y deforestación. El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es mayor por aguas servidas domiciliarias e industriales, por residuos de agroquímicos que después de acumularse en el suelo son arrastrados a los acuíferos. Debido al clima seco, se observan fenómenos de desertificación y salinización por aumento de sodio en los suelos.

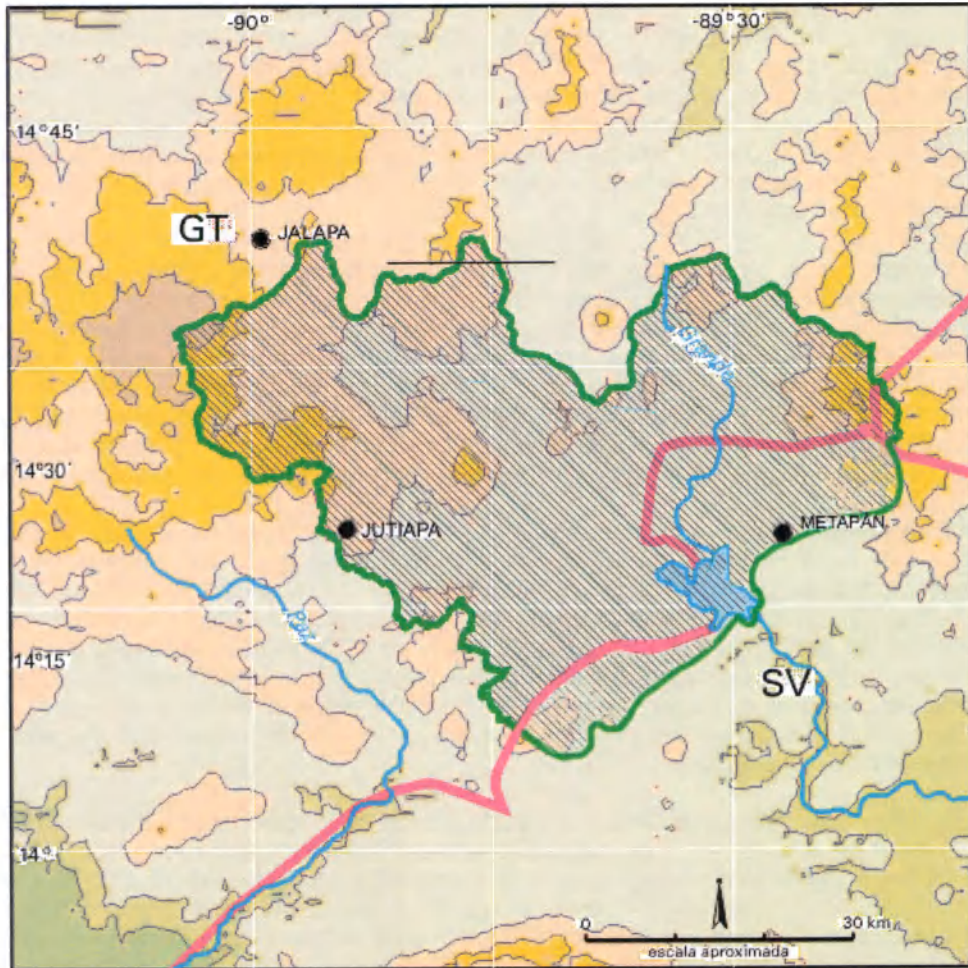
Para lograr un uso continuado y sustentable de las aguas subterráneas en la región fronteriza de Guatemala y El Salvador y sus alrededores, es necesario realizar estudios de actualización y mejorar el detalle del monitoreo y las investigaciones. Actualmente se está trabajando en la definición de los límites del sistema acuífero. Es necesario realizar una gestión local y regional coordinada de los acuíferos entre países para aprovechar el recurso de una manera más racional y mitigar los impactos actuales y futuros.

#### **Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Mario Guevara Retana, SNET, El Salvador

**Colaboradores:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax; SNET, El Salvador: Celina Mena, Ana Deisy López.

Sistema Acuífero Ostúa-Metapán  
15C SV-GT



**16C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO RÍO PAZ  
GUATEMALA-EL SALVADOR**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Río Paz en El Salvador se ubica en los Departamentos de Ahuachapán y Santa Ana, mientras que en Guatemala drena parte de los Departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. En las montañas se tiene alta pluviosidad, pero en las zonas bajas las lluvias son menores a los promedios nacionales variando desde 2200 hasta 1300 mm anuales, con lluvias de mayo a octubre y temperatura promedio anual de 24°C a 26°C. Entre los elementos fisiográficos dominantes están la cadena volcánica joven de la sierra de Apaneca-Santa Ana, y el volcán El Chingo en la frontera entre El Salvador y Guatemala, con elevaciones de hasta 2200 msnm.

Los mayores volúmenes de extracción de agua de los acuíferos están ligados a la actividad de irrigación; seguido por la extracción de agua para consumo humano de los sistemas operados por las Municipalidades. La demanda para consumo humano, animal, riego e industria ha incrementado y actualmente es una demanda insatisfecha. Cabe agregar que en Ahuachapán existe una fuerte explotación geotérmica que utiliza las aguas del acuífero más profundo, entre 1.000 y 2.000 m. Existe un elevado riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas e industriales (textiles, geotermia, embotelladora de bebidas). También es debido a los nuevos desarrollos habitacionales que no cuentan con plantas de tratamiento de las aguas residuales. Los usos principales son: agua potable, riego, abrevadero, turismo, ecoturismo e industria.

Se encuentran valles aluviales importantes en las áreas de Quesada, parte de Jutiapa, Las Marías, Jalpatagua y Las Pilas del lado de Guatemala y el Valle de Singüil en El Salvador, y también existen extensiones importantes de depósitos sedimentarios aluviales en la planicie costera. Se observan formaciones de origen volcánico reciente, que conforman grandes bloques en las áreas del Volcán Las Flores, Santa Gertrudis, Zapotitlán y los alrededores del Sur de Jutiapa del lado de Guatemala y en la Sierra Ataco-Apaneca y complejo volcánico de Santa Ana del lado de El Salvador. También se tienen coladas de lavas basálticas y material lahárico del terciario; algunas zonas de rocas calizas localizadas en Pipiltepeque en Guatemala y el área de San Marcos. El resto de la cuenca está constituida por tobos volcánicas y sedimento fino eólico de origen volcánico, que pueden ser terciarios o cuaternarios.

El acuífero puede considerarse de libre a confinado, siendo la condición de acuífero libre la que tiene mayor predominio en la planicie costera y en algunos valles intermontanos. Existe conexión hidráulica, entre ríos y acuíferos. El flujo a través de la frontera es en la dirección NO – SE del lado de Guatemala y NE-SO del lado de El Salvador. Debido al clima seco, existe riesgo de avance de la desertificación. La contaminación por actividad domiciliar e industrial es visible, así como la pérdida de las áreas de recarga por aumento de desarrollos urbanísticos y deforestación.

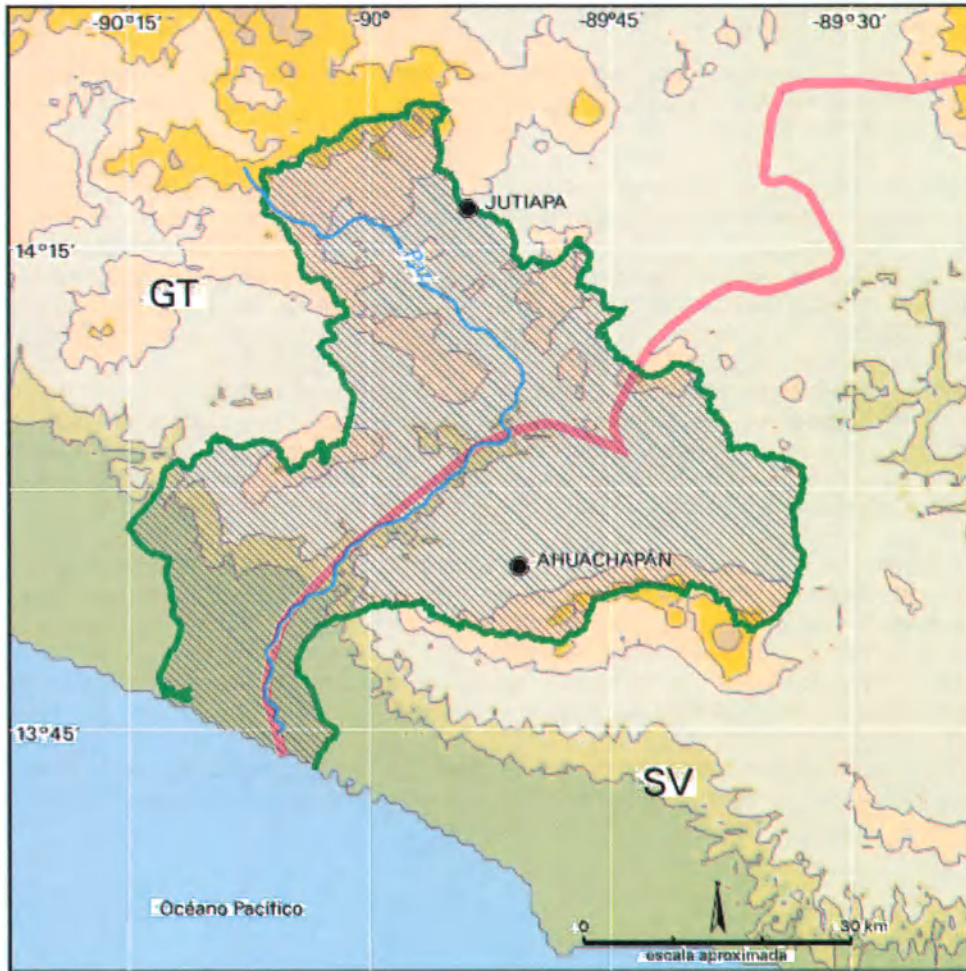
**Autores:**

Fulgencio Garavito, INSIVUMEH, Guatemala  
Mario Guevara, SNET, El Salvador

**Colaboradores:** INSIVUMEH, Guatemala: Pedro Tax; SNET, El Salvador: Celina Mena, Ana Deisy López



Sistema Acuífero Río Paz  
16C SV-GT





## HONDURAS – NICARAGUA

### 17C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ESTERO REAL-RÍO NEGRO HONDURAS-NICARAGUA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Estero Real-Río Negro está ubicado en la región de Centroamérica, al Sureste de Honduras y al Noreste de Nicaragua. El clima es tropical seco-húmedo, con temperaturas promedio que varían entre 27°C a 32°C.

El acuífero Estero Real-Río Negro es un acuífero libre y la profundidad del nivel del agua varía de 5 a 60 metros. Está constituido por rocas volcánicas, depósitos aluviales y fluviocoluviales y su recarga es por precipitación y por aporte del Río Negro. El mayor potencial de extracción de agua subterránea se localiza en la zona de rocas sedimentarias. El flujo de agua va de Sureste a Noreste; su producción es de 7,2 a 72 m<sup>3</sup>/h y su disponibilidad en Nicaragua es de 90 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/d siendo el volumen de extracción de 44 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/d, y su espesor es del orden de los 100 a 150 m.

Las aguas del acuífero se caracterizan por su buena calidad y constituyen un potencial muy importante para el desarrollo sustentado del recurso, a fin de abastecer a la población, la agricultura y la ganadería. Sin embargo, la actividad antropogénica ha originado contaminación por agroquímicos utilizados en los cultivos de granos básicos y el cultivo de algodón en la década de los '70s, agregándose la contaminación proveniente de nitratos generados por la ganadería extensiva y la falta de servicios de saneamiento básico.

El acuífero es de vital importancia en Honduras y Nicaragua ante la demanda de agua para consumo humano en comunidades rurales que no cuentan con servicio de agua establecido. Existe necesidad del agua para la agricultura al igual que para la industria y la ganadería. La protección del acuífero es necesaria debido a los problemas de contaminación que van en aumento y por la extrema vulnerabilidad del acuífero debido a sus características hidrogeológicas. Es necesario realizar acciones inmediatas para su protección y preservación ante las amenazas de contaminación que existen en la zona.

Ambos países están implementando acciones de gestión integrada de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica Río Negro; se necesita articular estas actividades considerando la gestión integrada de las aguas subterráneas.

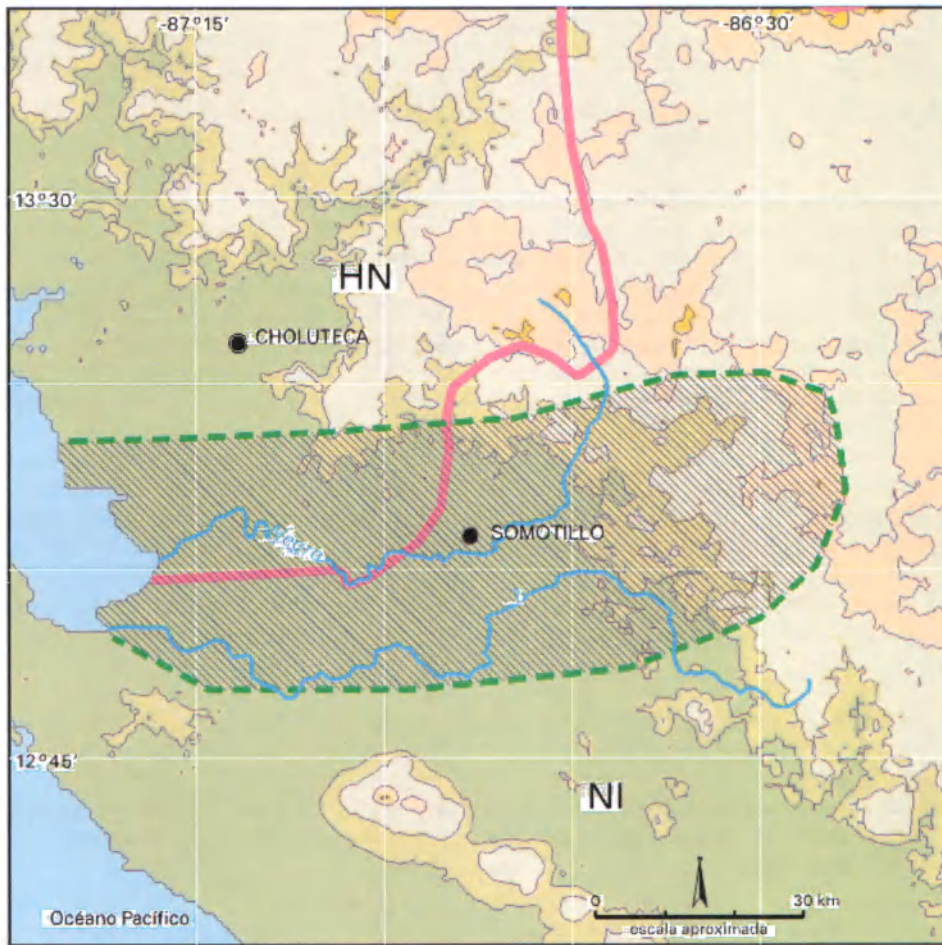
#### Referencias

- *Geografía, Clima, Geología e Hidrología; Norbert Fenzl., Nicaragua, 1988.*
- *Propuesta de Idea de Proyecto - Gestión integrada del Sistema de Acuíferos Transfronterizos Estero Real-Río Negro- Dirección de Recursos Hídricos - Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales - Managua, Nicaragua, 2005*
- *Dirección de Hidrogeología - Instituto Nacional de Estudios Territoriales, INETER - Managua, Nicaragua, 2005*

#### Autores:

Silvia Elena Martínez España, DRH, /Nicaragua  
Franklin Amaya, DGRH, Honduras

Sistema Acuífero Estero Real-Río Negro  
17C HN-NI



## COSTA RICA – PANAMÁ

### 18C - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SIXAOLA PANAMÁ-COSTA RICA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Sixaola está localizado en la Provincia de Bocas del Toro, en Panamá y en la Provincia de Lincón, en Costa Rica.

Su principal uso es agroindustrial y el escenario de demanda potencial es agua potable. Existe una estrategia de desarrollo sostenible de la cuenca binacional del Sixaola. Hay participación del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF-Panamá), la Autoridad del Ambiente, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), SENARA, AYA Y CNU.

Según el mapa Hidrogeológico de Panamá la parte baja de la cuenca del Río Sixaola, el sector más próximo al Caribe, posee permeabilidad media y variable con áreas de acuíferos productivos ( $Q=10-50\text{m}^3/\text{h}$ ) hasta áreas de permeabilidad baja y muy baja con acuíferos de baja producción ( $Q=1-3\text{ m}^3/\text{h}$ ). La calidad del agua va de buena a salobre.

Entre las principales formaciones hidrogeológicas se encuentra la Formación Las Lajas, formada por aluviones, sedimentos marinos no consolidados y depósitos tipo delta, arena, arenisca, conglomerados, lutitas carbonatadas y depósitos orgánicos (cuaternario reciente).

Formación Senosri-Uscari y Tonosi, con depósitos marinos de naturaleza clástica con secciones de caliza, areniscas vaciadas, lutitas, conglomeradas, toba, esquistos arcillosos, diques de basalto y andesitas intercaladas.

Otras formaciones están conformadas por lutitas, tobas, conglomerados, rocas picoclásticas, conglomerados y andesitas.

El acuífero tiene importancia local para la agroindustria y sector turístico, así como para el consumo humano (futuro). Se está trabajando en un manejo integrado que garantiza (al ser un manejo binacional) las buenas relaciones entre ambos países.

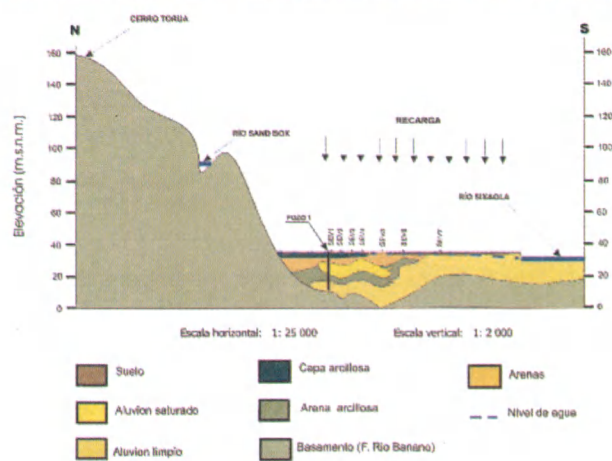
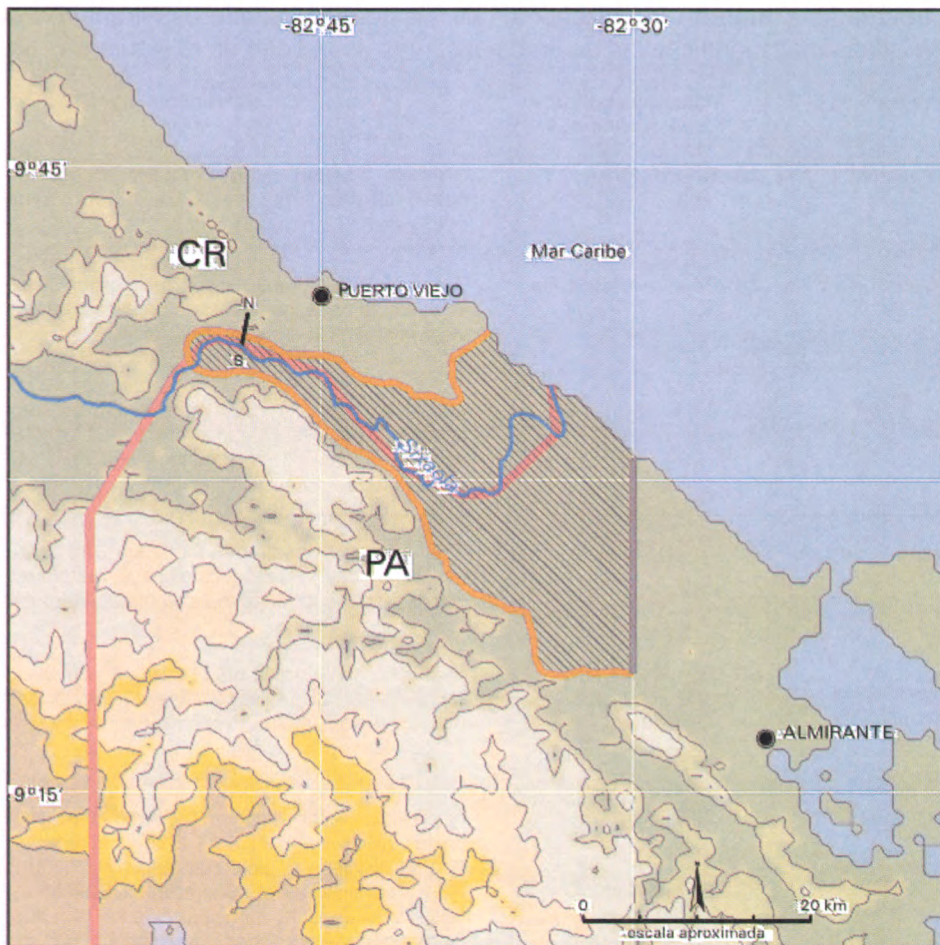
#### Referencias

- *Mapa Geológico, Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Escala 1:1.000.000, 1988.*
- *Mapa Hidrogeológico, Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA), Escala 1:1.000.000, 1999.*
- *Perfil hidrogeológico: Federico Arellano Harting - Caracterización Hidrogeológica de La zona aluvial del Río Sixaola. Comprendida entre Bribi y Finca Celia de Sixaola. Tesis de Post Grado en Hidrogeología de la Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Costa Rica, Noviembre, 2005.*

#### Autores:

Hilda Candanedo, ANAM, Panamá  
Rodrigo Calvo Porras, ICE, Costa Rica

# Sistema Acuífero Sixaola 18C CR-PA



Fuente: Federico Arellano Harting, 2005

## 5. SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS DE SUDAMÉRICA

### Sinopsis sub-regional

En Sudamérica fueron identificados 29 sistemas acuíferos transfronterizos. Las características más significativas de estos sistemas se indican en el siguiente cuadro:

Países	Sistemas acuíferos transfronterizos	Características significativas
Colombia-Panamá	1S - Choco-Darién	Sistema acuífero poco conocido desde el punto de vista hidrogeológico. Área de selva. Clima húmedo. Precipitación media de 3.500 mm/año.
Colombia-Venezuela	2S - Táchira-Pamplonita	Área aproximada de 80 km <sup>2</sup> . Precipitación media de 740 mm/año. Dos acuíferos superpuestos conocidos pero pocos estudiados. Región dinámica entre los dos países.
	3S - La Guajira	Localizado en la Cuenca Carraipía-Paragnachón. Planicie costera. Precipitación inferior a 500 mm/año. Sistema con acuíferos someros y profundos. Acuífero libre muy utilizado. Problemas de salinización.
Brasil-Guyana-Venezuela	4S - Grupo Roraima	Extensión aproximada de 70.000 km <sup>2</sup> . Altitud superior a los 1.000 m. Faltan datos Hidrogeológicos e hidrológicos. Clima tropical lluvioso. La mayor parte del sistema acuífero está en Brasil.
Brasil-Guyana	5S - Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna	Extensión aproximada de 24.000 km <sup>2</sup> , 60% está en Brasil y 40% en Guyana. Clima semi-húmedo. usado para abastecimiento público y agricultura. Predomina el acuífero tipo libre. Existen pocos datos Hidrogeológicos.
Suriname-Guyana	6S - Zanderij	Los tres acuíferos se sitúan predominantemente en la faja costera de los dos países. El área total es alrededor de 200.000 km <sup>2</sup> . Región de clima tropical con media de 2.000 mm/año de lluvias. El uso principal es el abastecimiento público y doméstico por lo que constituye la principal fuente de agua potable. La hidrogeología de los tres acuíferos es bien conocida. El Sand A abastece a Paramaribo desde hace más de 50 años. Las investigaciones hidrogeológicas con apoyo de organismos internacionales continúan en ambos países
	7S - Coesewijne	
	8S - A-Sand/B-Sand	
Brasil-Guayana Francesa	9S - Costeiro	Área aproximada de 27.000 km <sup>2</sup> , con 2/3 en Brasil y 1/3 en la Guayana Francesa. Predomina el acuífero de tipo libre. Clima ecuatorial húmedo con precipitación media de 2.500 mm/año. Falta información hidrogeológica.
Colombia-Ecuador	10S - Tulcán-Ipiales	Fuente importante para diferentes usos. Agua de buena calidad. En algunas áreas es termo-mineral. Acuífero poco conocido y con proyectos para estudios por ambos países.
Ecuador-Perú	11S - Zarumilla	Área aproximada de 920 km <sup>2</sup> , población de 70.000 habitantes. Zona árida. La exploración del acuífero es fundamental para el desarrollo de la región fronteriza. Salinidad alta en varias áreas. Estudios de detalle han sido ejecutados por los dos países en colaboración con la Agencia Internacional de Energía Atómica.
	12S - Puyango-Tumbes-Catamayo- Chira	Región agrícola y ganadera. Hidrogeología poco conocida. Actualmente el Perú está ejecutando estudios de detalle en el valle Tumbes. En los demás valles ambos gobiernos tienen planes para realizar estudios geológicos e Hidrogeológicos que permitirá la exploración sistemática de los acuíferos.



Bolivia-Perú	<b>14S - Titicaca</b>	Ubicado a más de 4.000 m.s.n.m. es parte de un ecosistema sensible. Es utilizado para abastecimiento de agua potable, ganadería y agricultura. Su área es de 120.000 km <sup>2</sup> . Se necesitan estudios más detallados. Clima frío y seco. Población dispersa de aproximadamente 1.000.000 habitantes.
Bolivia-Brasil-Paraguay	<b>15S - Pantanal</b>	Área de más de 130.000 km <sup>2</sup> , de los cuales el 80% pertenece a Brasil, en la gran planicie del Pantanal. En Paraguay se denomina Complejo Acuífero Alto Paraguay. Será objeto de un proyecto piloto de GEF/PNUMA/OEA/UNESCO enfocado a la protección del acuífero y de su ecosistema dependiente. Sus aguas son utilizadas y su hidrogeología poco conocida.
Bolivia-Paraguay	<b>16S - Agua Dulce</b>	Localizado en la región de la planicie Chaqueña, con un área de 30.000 km <sup>2</sup> , su hidrogeología es poco conocida. Clima tropical húmedo. Precipitación media de 1.450 mm/año. Población dispersa.
Bolivia-Chile	<b>17S - Ollagüe-Pastos Grandes</b>	Localizado en la Cordillera Occidental de los Andes. Población dispersa. Clima árido, frío de alta montaña. Hidrogeología poco conocida. Área aproximada de 4.350 km <sup>2</sup> .
Chile-Perú	<b>18S - Concordia / Escritos-Caplina</b>	Zona árida y seca. Existe información hidrogeológica. Las aguas del acuífero son ampliamente utilizadas en los dos países. El Perú tiene estudios de detalle del acuífero Caplina. En el lado peruano la sobreexplotación esta ocasionando la contaminación del acuífero (intrusión marina).
Brasil-Paraguay	<b>19S – Aquidauana-Aquidabán</b>	Área de 27.000 km <sup>2</sup> dividida entre los dos países. Precipitación entre 1.000 y 1.500 mm/año. El conocimiento Hidrogeológico es importante para el desarrollo agrícola-ganadero de la región. El acuífero es utilizado para abastecimiento humano y animal.
	<b>20S – Caiuá/Bauru-Acaray</b>	Área de 300.000 km <sup>2</sup> . Acuífero libre con espesor medio de 200 m, constituido por areniscas de alta permeabilidad. Aguas de buena calidad. Muy explorado en Brasil y poco explorado en Paraguay.
Argentina-Brasil-Paraguay-Uruguay	<b>21S – Guaraní</b>	El sistema acuífero con más de 1.200.000 km <sup>2</sup> es objeto de un gran proyecto GEF/CIC/Banco Mundial/OEA, con la participación de los 4 países. Está en la región más desarrollada de América del Sur.
	<b>22S - Serra Geral</b>	Con un área aproximada de 540.000 km <sup>2</sup> cubre con sus rocas volcánicas parte del sistema acuífero Guaraní. Es ampliamente utilizado en toda la región. Constituido por derrames de lavas basálticas de tipo fracturado, abarca las formaciones del Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) y Arapey (AR y UY). Esta intensamente explotado por pozos profundos, variando de 80 a 100 m de profundidad
Brasil-Uruguay	<b>23S - Litoráneo-Chuy</b>	Con un área de 41.000 km <sup>2</sup> aproximadamente, de los cuales el 80% pertenece a Brasil. Clima templado húmedo. Es de tipo libre, poco profundo y muy utilizado en toda la región.
	<b>24S - Permo-Carbonífero</b>	Dividido entre los dos países, con un área de aproximadamente 41.000 km <sup>2</sup> es utilizado en los dos lados de la frontera para abastecimiento doméstico. Necesita estudios.

Argentina-Uruguay	<b>25S</b> – Litoral Cretácico	Región llana con precipitación media de 1.200 mm/año. Área de 40.000 km <sup>2</sup> , de los cuales el 60% está en Uruguay. Importante para el desarrollo económico de la región, que tiene una población aproximada de 500.000 habitantes.
	<b>26S</b> - Salto-Salto Chico	Su área es de aproximadamente 32.000 km <sup>2</sup> , contiene aguas de buena calidad. Es de importancia regional para la irrigación de arroz y otros usos. Se necesita mejor conocimiento de su hidrogeología.
Argentina-Bolivia	<b>27S</b> – Puneños	Con un área de 1.000 km <sup>2</sup> , está localizado en el altiplano andino, a gran altitud. Precipitación menor a 100 mm/año. Fuente de abastecimiento para diferentes comunidades, es importante y vital.
Argentina-Bolivia-Paraguay	<b>28S</b> - Yrendá-Toba – Tarijeño	Es objeto de un proyecto piloto de GEF/PNUMA/OEA/UNESCO a ser desarrollado dentro del Programa Marco de la Cuenca del Plata como parte del manejo integrado de los recursos hídricos de esta cuenca y de los riesgos asociados con los cambios climáticos globales. Su área aproximada es de 600.000 km <sup>2</sup> . Es la fuente más importante de abastecimiento para uso doméstico y agrícola en la región semi-árida del Gran Chaco Americano.
Argentina-Chile	<b>29S</b> - El Cóndor-Cañadón del Cóndor	Situado en el extremo sur del continente, con un área aproximada de 5.500 km <sup>2</sup> , el sistema tiene dos acuíferos alimentados por glaciares. Necesita estudios más detallados.

*El mapa Hidrogeológico de América del Sur – escala 1:5,000,000, editado por UNESCO/PHI/CPRM, fue un elemento de base utilizado por todos los países para la identificación de los acuíferos transfronterizos de la región y por IGRAC para la elaboración de los mapas.*

## Sistemas Acuíferos Transfronterizos de Sudamérica



## COLOMBIA – PANAMÁ

### 1S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CHOCO-DARIÉN PANAMÁ-COLOMBIA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Choco-Darién, de extensión variable en la frontera Colombo Panameña, se extiende sobre los Departamentos de Choco y la Provincia del Darién, ubicados al noroeste y al sureste, respectivamente. Se presenta un relieve asociado a serranías con pendientes abruptas en la parte alta y moderada a baja en la zona intermedia a plana. La población se encuentra dispersa en pequeños asentamientos humanos, las cuales se abastecen de los cursos de aguas de los principales ríos y quebradas que drenan el área fronteriza al igual que localmente de aguas subterráneas. La población se dedica principalmente a la pesca y a la agricultura de subsistencia. El área se caracteriza por presentar un clima muy húmedo, con una temperatura promedio de 24<sup>o</sup> centígrados, y una precipitación promedio del orden de 3500 mm.

Geológicamente en el área fronteriza afloran rocas ígneas volcánicas en su mayoría de composición intermedia, básica y ultra básica, constituidas por andesitas, basaltos aglomerados, pilolavas, pirodacitas, tobas, dacitas y gabros que constituyen acuíferos restringidos a zonas de fracturas con aguas generalmente de buena calidad. También ocurren rocas sedimentarias cementadas correspondientes a calizas, areniscas, lutitas, conglomerados que conforman capas acuíferas de origen marino de naturaleza clásica con secciones ocasionales de origen bioquímico, con aguas de calidad química variable. Las unidades acuíferas mencionadas anteriormente son poco conocidas desde el punto de vista Hidrogeológico, no se ha establecido su geometría (área, espesor), al igual que su modelo de flujo para rocas con porosidad primaria inter granular o secundaria por fracturamiento que permita la identificación de las áreas de recarga tránsito y descarga; sus recursos y reservas potenciales y en general sus características hidrodinámicas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, conductividad hidráulica. No se ha caracterizado la vulnerabilidad y el riesgo asociado ante cualquier evento de contaminación. La disposición inadecuada de los residuos orgánicos y los vertimientos de aguas residuales domésticas sobre los cursos de agua constituyen una fuente de contaminación a unidades acuíferas locales de extensión variable y baja permeabilidad en rocas sedimentarias; al igual que a unidades acuíferas asociadas a rocas efusivas en su gran mayoría básicas y ultra básicas cuya permeabilidad depende de la densidad de fracturamiento.

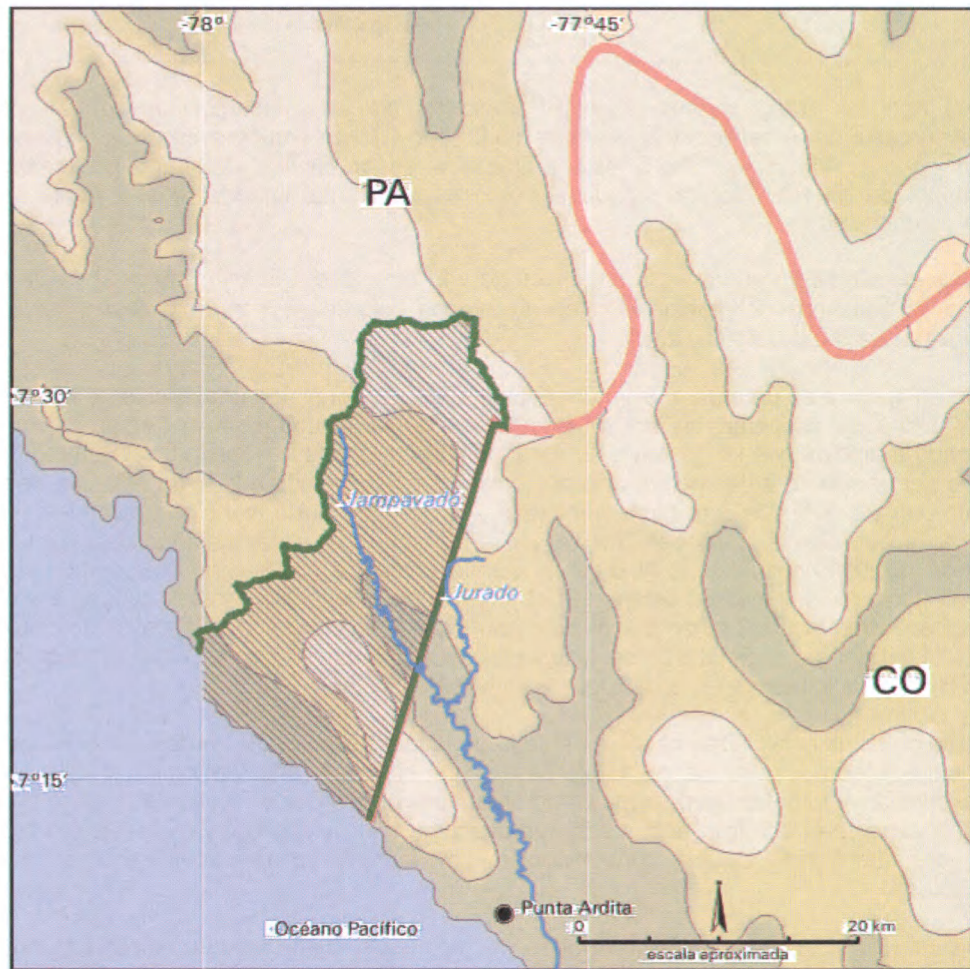
La frontera colombo panameña se caracteriza por ser una región selvática, de bosques húmedos o pluviales, en su mayoría sin intervención antropogénica de alto impacto. La conservación y protección de las zonas de recarga, tránsito y descarga de las aguas sub-superficiales y subterráneas de unidades acuíferas asociadas a rocas básicas y ultra básicas fracturadas y a rocas sedimentarias asociados a granulometría fina de origen marino calcáreo, es indispensable para la conservación de la biodiversidad de este ecosistema estratégico para los dos países, y contribuye a un mejor conocimiento de la dinámica espacial y temporal del ciclo hidrológico, sus variaciones ante cambios climáticos extremos de la región; garantizando el seguimiento y monitoreo de los recursos hídricos de esta región.

#### **Autores:**

Hilda Candanedo, ANAM, Panamá

Hugo Cañas Cervantes, IDEAM, Colombia

Sistema Acuífero Choco-Darién  
1S CO-PA





## COLOMBIA - VENEZUELA

### 2S – SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO TÁCHIRA-PAMPLONITA COLOMBIA – VENEZUELA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Táchira-Pamplonita, con una superficie aproximada de 83,1 km<sup>2</sup> está ubicado al suroeste de Venezuela y al suroeste del Estado Táchira entre las ciudades de San Antonio, y Ureña. La región de San Antonio – Ureña está emplazada en la cuenca del Lago de Maracaibo, constituida principalmente por el Río Táchira, siendo el curso de agua más importante y el límite internacional entre Colombia y Venezuela.

La precipitación promedio anual en la región es de 740 mm, la distribución mensual es de carácter bimodal, registrando los máximos de precipitación en los meses octubre–noviembre y abril - mayo. La temperatura promedio anual varía entre 24°C y 28°C.

El valle de río Táchira es un área relativamente plana; en general posee una pendiente entre 0 y 15 %. La cota de mayor altura se presenta en las inmediaciones de la ciudad de San Antonio, unos 500 m s.n.m, disminuyendo a medida que se acerca a la ciudad de Ureña, donde se registran cotas de 260 m. Este valle, es un espacio perteneciente a dos países y la población está establecida a lo largo del valle de los ríos Táchira y Pamplonita en Colombia. En el territorio venezolano, en sentido Sur a Norte se ubican los centros urbanos de mayor importancia: San Antonio del Táchira y Ureña, ambos capitales de municipio, con una población de alrededor de 100.000 habitantes. El flujo de relaciones existentes entre ambos países en esta franja, resalta la importancia de la región, evidenciándose en el intercambio económico, social, cultural e incluso tecnológico, catalogándose como la frontera de mayor dinamismo en América Latina. El mayor dinamismo económico lo representa la actividad comercial y de servicios. En segundo lugar está la actividad agrícola, específicamente el cultivo de la caña de azúcar, y en tercer lugar la actividad industrial.

El desarrollo de estas actividades ha incrementado de manera significativa la demanda de agua en la región de San Antonio – Ureña. El sistema de acuíferos de San Antonio-Ureña Venezuela y Villa del Rosario-Cúcuta Colombia, constituye el potencial de agua como alternativa para cubrir el déficit del recurso en la región. En ese sentido, actualmente el acuífero está siendo aprovechado sin ningún tipo de manejo, control y conservación para su sustentabilidad. Ocurre contaminación por incremento de la mineralización y otras cargas contaminantes.

Desde el punto de vista hidrogeológico, existen dos acuíferos, cuyas edades se prolongan desde el cretáceo hasta el cuaternario, uno superior correspondiente a los sedimentos aluviales recientes poco consolidados con espesor que varía entre 45 a 70 m. y el otro corresponde al acuífero inferior, que se encuentra por debajo del aluvión y está constituido principalmente por areniscas. La recarga proviene del este en las quebradas que se pierden en el aluvión desde el Piedemonte, otra fuente de aporte es por la infiltración directa de las aguas de lluvias y una tercera vía de aporte es a través de la infiltración del río Táchira.

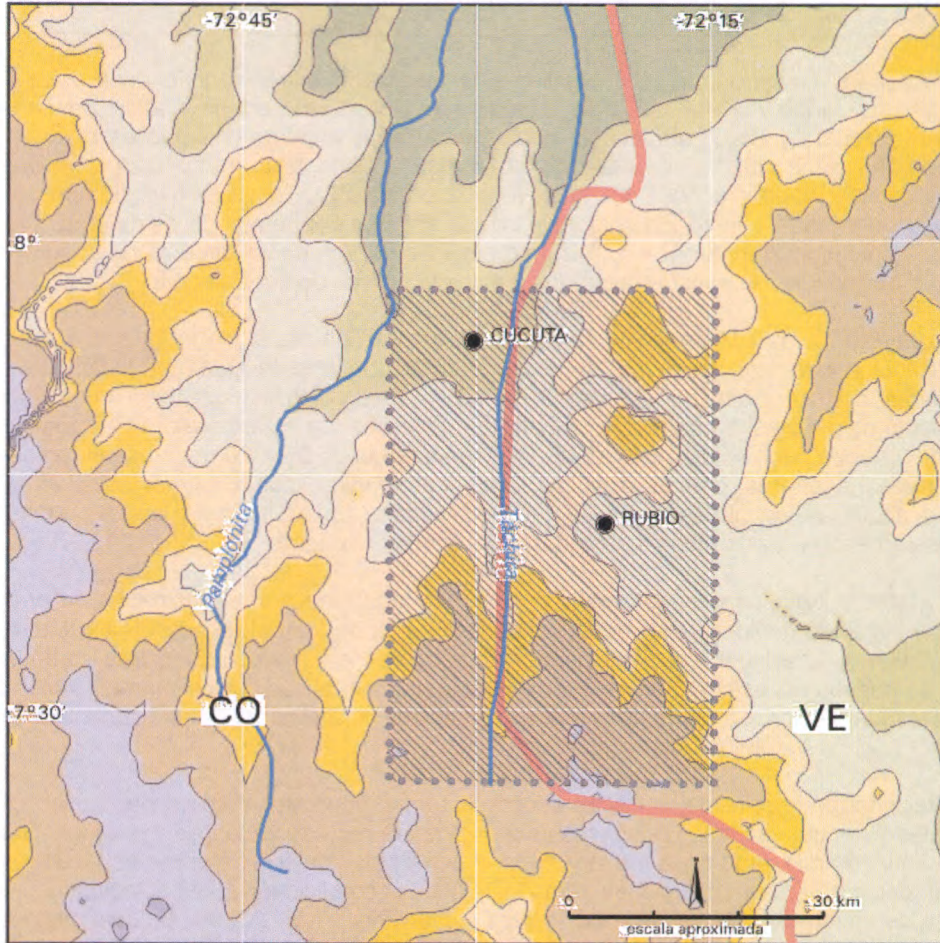
Con el sistema transfronterizo de San Antonio Ureña y Villa del Rosario Cúcuta o Táchira Pamplonita, se pretende mejorar el conocimiento de los acuíferos transfronterizos de la cuenca, para solucionar los problemas de la oferta de agua existentes y crear un sistema de información hidrogeológica coordinado como herramienta de gestión de los acuíferos y mejorar la calidad de vida y el desarrollo sostenible de la cuenca binacional del río Táchira

**Autor:**

Fernando A. Decarli Rodríguez, DHM/DGCH/MA, Venezuela

**Colaborador:** DHM/DGCH/MA, Venezuela: Manuel Figueras.

**Sistema Acuífero Táchira-Pamplonita**  
**2S CO-VE**



### 3S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO LA GUAJIRA VENEZUELA-COLOMBIA

El Sistema Acuífero Transfronterizo La Guajira está localizado entre el golfo de Venezuela en el extremo occidental del Mar Caribe y la Península de la Guajira de Colombia. Pertenece a la Cuenca Binacional del Río Carraipía-Paraguachón, y fisiográficamente corresponde a las llanuras costeras de la Guajira. Caracterizado por una topografía plana con elevaciones de 0 a 20 msnm, clima árido, temperatura media superior a 28° C, precipitación escasa, inferior a 500 mm año, vegetación xerófila. En el relieve se aprecian formas planas, onduladas y accidentadas, constituidas por valles fluvio-marinos y llanuras eólicas de ambiente tropical árido y a lo largo de sus costas existen dunas en constante movimiento. Alrededor del 65% de la superficie de la Guajira es utilizada en actividades de ganadería caprina y ovina y cultivos de subsistencia.

Forma parte de la Provincia Hidrogeológica Planicie Costera Península de la Guajira y en el área baja de la Guajira; presenta por debajo del manto aluvional, predominantemente unidades litológicas consolidadas con permeabilidades por fracturamiento y disolución de la roca, dando lugar bajo condiciones favorables al almacenamiento de aguas subterráneas en fracturas y cavernas. De acuerdo a prospecciones geofísicas que se han realizado, pueden diferenciarse tres zonas: zonas someras de 25 a 70 m con sedimentos no consolidados, con posibilidades acuíferas pobres a nula; zonas intermedias, con profundidades entre 250 y 640 m, posibilidades acuíferas asociadas a las grietas y cavidades en areniscas y calizas; zonas profundas, que infrayacen las anteriores y presentan las mejores condiciones acuíferas.

Los pozos, aljibes y jagüeles (lagunas artificiales de pequeña extensión) construidos en el acuífero aluvial, la mayoría tiene instalado molinos y la producción escasamente está en el rango de 1 l/s. Las profundidades son inferiores a 20 m y alrededor del 50% pueden catalogarse en cuanto a calidad, como agua salada. La perforación de nuevos pozos con mejores rendimientos y mejor calidad, se estiman en profundidades mayores a 250 m. en la Guajira Norte, a fin de atravesar la formación Castilletes, que está asociada a acuíferos con agua salada.

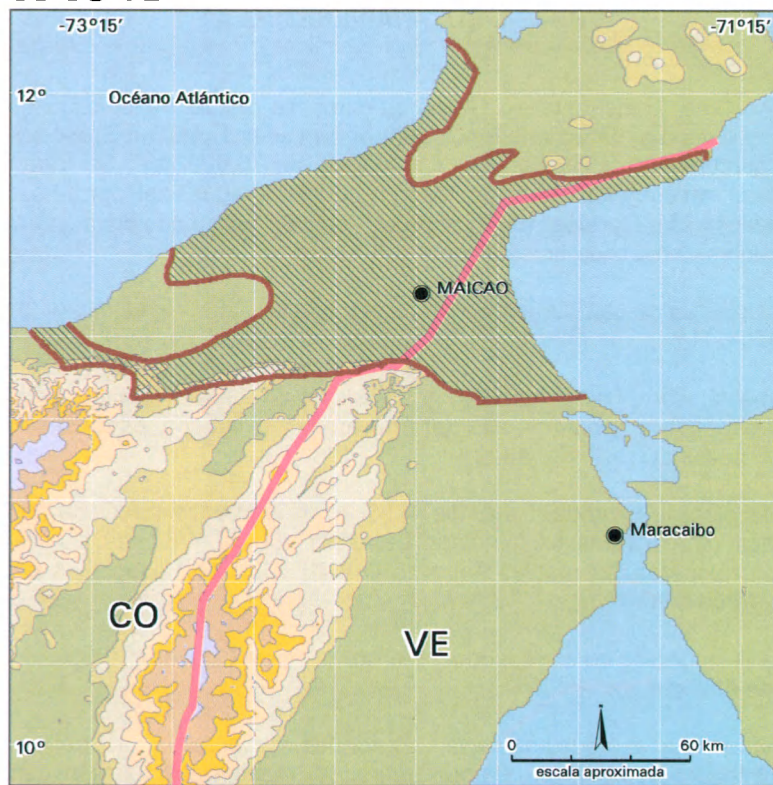
Es una frontera donde la principal actividad económica es el intercambio comercial, posee una intensa red de vías informales y las comunidades principales son indígenas representadas por las etnias Guajira, que habitan en forma diseminada a lo largo de la franja y realizan actividades de cría de animales y cultivos de subsistencia. Lo inhóspito del área y las condiciones climáticas áridas, condicionan el abastecimiento de agua para las poblaciones, los animales y los cultivos. Las aguas subterráneas han sido en algunos sectores la única fuente de abastecimiento para estas comunidades, sin embargo, por estar en una zona costera, están expuestas a los efectos de la salinización, quedando vulnerables a los aprovechamientos intensivos para la salinización de los acuíferos.

De acuerdo a esta situación, es imperiosa la ejecución de estudios hidrogeológicos con monitoreos sistemáticos de niveles y de calidad de agua a fin de atenuar impactos sobre el recurso, para el beneficio de ambos países.

**Autor:**

Fernando Alberto, Decarli Rodríguez, DHM/DGCH/MA, Venezuela

**Acuífero Guajira**  
**3S CO-VE**



## BRASIL – GUYANA – VENEZUELA

### 4S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO GRUPO RORAIMA BRASIL-GUYANA-VENEZUELA

En Brasil el Sistema Acuífero Transfronterizo Grupo Roraima se encuentra ubicado en la frontera entre el Estado de Roraima con Guyana y Venezuela, en el Alto de la Cuenca del Río Branco y del Río Caroni entre Venezuela y Guyana, presentando una extensión aproximada de 70.000 km<sup>2</sup>. Se trata de un acuífero local, constituido por areniscas arcoseanas, tufas, siltitas y conglomerados paleoproterozoicos. No se tienen informaciones hidrogeológicas e hidrológicas. El clima es tropical lluvioso con clara estación seca, caliente con media inferior a 18° C, sin verano o invierno estacional.

Geomorfológicamente la cuenca se caracteriza por un relieve tabular, con predominio de mesas de topos planos y altitudes entre 1000 y 3000 m.

En Venezuela el Sistema Acuífero Transfronterizo se conoce como Grupo Roraima, está localizado al sureste del Estado Bolívar, corresponde a la cuenca alta del río Caroní y limita con los países Brasil y Guyana. Gran parte del área es parque nacional (Gran Sabana).

Su fisiografía es de una planicie elevada a más de 1000 m en la cuenca del Caroní, alineada por el monte Roraima y la sierra Pacarima. El clima es templado de altura tropical, sabanas en alternancia con bosques húmedos tropófitos, con temperaturas medias entre 18°C y 24 °C, y precipitaciones promedios anuales que varían entre 1200 mm y 2400 mm.

Desde el punto de vista Hidrogeológico corresponde a la provincia de Guayana, subprovincia Roraima, con una superficie aproximada de 400 km<sup>2</sup>.

Las características generales de las aguas subterráneas son las siguientes: su ocurrencia es principalmente en rocas fisuradas, constituidas por areniscas y conglomerados, rocas clásticas bien cementadas, poco o no metamorizadas, generalmente de permeabilidad variable, frecuentemente baja a media.

En Guyana no se tiene información disponible por el momento.

#### Referencias

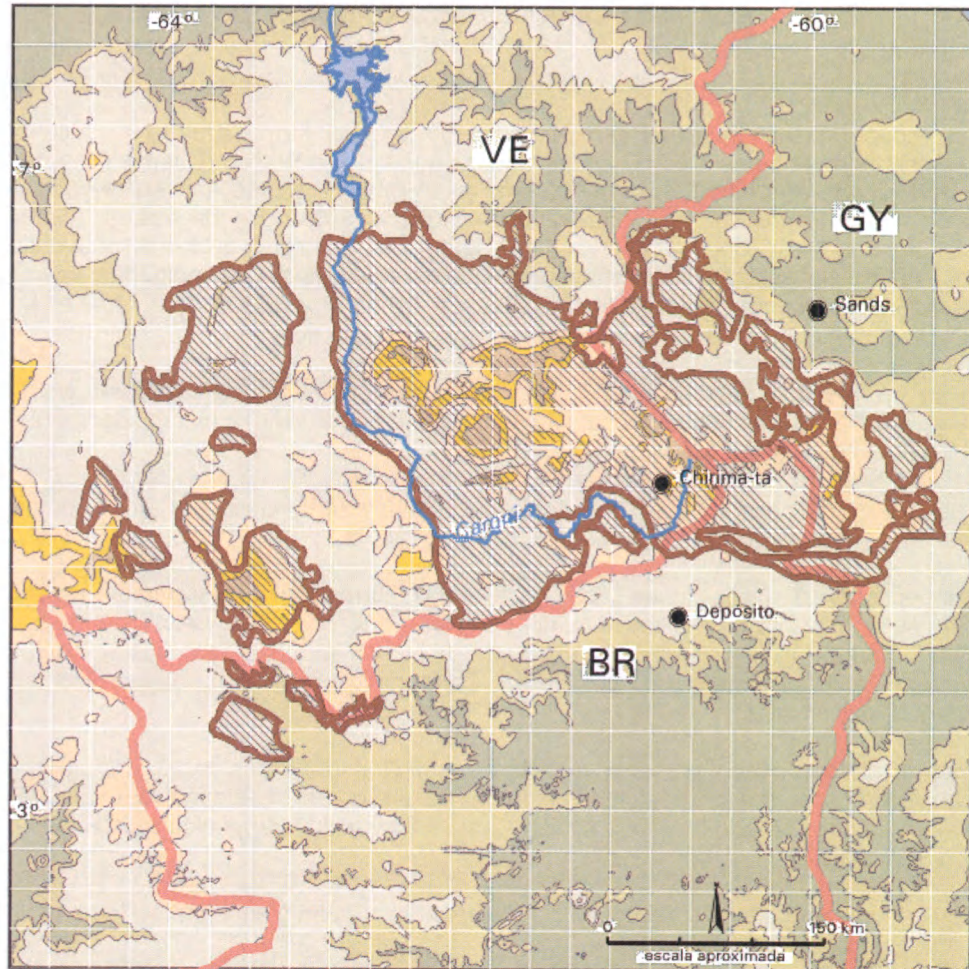
- *Mapa Geológico de Sudamérica (medio digital, 2001, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM e CGMW); Mapa Hidrogeológico de América del Sur (papel, 1996, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM)*
- *Zoneamiento Ecológico-Económico de la Región Central del Estado de Roraima (CD, 2002, CD con Mapas de Servicio en la Escala 1:250.000 (Temas: Aptidão Agrícola, Biodiversidade, Geología, Geomorfología, Archivos: CDR, PRN, CAD; CPRM y Gobierno del Estado de Roraima).*
- *Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela (MARN, 1990)*
- *SIGATLAS Hidrogeológico de Venezuela (medio digital, 2004. Esc. 1:500.000 MARN)*

#### Autores:

Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Helio J. de Oliveira Júnior SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha-DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani-IG/SP, Brasil  
Fernando Decarli Rodríguez, DHMO/DGCH/MINAB, Venezuela



**Sistema Acuífero Grupo Roraima  
4S BR-GY-VE**



## BRASIL – GUYANA

### 5S – SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO BOA VISTA-SERRA DO TUCANO-NORTH SAVANNA BRASIL-GUYANA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna se encuentra ubicado en el Estado de Roraima en la frontera con Guyana, Cuenca del Alto Río Branco (Cuenca Amazónica), presenta una extensión aproximada de 24.000 km<sup>2</sup>, 14.000 km<sup>2</sup> en el Brasil y 10.000 km<sup>2</sup> en Guyana. El clima es semi-húmedo, con 4 a 5 meses secos y temperaturas medias >18°C todos los meses. Abarca las poblaciones roraimenses de Boa Vista, Bonfim, Cantá, Alto Alegre y Normandía, y el distrito guayanense de Rupununi-Essequeibo. Aparte de estas poblaciones también comprende las tierras indígenas (Macuxis) Manoa-Pium, Moscou, Canaunanim, Morihuh, Malacacheta, Tabalascada, Jabuti, Bom Jesús, entre otras en territorio brasileño e lupucari, Caranambo y Parishara (Uapixanas) en territorio guayanense.

El relieve se ha formado en depósitos sedimentarios inconsolidados del Terciario y/o Cuaternario, de la depresión de Boa Vista. Esta depresión se caracteriza por tener un relieve extremadamente plano a levemente ondulado, localmente dividido por colinas.

Los principales usos del agua son para el abastecimiento público y la agricultura. Representa una prioridad para la expansión de la frontera agrícola y para el proyecto Arco Norte.

En el Brasil está formado básicamente por rocas de la Formación Boa Vista (areniscas conglomerádicas, areniscas arcoseanas y siltitas). Recibe el nombre de North Savanna en Guyana. Está asociada a los depósitos aluviales y a la Formación Arenas Blancas (depósitos de arenas en forma de dunas eólicas activas o fósiles) de edad cuaternaria y las Formaciones mesozoicas Serra da Tucano (areniscas conglomerádicas, areniscas arcoseanas, siltitas y argilitas).

Este sistema acuífero es libre y presenta variaciones medias de caudales de 30 m<sup>3</sup>/h aproximadamente y una elevada capacidad específica. Es bastante vulnerable, ya que en Brasil se observa una tendencia de expansión de la frontera agrícola. Del lado brasileño se tiene poca información hidrogeológica. Del lado de Guyana no hay información disponible.

El acuífero tiene una importancia hidrogeológica regional alta y una gran vulnerabilidad a la contaminación por el uso de agro tóxicos en la región.

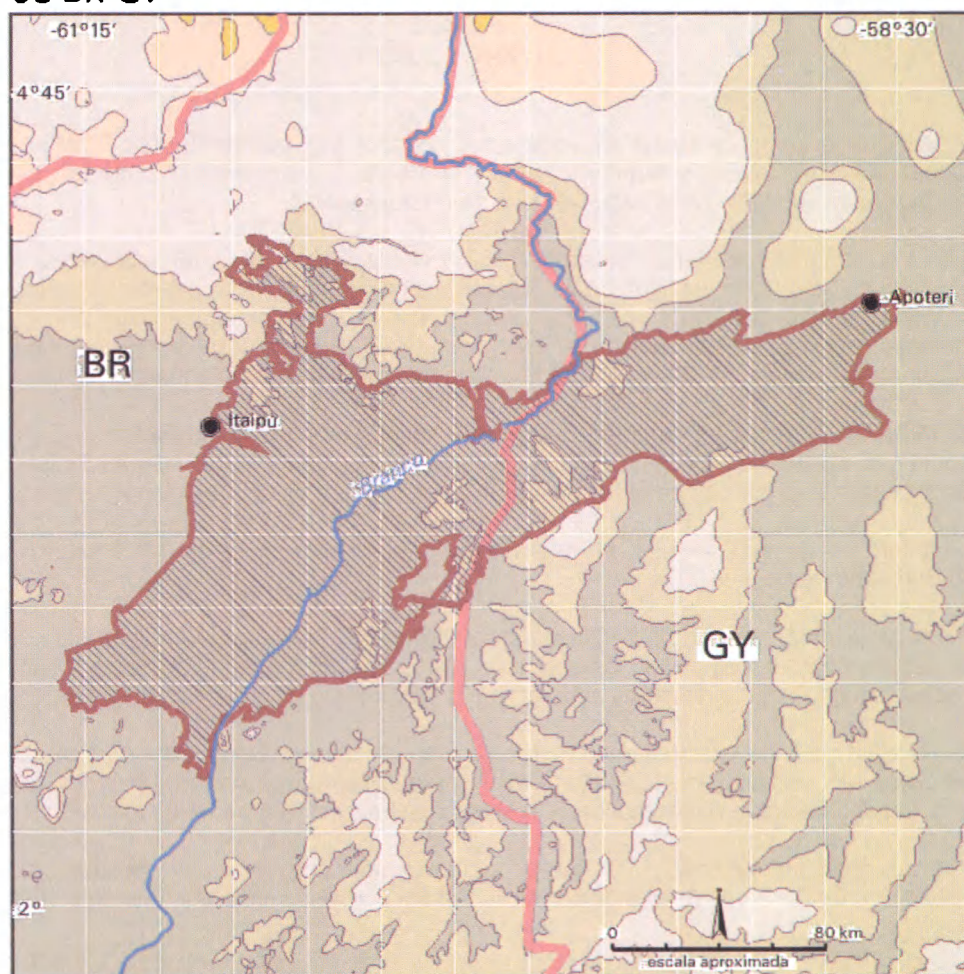
#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico da América do Sul (papel, 1996, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM)*
- *Mapa Geológico de Sudamérica (medio digital, 2001, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM e CGMW);*
- *Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima (CD, 2002, CD com Mapas de Serviço na Escala 1:250.000.*

#### Autores:

Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Helio J. de Oliveira Júnior, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha-DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani-IG/SP, Brasil  
Nelson Joaquim Reis, CPRM, Brasil  
Mário Sérgio Gomes de Faria, CPRM, Brasil

**Sistema Acuífero Boa Vista-Serra do Tucano-North Savanna  
5S BR-GY**



## GUYANA – SURINAME

### 6S/7S/8S - SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS ZANDERIJ/COESEWIJNE / A-SAND/B-SAND GUYANA - SURINAME

El Sistema Acuífero Transfronterizo de Guyana esta ubicado al norte de Sudamérica en dos países: la República Cooperativa de Guyana y Suriname. El acuífero tiene una superficie de alrededor de 200.000 km<sup>2</sup>, una mitad ubicada en el subsuelo de la costa y la otra mitad bajo el mar.

El clima es tropical, caliente y húmedo, moderado por los vientos cambiantes del noreste. Se caracteriza por 2 estaciones lluviosas, y una corta estación de lluvias - diciembre y enero en Suriname y a mediados de Mayo y mediados de Agosto en Guyana - y de una larga estación lluviosa. El promedio anual de precipitación pluvial es de aproximadamente 1525 a 2400 mm en el área costera de Guyana y la temperatura durante el día en Paramaribo (Suriname) varía entre 23° y 31° C con una temperatura promedio anual de 27° C.

El perfil geográfico de la región se caracteriza por tener colinas redondeadas mayormente y una faja costera angosta y plana con pantanos. La vegetación está compuesta mayormente de bosque tropical con sabanas al sur de Guyana. La población de Suriname es de 438 mil y en Guyana es de 768 mil habitantes.

El Sistema Acuífero de Guyana consiste en tres acuíferos: el nombre de estos tres acuíferos es diferente en Guyana y en Suriname (ver cuadro).

Geológicamente el sistema es parte de sedimentos del Mesozoico-Terciario que rellenan la cuenca costera de Guyana. Los sedimentos que componen los acuíferos varían en edad desde Oligoceno, Mioceno al Plioceno. En la costa están cubiertos por sedimentos más recientes pertenecientes a la edad Holocena.

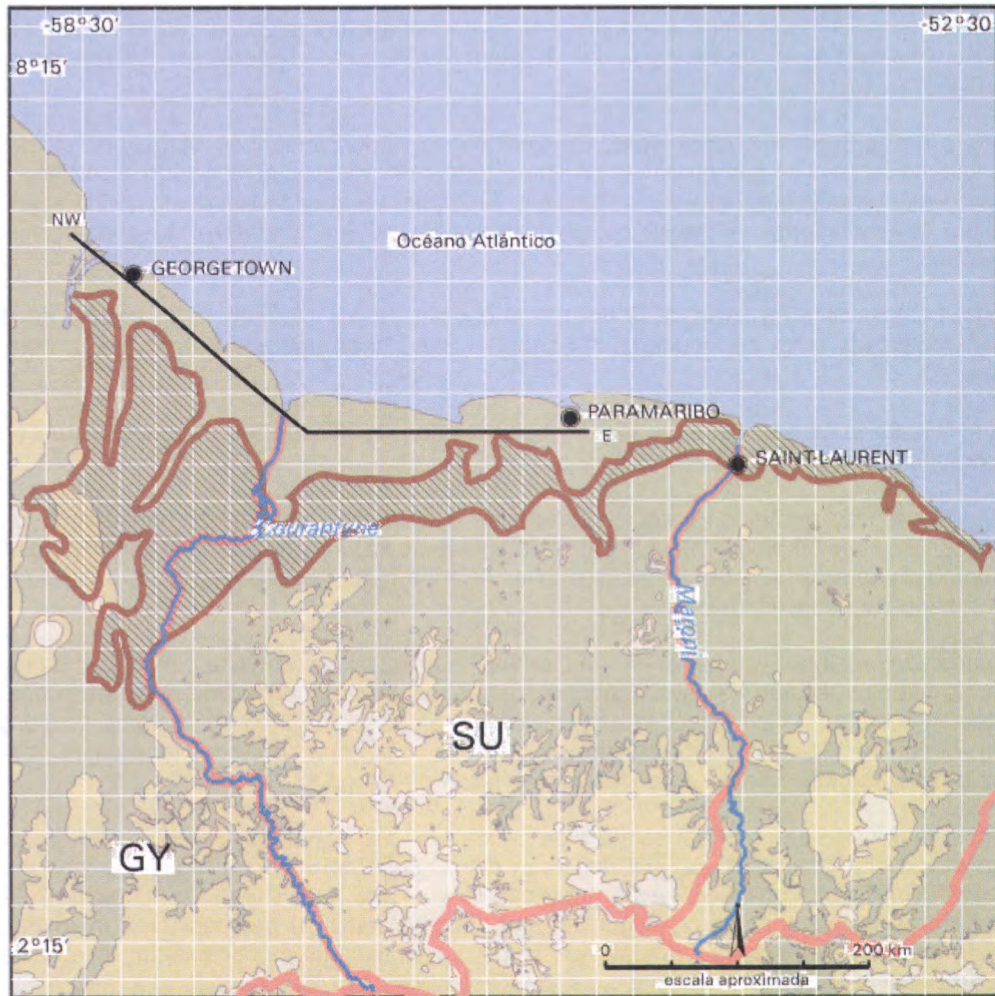
La demanda de agua se basa principalmente sobre recursos hídricos superficiales y aguas subterráneas. Las aguas superficiales son usadas para agricultura, mientras que las aguas subterráneas son usadas solamente para consumo humano debido a su alta calidad y costos de extracción relativamente altos.

En áreas urbanas, aproximadamente el 95% de la población tiene acceso al agua potable (90% por medio de conexiones caseras). En las áreas rurales cerca del 70% de la población tiene agua potable en la casa.

<u>Guyana(G)</u>	Espesor de los niveles (m)	<u>Suriname (S)</u>	Espesor de los niveles (m)
Arcilla superior Demarara	15-50 - 0-50	Demarara/Coropina	0-100 - 0-75
Arena Superior (*)	15-120 - 30-60	Zanderij (*)	50-150 - 0-230
Zona arcillosa intermedia	50-150 - 25-275	Coesewijne (**)	40-150 - 50-350
A-Sand (*)	15-200 - 200-300	A-Sand (*)	0-60 - 180-245
Alternancia de arena y arcilla	75-150 - 100-400	Onverdacht	50-200 - 230-500
B-Sand (*)	75 - 360-500	Sin nombre (*)	75 - 500-575



Sistema Acuífero Zanderij  
6S GY-SU





En Guyana hay cerca de 15 agencias que se encargan de la administración, legislación, abastecimiento del recurso agua y sus funciones a menudo se superponen en manera directa o indirecta. En Suriname el sistema de abastecimiento de agua en las áreas urbanas es gestionado por la Compañía de Agua de Suriname mientras que el Servicio de Suministro de Agua del Ministerio de Recursos Naturales y Energía es responsable en las áreas rurales.

El acuífero Arena Superior (Upper Sand, Guyana) denominado Zanderij en Suriname, es el más superficial de los tres acuíferos; en Guyana no es usado como fuente de agua potable debido a su alto contenido de hierro (mayor a 5 mg/l) y salinidad (mayor a 1200 mg/l). El Zanderij-S ha sido explotado desde el año 1935 en la parte que aflora y actualmente, a través de una tubería de 40 km contribuye al abastecimiento de la capital Paramaribo.

El acuífero Coesewijne es parte de la formación constituida por alternancia de niveles de arena y arcilla (en Guyana), localizada entre los acuíferos A-Sand y B-Sand, y es utilizado para cubrir la demanda de agua en Suriname.

El acuífero A-Sand es ampliamente usado para abastecer la demanda de agua, aunque requiere tratamiento para extraerle el hierro.

El B-Sand es el más profundo de los tres acuíferos y es usado comúnmente en Guyana. El agua proveniente de ese acuífero tiene un bajo contenido en hierro, alta temperatura y trazos de sulfato hidrogenado el que puede ser tratado con aeración. En Suriname se encuentra en la parte oeste del país a gran profundidad, por lo tanto no es utilizado para abastecimiento.

La importancia del agua subterránea en las regiones tanto de Guyana como de Suriname es crucial y representa el único recurso de agua adecuado para abastecer a la población que está concentrada sobre todo en la región costera. Sin embargo, la explotación del agua subterránea del sistema acuífero no es una tarea sencilla y requiere de muchas precauciones, aún más por tratarse de un recurso no renovable, originado durante el Terciario y que desde entonces casi no ha sido recargado.

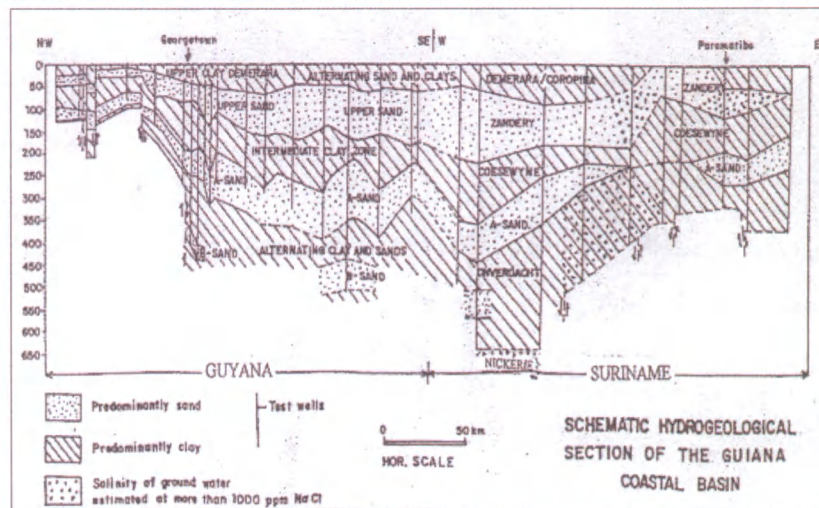
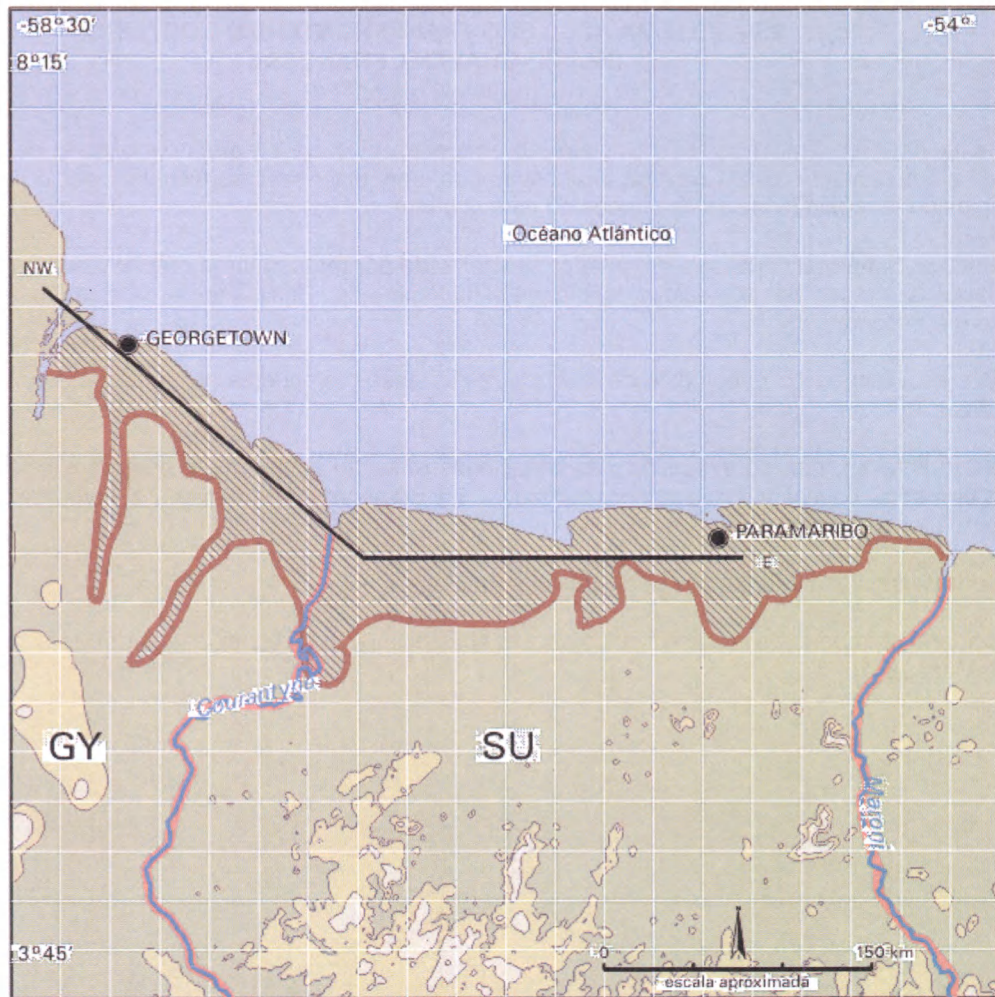
El ejemplo más evidente es el del acuífero de arena A el cual abasteció a Paramaribo, la capital de Suriname durante medio siglo causando al final una gran disminución del nivel del agua y serias intrusiones de agua salina por el mar. Como consecuencia, hubo que buscar una nueva área de captación a 20 km al sur de la ciudad para poder asegurar la provisión de agua. Los estudios de prospección y la realización de la nueva planta de captación demoraron varios años y fueron necesarios financiamientos internacionales, entres los cuales esta el del BID (Banco Interamericano de Desarrollo).

Aunque no existe riesgo de interferencia entre las áreas de captación del sistema acuífero, se necesita hacer un gran esfuerzo para asegurar un manejo consciente y bien implementado del recurso.

**Autor:**

Albert Mente, Consultor en Aguas Subterráneas y Protección Ambiental  
[albertmente@hotmail.com](mailto:albertmente@hotmail.com) o [albertment@yahoo.com.br](mailto:albertment@yahoo.com.br)

Sistema Acuífero Coesewijne /A-Sand/B-Sand  
7S GY-SU 8S GY-SU



Fuente: UNDP, 1973; ROOPNARIN & ISRAEL, 1992

## BRASIL – GUAYANA FRANCESA

### 9S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO COSTEIRO BRASIL-GUAYANA FRANCESA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Costeiro se encuentra ubicado en el extremo norte de Brasil, Estado de Amapá, en la frontera con Guayana Francesa, con una extensión aproximada de 27.000 km<sup>2</sup>. Algunos municipios de la región Norte se abastecen de este acuífero.

Predomina el clima ecuatorial súper-húmedo caracterizado por temperaturas medias anuales entre 25° a 27° C con elevados índices de pluviosidad media de 2.500 mm/año. Básicamente se definen dos estaciones, el invierno y el verano.

El relieve está inserto en el contexto de la Planicie Litoránea, compuesta por terrenos muy bajos y fácilmente anegadizos.

El acuífero libre en toda su extensión con variaciones entre 20 a 200 m<sup>3</sup>/h, esta constituido por sedimentos aluvionales semi consolidados a no consolidados. En Brasil se ha observado a nivel local la presencia de niveles de hierro elevado.

En los dos países falta información geológica/hidrogeológica.

Se considera un importante recurso hídrico para el abastecimiento de las ciudades del litoral de Amapá, como la capital, Macapá.

#### Referencias

- *Mapa Geológico de Sudamérica (meio digital, 2001, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM e CGMW)*
- *Mapa Hidrogeológico da América do Sul (papel, 1996, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM)*

#### Autores:

Julio Thadeu Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabricio B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Cláudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Helio J. de Oliveira Júnior, SRH/MMA, Brasil  
Gerônimo Rocha – DAEE/SP, Brasil

Sistema Acuífero Costeiro  
9S BR-GF



## COLOMBIA – ECUADOR

### 10S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO TULCÁN – IPIALES COLOMBIA-ECUADOR

El Sistema Acuífero Transfronterizo Tulcán-Ipiales se localiza al Sur de Colombia en el Departamento de Nariño sobre las poblaciones de Ipiales, Carlosama, Cumbal y Potosí, y al Norte del Ecuador, en la Provincia del Carchi, en el Cantón Tulcán. Presenta un relieve de mesetas con pendientes generalmente moderadas. Las poblaciones en conjunto para ambos países son del orden de ciento cincuenta mil habitantes, las cuales actualmente presentan déficit de agua tanto para consumo humano como para riego.

El área se caracteriza por presentar un clima templado a frío con una temperatura promedio de 11<sup>º</sup> a 12<sup>º</sup> centígrados, y una precipitación promedio del orden de 1100 mm. En general se presenta un régimen bimodal, con una época de baja precipitación de julio a septiembre.

Desde el punto de vista socio económico la población se dedica principalmente a la agricultura y la ganadería. El uso indiscriminado de agroquímicos potencialmente afecta la calidad de los suelos y los recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad, lo que puede generar un riesgo y afectar la sostenibilidad ambiental de esta región colombo ecuatoriana. La ocurrencia del agua subterránea en la región constituye una alternativa viable de solución en cantidad y calidad para cubrir la demanda para diferentes usos por parte de la población.

Geológicamente en el área afloran rocas volcanoclásticas constituidas por lavas, cenizas, tobas, pumitas, intercaladas localmente con flujos de lodos originados por las glaciaciones del pleistoceno y la actividad volcánica del levantamiento de la Cordillera de los Andes. Los sedimentos de origen volcánico constituyen sistemas acuíferos de porosidad primaria o inter granular, con permeabilidades medias a bajas constituyendo potencialmente acuíferos de bajos rendimientos. Estos acuíferos son captados por medio de pozos, aljibes y manantiales. Las aguas subterráneas se caracterizan por ser dulces, con baja salinidad, y presentan valores de conductividad menores a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con la excepción de los manantiales termo-minerales que tienen conductividades que superan localmente los 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El acuífero es poco conocido desde el punto de vista Hidrogeológico, no se ha establecido su geometría (área, espesor), su modelo de flujo para la identificación de las áreas de recarga, tránsito y descarga, sus recursos y reservas potenciales y en general sus características hidrodinámicas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, conductividad hidráulica). Tampoco se ha caracterizado la vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación.

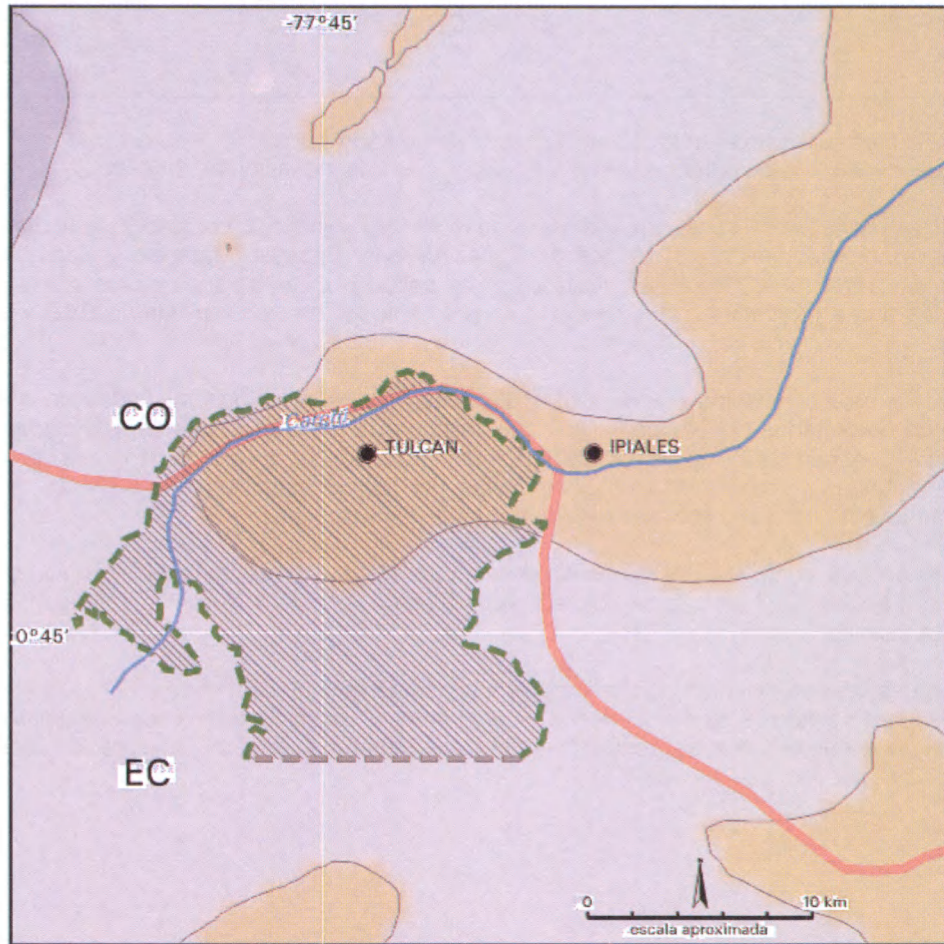
Las poblaciones de ambos países asentadas en el área ejercen una presión constante sobre los recursos hídricos superficiales, los cuales a su vez son escasos y presentan un progresivo deterioro de su calidad impidiendo su uso y por ende el desarrollo sostenible de la región. La situación anterior demanda acciones de las entidades gubernamentales de ambos países, en relación a la exploración y evaluación del potencial del acuífero denominado Tulcán Ipiales. Esto permitirá generar una gestión para su uso, manejo y aprovechamiento integral y sostenible, actividad que permitirá elevar el estándar de vida de las comunidades colombo-ecuatorianas asentadas en la frontera, evitando el desplazamiento y migración de la población fronteriza.

#### **Autores:**

Napoleón Burbano Ortiz, INAMHI, Ecuador  
Hugo Cañas Cervantes, IDEAM, Colombia



Sistema Acuífero Tulcán-Ipiales  
10S CO-EC



## ECUADOR – PERÚ

### 11S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO ZARUMILLA ECUADOR – PERÚ

El Sistema Acuífero Transfronterizo Zarumilla tiene demarcado su ámbito sobre la base superficial del Río Zarumilla, que involucra a los países de Perú y Ecuador, con una extensión de 920 km<sup>2</sup>.

La precipitación pluvial se presenta generalmente de diciembre a mayo. La población aproximada es de 70.000 habitantes que se asientan en los distritos de Aguas Verdes, Papayal, Matapalo y Zarumilla en Perú, y en Ecuador en los cantones de Huaquillas, Arenillas y Las Lajas. El clima es árido en las zonas planas y monzón tropical en las áreas montañosas. La temperatura promedio es de 25°C en las llanuras y 22°C en la zona montañosa.

Geológicamente esta constituido por depósitos aluviales, coluviales e indiferenciados de edad cuaternaria y sedimentos no deformados del Neógeno, con intercalación de limos y arcillas con porosidad inter granular y permeabilidad generalmente media ( $K=3 \times 10^{-3}$  m/s). Bordeando a los sedimentos encontramos rocas fuertemente plegadas y metamorizadas compuestas por lutitas, cuarcitas, rocas ígneas, filitas y esquistos. Estructuralmente este complejo esta atravesado por un sistema de fallas.

Las formaciones que conforman el borde exterior se consideran prácticamente impermeables. El gradiente hidráulico varía de 2-6%. El sentido de flujo en general es de Sureste a Noroeste. El agua se caracteriza por tener una alta salinidad.

En la zona de estudio se asientan poblaciones económicamente muy deprimidas, por lo que la única forma de elevar su standard de vida es suministrarles el recurso hídrico, constituyéndose como la única alternativa viable la evaluación del acuífero Zarumilla, gestión que debe ser compartida para una explotación sostenible.

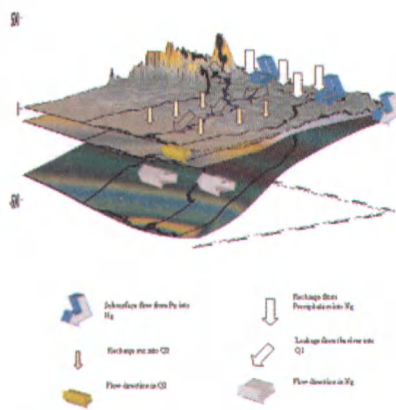
#### Referencias

- *Estudio Hidrogeológico del río Zarumilla. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2004.*
- *Estudio geofísico del río Zarumilla. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2004.*
- *Modelo conceptual del acuífero: W. Xavier Coello-Rubio, Characterization of the Zarumilla transboundary aquifer between Peru and Ecuador - Tesis de Post Grado, UNESCO-IHE, OIEA, Delft, the Netherlands, 2006*

#### Autores:

Napoleón Burbano Ortiz, INAMHI, Ecuador  
Edwin Zenteno Tupiño, INRENA, Perú

**Sistema Acuífero Zarumilla**  
**11S EC-PE**



Fuente: W. Xavier Coello-Rubio, 2006

**12S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO  
PUYANGO-TUMBES-CATAMAYO-CHIRA  
PERÚ-ECUADOR**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Puyango-Tumbes-Catamayo-Chira está ubicado en la frontera entre Perú y Ecuador, en una zona caracterizada por sus formas irregulares, con una precipitación variable en el tiempo y el espacio. En esta zona se asientan poblaciones cuya actividad principal es la agricultura y la ganadería.

En el área asoman rocas de edad variable desde el Paleozoico al reciente. Hacia el este y en la parte superior emergen rocas metamórficas, en el centro un conjunto de intrusivas y rocas volcánicas. En el curso medio bajo afloran rocas sedimentarias del cretácico. La presencia de los aluviales es restringida y local.

El conjunto descrito presenta por sus características litológicas cualidades de permeabilidad diversa que se pueden agrupar en tres grupos: 1) permeabilidad alta para aluviales y coluviales; 2) permeabilidad baja en zonas con presencia mayoritaria de areniscas y conglomerados, especialmente en rocas del cretácico, con presencia de lutitas e intercalaciones de tobas, calizas y rocas volcánicas; 3) permeabilidad muy baja a nula en las intrusivas metamórficas y rocas del cretáceo con presencia de lutitas y minerales arcillosos. Se considera que la zona acuífera se localiza en el curso medio o inferior de los ríos Catamayo y Puyango.

La zona se caracteriza por ser deficitaria en recursos hídricos, lo que ha causado que la población se encuentre en condiciones de extrema pobreza. Las actividades agrícolas y ganaderas son de subsistencia por lo que se justifica que los gobiernos de los dos países integren esfuerzos encaminados a la cuantificación de los recursos hídricos subterráneos como alternativa viable para solucionar el déficit de agua y elevar las condiciones de vida de la población.

**Referencias**

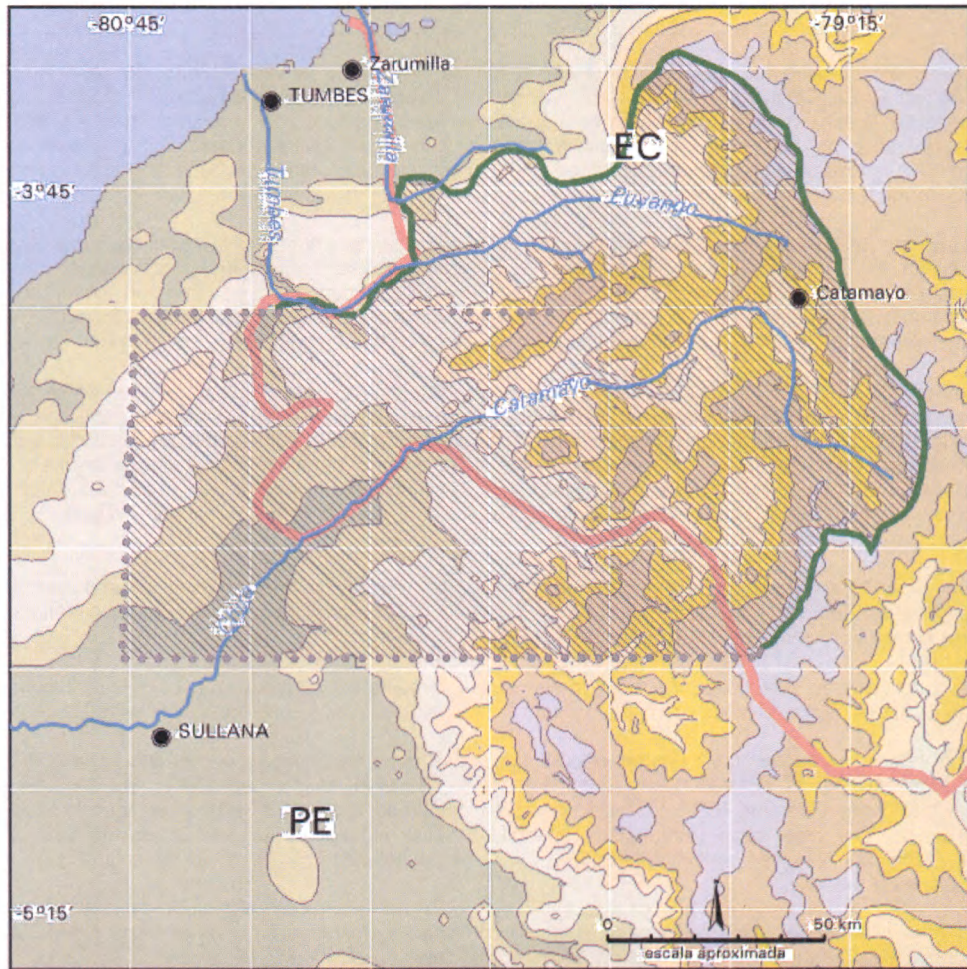
- *Estudio geológico del río Tumbes. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2004*
- *Mapa Hidrogeológico del Ecuador, 1:100.000, 1983.*

**Autores:**

Napoleón Burbano, INAMHI, Ecuador  
Edwin Zenteno Tupiño, INRENA, Perú



**Sistema Acuífero Puyango-Tumbes-Catamayo-Chira**  
**12S EC-PE**





## BOLIVIA – BRASIL – COLOMBIA – ECUADOR – PERÚ – VENEZUELA

### 13S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO AMAZONAS BOLIVIA-BRASIL-COLOMBIA-ECUADOR-PERÚ-VENEZUELA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Amazonas (ex-Solimões-Içá, incluyendo todavía la Formación Alter do Chão) comprende los países de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela quienes, analizando los mapas Hidrogeológicos e integrándolos al de América del Sur a escala 1:5.000.000, consideran que es posible la existencia de un gran sistema acuífero regional denominado "Amazonas", teniendo en cuenta las características geológicas, hidrogeológicas, topográficas, geomorfológicas y climáticas. El acuífero tendría una extensión de aproximadamente 3.950.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 2.000.000 km<sup>2</sup> son de la Formación Alter de Chão y 1.200.000 km<sup>2</sup> de Içá.

El sistema acuífero Amazonas comprende las provincias hidrogeológicas de América del Sur denominadas Amazonas y Orinoco, en donde se ubican diversos tipos de acuíferos constituidos de sedimentos no consolidados y consolidados. En Brasil presenta una gran extensión y un espesor de hasta 2.200 m, como acuífero libre, encontrándose también en condiciones confinadas y gran espesor. En Venezuela corresponde a la Provincia del Orinoco y fisiográficamente corresponde a los llanos venezolanos, con una superficie aproximada de 200.000 km<sup>2</sup>. Se caracteriza por acuíferos de buen rendimiento y por la calidad de las aguas.

Teniendo en cuenta que está localizado en una región poco habitada y de difícil acceso, el acuífero es todavía poco conocido, siendo necesario un mayor conocimiento por parte de los países en donde está localizado para una mejor caracterización, conociendo sus límites, geometría, potencial y características hidráulicas. En Brasil se sabe que la calidad química de las aguas es buena. Sin embargo, en términos microbiológicos existen limitaciones para el consumo humano en áreas urbanas debido a la elevada vulnerabilidad natural (el acuífero tiene nivel freático alto, próximo a la superficie) y al elevado potencial de contaminación debido a pozos mal construidos, ausencia o mala protección sanitaria y a la carencia de saneamiento básico, principalmente en las áreas urbanas.

El sistema acuífero Amazonas coincide en su gran mayoría con la gran planicie amazónica en la parte central y en la parte oriental con la provincia del Orinoco y presenta un ecosistema particular. A pesar de la abundancia de agua superficial, las aguas subterráneas son muy utilizadas por los 6 países.

El clima es super-húmedo a húmedo, con 0 a 3 meses secos, temperatura media mayor a 18° C en todos los meses. El relieve presenta las depresiones de Solimões y del medio y bajo Amazonas (cuencas y coberturas sedimentarias de la cuenca Amazónica).

La población está localizada en las ciudades ribereñas, comunidades indígenas, y en las llanuras de la margen izquierda del Orinoco. El uso principal es abastecimiento humano local, siendo ampliamente utilizada en las capitales Río Branco, Belém, Santarém, Porto Velho, Manaus (BR). En esta última se comprobó que las muestras de agua subterránea presentan alta contaminación por coliformes termo tolerantes. También se utiliza el acuífero en los Estados Barinas, Portuguesa, Guárico, Anzoátegui y Monagas (VE) y en la ciudad de Leticia (CO). El agua es usada para riego en agricultura, para suministro industrial y en centros poblados rurales.

El acuífero Amazonas es de importancia para muchas comunidades ribereñas pues es la única alternativa de abastecimiento, debido a contaminación natural y antrópica de las aguas superficiales.

#### Referencias

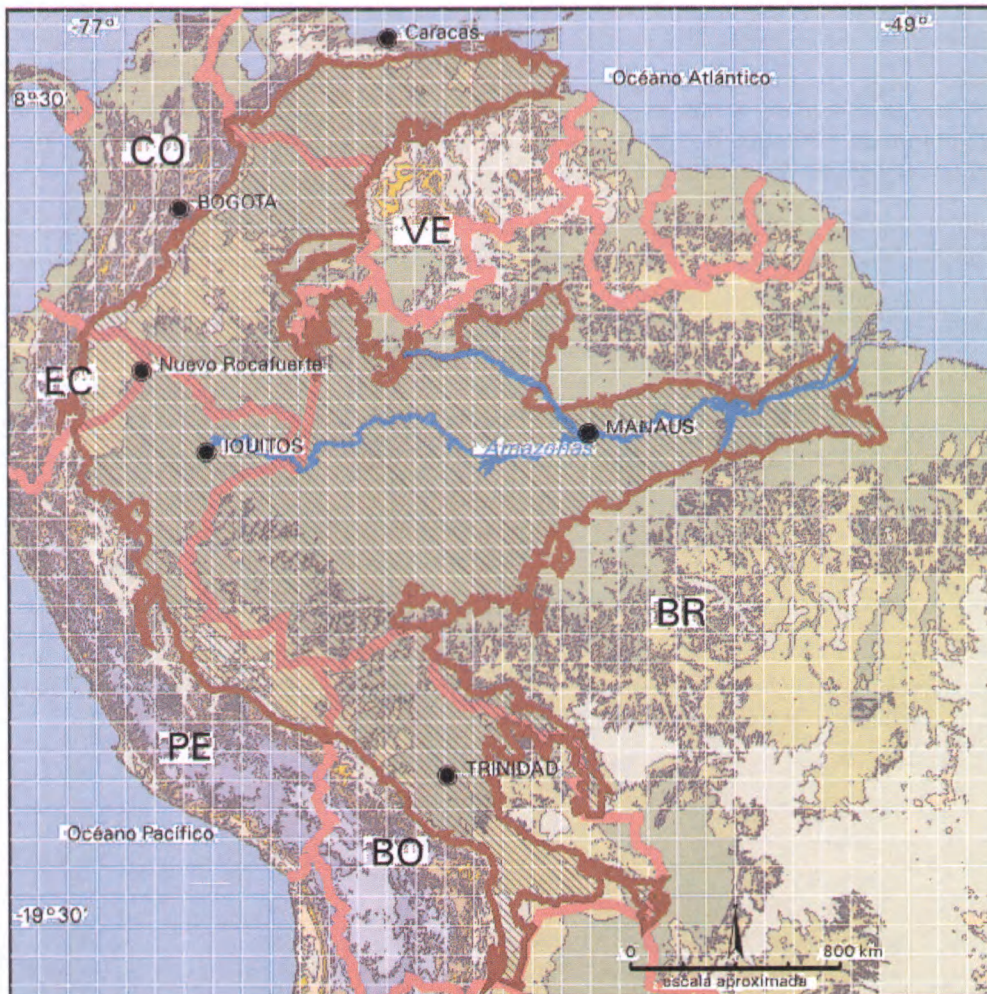
- *Mapa Geológico de Sudamérica (medio digital, 2001, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM e CGMW); Mapa Hidrogeológico de América del Sur (Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM, 1996.)*
- *Imagen de Venezuela. Una Visión Espacial. PDVSA. 1995.*
- *Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela. MARN. 1990*
- *Mapa Hidrogeológico de Bolivia Esc: 1:2.500.000*

#### Autores:

Juan Torres; SERGEOMIN, Bolivia  
Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Hélio J. de Oliveira Júnior SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha-DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani-IG/SP; Brasil  
Hugo de Jesús Canas; IDEAM, Colombia  
Napoleón Burbano, INAMHI; Ecuador  
Edwin Zenteno Tupiño; INRENA, Peru  
Fernando Decarli R., DHMO/DGCH/MINAMB, Venezuela

**Colaboradores:** Mário S.G. de Faria y Jamilo J. Tomé Filho, CPRM.

Sistema Acuífero Amazonas  
13S BO-BR-CO-EC-PE-VE



## BOLIVIA - PERÚ

### 14S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO TITICACA BOLIVIA-PERÚ

El Sistema Acuífero Transfronterizo Titicaca está localizado entre las Repúblicas de Perú y Bolivia. Corresponde a un clima frígido de alta montaña (4000 m.s.n.m.), con altos topográficos y depresiones endorreicas. La población aproximada es de 1.000.000 de habitantes. La demanda de agua está dirigida a cubrir los servicios básicos y es utilizada también en la ganadería y agricultura.

Área de gran importancia, cuyo recurso hídrico es indispensable para la supervivencia de varias poblaciones asentadas en la zona. Los principales ríos superficiales en Bolivia son Desaguadero, Suches, Mecapaca.

La geología esta representada por depósitos cuaternarios (aluviales, fluviales, glacio-fluviales). Se observa la presencia de areniscas, cuarcitas y lutitas correspondientes al Devónico; el Carbonífero está representado por areniscas y limolitas.

El sistema acuífero está constituido por depósitos cuaternarios de origen aluvial, fluvial y glacio - fluvial. El área es de aproximadamente 120.000 km<sup>2</sup>. Las recargas están relacionadas principalmente a las precipitaciones pluviales.

Los acuíferos observados en el área son libres y confinados.

El área está sujeta a procesos de contaminación antropogénica, las aguas negras son descargadas al Lago Titicaca.

Área donde se encuentran diferentes grupos poblacionales, los cuales se dedican a la ganadería y agricultura, el recurso hídrico es base fundamental para el desarrollo humano y sustentable.

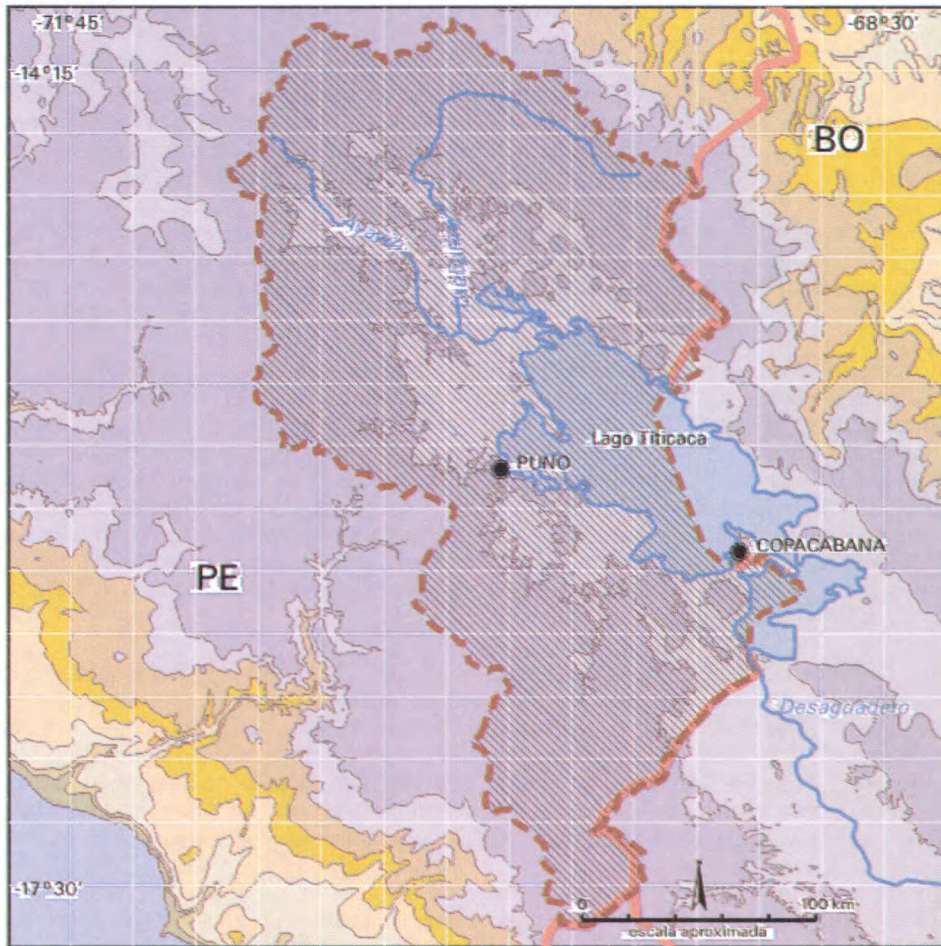
#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico de Bolivia. Escala 1: 2 500 000, SERGEOMIN*
- *Estudio geológico del río Ramis. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2003.*

#### Autores:

Edwin Zenteno Tupiño, INRENA, Perú  
Juan Torres Fernández, SERGEOMIN, Bolivia

**Sistema Acuífero Titicaca**  
**14S BO-PE**





## BOLIVIA – BRASIL - PARAGUAY

### 15S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PANTANAL BOLIVIA-BRASIL-PARAGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Pantanal está localizado en la cuenca hidrográfica del Río Paraguay. El área estimada del acuífero es de aproximadamente 134.000 km<sup>2</sup> (102.000 km<sup>2</sup> en Brasil, 14.000 km<sup>2</sup> in Bolivia, 18.000 km<sup>2</sup> en Paraguay). Tiene una precipitación media de 1.000 a 1.500 mm y un clima mesotérmico. Posee altitudes que varían, entre 100 m a 200 m, se trata de una prolongación hacia el norte de la Planicie del Chaco (Paraguay).

La importancia del sistema acuífero Pantanal reside en el mantenimiento del ecosistema Pantanal, el mas grande humedal del mundo, declarado Patrimonio de la Humanidad y parte de la Convención de Áreas Húmedas, así como en la regulación natural del régimen de lluvias, y en el abastecimiento de las comunidades locales y poblaciones indígenas.

El sistema acuífero es un sistema multi-capa, freático, y está constituido por sedimentos tercio- cuaternarios no consolidados y semi-consolidados, predominantemente arenosos. La dirección del flujo, en general, es hacia el río Paraguay, aproximadamente hacia SO desde el lado brasilero, y SE desde el lado boliviano y paraguayo. El ecosistema Pantanal esta actualmente amenazado en varias formas, algunas de las cuales también inciden en las aguas subterráneas. Un ejemplo es el exceso de sedimentación en los ríos y en el humedal - provocado por la erosión acelerada debido a la gran deforestación en las zonas altas (Planaltos) – lo que influye en el acuífero disminuyendo la infiltración y consecuente recarga. En general las aguas subterráneas son de buena calidad, aunque localmente se ha detectado la presencia de hierro, carbonato, materia orgánica y agua salobre. Sin embargo, por ser un acuífero freático, presenta gran vulnerabilidad a la contaminación, en particular la relacionada a las actividades agrícolas (agroquímicos), y a la crianza de ganado.

Los tres países han reconocido el rol que desempeña el acuífero Pantanal en el funcionamiento del ecosistema del humedal Pantanal y en el control del tipo y distribución de su biodiversidad, y han identificado la necesidad de introducir una gestión sostenible conjunta del sistema acuífero transfronterizo, basada en la comprensión de las interacciones hidráulicas entre humedal y acuífero y en el reconocimiento, a nivel de manejo, del humedal como de un ecosistema dependiente de las aguas subterráneas. Además, debido a la naturaleza freática del acuífero, cuya descarga es principalmente a través de la evaporación, el sistema acuífero transfronterizo Pantanal puede representar un caso ideal para evaluar los impactos de cambio climático y el incremento de las fluctuaciones climáticas.

#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico del Paraguay PAR/83/005, escala 1: 1,000,000, PNUD-MIN, 1986, CPRM, Gobierno de Paraguay; Mapa de Integración Geológica de la cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, Escala 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Estado actual del Acuífero Pantanal en Paraguay; Proyecto GEF/Alto Paraguay (ANA/PNUMA/OEA), 2005*
- *Mapa Hidrogeológico de América de Sur, Escala 1:5.000.000.*

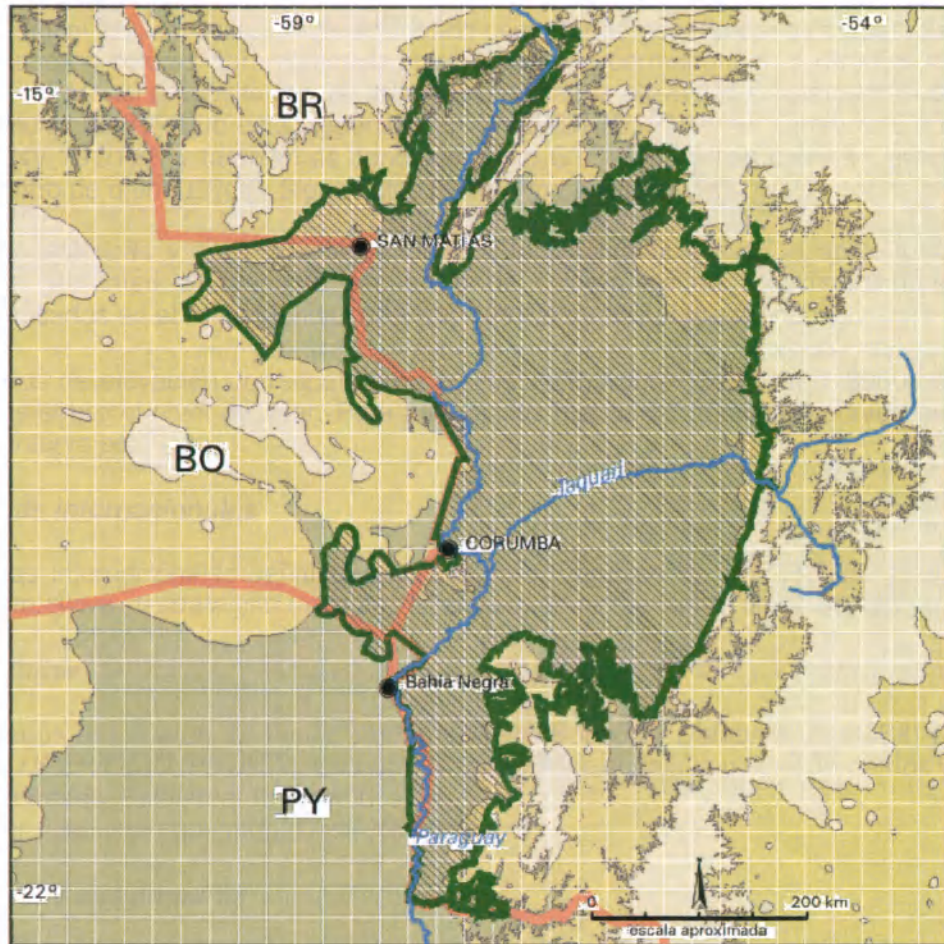
#### Autores:

Juan Torres; SERGEOMIN, Bolivia  
Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Hélio J. de Oliveira Júnior SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha-DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani-IG/SP; Brasil  
Celso Velásquez, SEAM, Paraguay;  
Santiago Jaro, SEAM, Paraguay  
Carlos Centurión, DRH – Chaco, Paraguay.

**Colaboradores:** Brasil: Helio Oliveira, SRH/MMA; Paraguay: Santiago Jara, SEAM.



Sistema Acuífero Pantanal  
15S BO-BR-PY



## BOLIVIA – PARAGUAY

### 16S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO AGUA DULCE PARAGUAY-BOLIVIA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Agua Dulce es parte de una cuenca hidrogeológica regional compartida por Paraguay y Bolivia y se ubica en la porción norte del gran Chaco Paraguayo y Sureste de Bolivia que junto a su área de influencia conforma distintas formaciones acuíferas. Se destacan los acuíferos del Carbonífero y Cretácico. Las unidades paleozoicas confinadas mineralizadas y termales. Los acuíferos de agua dulce del Cretácico son de naturaleza granular compuesto de areniscas rojas, masivas y mal seleccionadas, además de acuíferos constituidos por areniscas friable, fina a media, confinado por capa de arcilla plástica, a veces semi consolidada, del Terciario.

En Paraguay se lo califica como un acuífero regional de gran potencial Hidrogeológico muy poco explorado y cuya extensión ronda por los 30.000 km<sup>2</sup>. Datos de pozos del área indican un caudal de hasta 18 m<sup>3</sup>/h en acuíferos del Período Carbonífero y de 36 m<sup>3</sup>/h, de muy buena calidad en acuíferos del Cretácico.

El área de influencia del Sistema Agua Dulce queda dentro de la sub división semiárida mega termal. Clima tropical húmedo al Este a seco al Oeste, con inviernos secos y una temperatura de ambiente que varía de 18 a 26 grados centígrados. La precipitación media anual oscila entre 1400 – 1500 mm. Topográficamente la región se caracteriza como llanura chaqueña, interrumpida por cerros y serranías aisladas. Predomina una vegetación xerofítica con arbustos bajos y espinosos, dando lugar a un bosque ralo con excepciones de monte mediano y palmar en las zonas bajas.

La población es dispersa y reducida, se dedican al cultivo agrícola y crianza de ganado. Regionalmente constituye uno de los pocos acuíferos de agua dulce en la zona, y sería la base fundamental para el desarrollo sostenible y humano en la región. Es de gran importancia para el uso de agua de riego y consumo humano, constituye además una base para futuros trabajos de investigación, conservación y uso sustentable dentro de las áreas protegidas que existen en la zona.

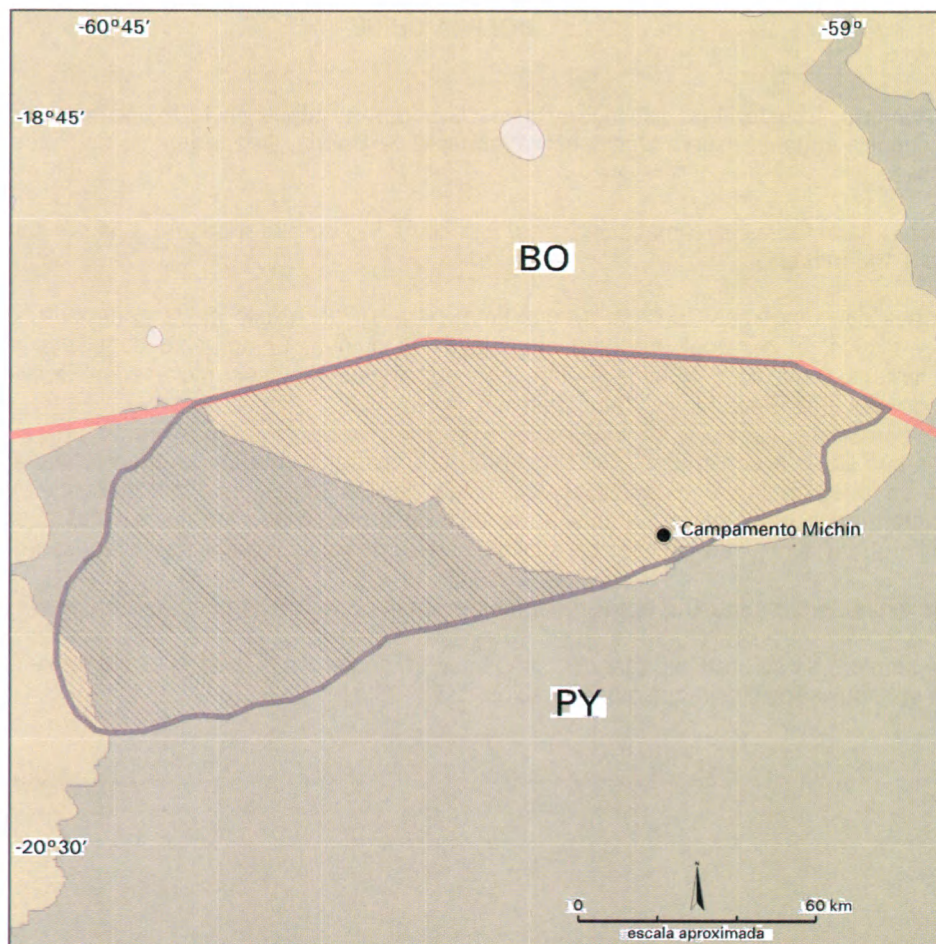
#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico de la República del Paraguay, escala: 1: 1.000.000 PNUD-MIN 1986*
- *Wiens F., 1991, Geología y Aguas Subterráneas Chaco – Paraguay; Región Norte de 20º 30' Efectos de Interacción. 1er Simposio sobre Agua subterránea y perforación de Pozos en el Paraguay.*
- *Godoy, E. 1991, Acuíferos Potenciales del Paraguay. 1er Simposio sobre Agua subterránea y perforación de Pozos en el Paraguay.*

#### Autores:

Celso Velásquez, SEAM, Paraguay  
Juan Santiago Jara, DGPCRH/SEAM, Paraguay

Sistema Acuífero Agua Dulce  
16S BO-PY



## BOLIVIA – CHILE

### 17S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO OLLAGÜE-PASTOS GRANDES BOLIVIA-CHILE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Ollagüe-Pastos Grandes se ubica en la región fronteriza entre Bolivia y Chile. Se encuentra en la Cordillera Occidental al sudeste de Bolivia, Departamento de Potosí, limitando por el Oeste con Chile.

El área presenta características climáticas áridas, con clima frío de alta montaña. Las precipitaciones pluviales son menores a 100 mm/año.

Las poblaciones son dispersas; la base fundamental para su desarrollo es la ganadería, con la crianza de auquénidos y ovinos, el principal producto agrícola es la quinua. El agua se constituye en un recurso de importancia inmensurable para toda la región. Los principales ríos superficiales en Bolivia son Aguaditas, Hondo, Grande de Lipez, Puca Mayu, Yana Uma

Los acuíferos son libres a confinados y se presentan en rocas fracturadas de edad terciaria y en sedimentos cuaternarios. En la región se presentan rocas volcánicas, dacitas, andesitas e ignimbritas, también depósitos de morrenas conformados por bloques, gravas y cantos. En profundidad infrayace una alternancia de capas interdigitadas areno-gravosas con niveles de arcilla y niveles de rocas volcánicas meteorizadas y fracturadas.

La cuenca se extiende por 4350 km<sup>2</sup> aproximadamente. En la parte boliviana no existen pozos profundos.

Este sistema acuífero es de gran importancia como base de desarrollo humano y sustentable para la región. Los ecosistemas son muy sensibles a cualquier cambio.

#### Referencias

- *Carta Geológica de Chile, Hoja Ollagüe, 1:250.000, Sernageomin, 1980*
- *Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 1:2500.000*
- *Proyecto PIR, SERGEOMIN, Bolivia, 2001*

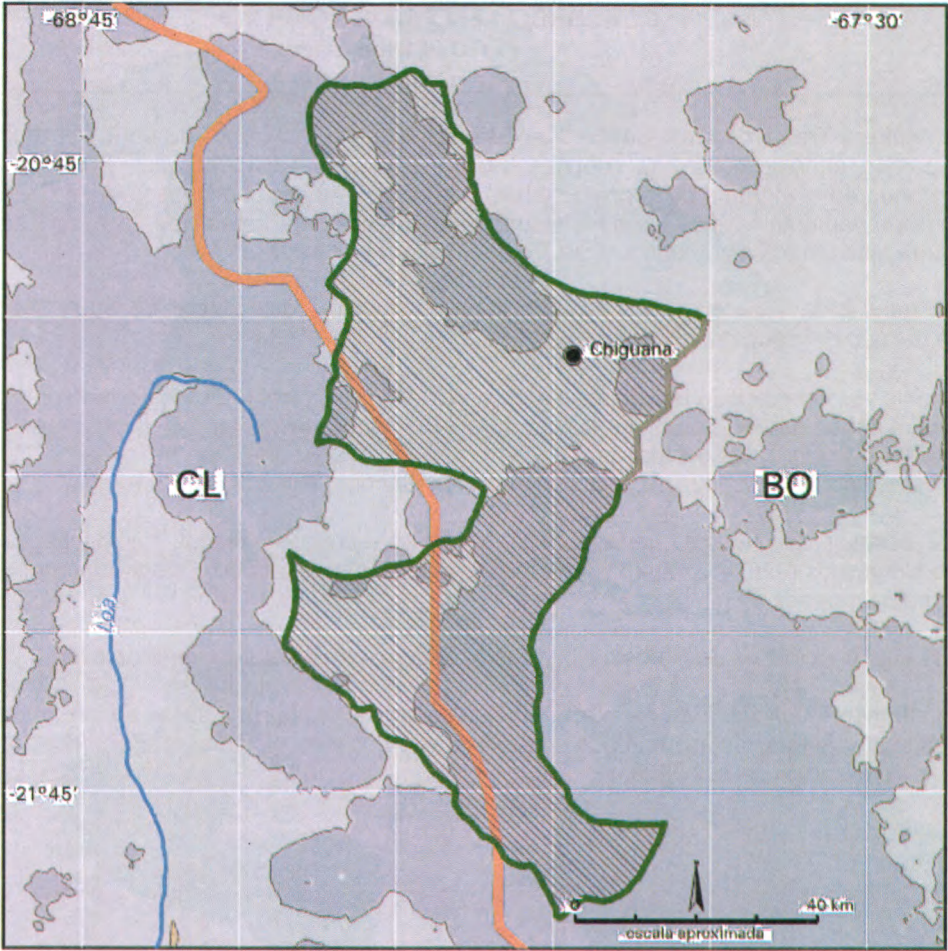
#### Autores:

Juan Torres Fernández, SERGEOMIN, Bolivia  
Jaime Muñoz, DGA, Chile

**Colaboradores:** Bolivia: René Ramos.



Sistema Acuífero Ollagüe-Pastos Grandes  
17S BO-CL





## CHILE – PERÚ

### 18S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CONCORDIA / ESCRITOS – CAPLINA PERÚ - CHILE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Concordia / Escritos–Caplina, está ubicado entre las repúblicas de Chile y Perú. Comprende principalmente las cuencas del río Caplina y las Quebradas Palca, Vilavilani, Caunani, Espíritus y Honda en el extremo de la costa sur del Perú y la Quebrada La Concordia en Chile. En el Perú está ubicado aproximadamente a 1.200 km de la ciudad de Lima. Las principales ciudades son Tacna (Perú) y Arica (Chile). El área aproximada es de 900 km<sup>2</sup> en Perú y 700 km<sup>2</sup> en Chile.

La zona es muy árida y seca, de escasa precipitación fluvial. Existe déficit de agua superficial, de allí la importancia del uso del agua del acuífero.

Geológicamente esta constituido por depósitos aluviales, fluviales y coluviales de edad cuaternaria. Bordeando a estos sedimentos, afloran rocas intrusivas (granodioritas, monzonitas y dioritas), así como cuarcitas, areniscas, calizas, lutitas, tufos del terciario.

El acuífero es de tipo libre, aunque en sectores se comporta como semiconfinado.

En Perú, el espesor del acuífero varía de 121 a 493 m. según resultados geofísicos, presenta regulares condiciones hidráulicas  $(0,60 - 1,57) \times 10^{-4}$  m/s y se explotan 65 mm<sup>3</sup> al año. La actividad principal en Perú es la agricultura (agroexportación).

El sentido de flujo principal es de Noreste a Suroeste. El gradiente hidráulico varía de 0,2 – 2,22 %.

La zona es altamente deficitaria en recursos hídricos superficiales, por lo cual el abastecimiento se da a partir de las aguas subterráneas, las mismas que actualmente son sobreexplotadas en Perú, ocasionando la intrusión marina y la mineralización de sus aguas.

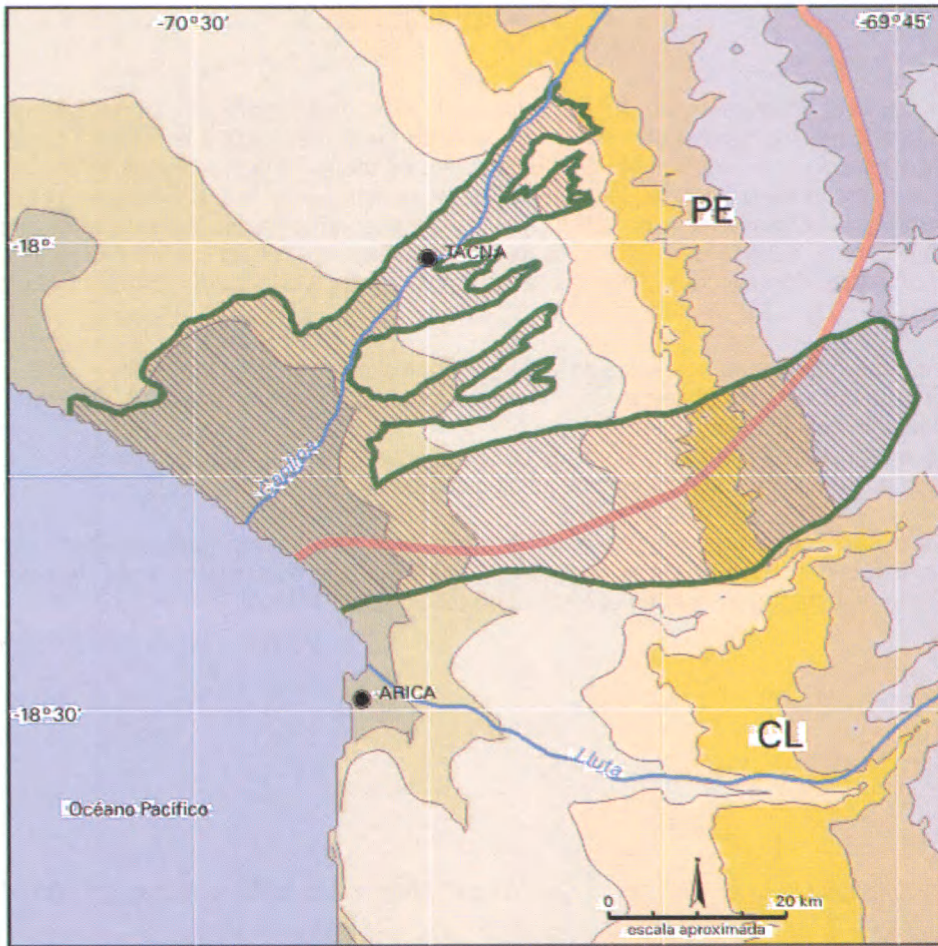
#### Referencias

- *Mapa geológico del río Caplina. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2003.*
- *Mapa geofísico del río Caplina. Escala 1:25,000, INRENA, Perú, 2003.*
- *Estudio Hidrogeológico valle Caplina, INRENA, 2003*
- *Perfil geológico: Estudio Hidrogeológico Valle Caplina INRENA, Perú, 2003.*

#### Autores:

Edwin Zenteno Tupiño, INRENA/Perú.  
Jaime Muñoz Rodríguez, DGA/Chile.

Sistema Acuífero Concordia/Escritos-Caplina  
18S CL-PE



## BRASIL - PARAGUAY

### 19S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO AQUIDAUANA-AQUIDABÁN PARAGUAY-BRASIL

El Sistema Acuífero Transfronterizo Aquidauana-Aquidabán está localizado en la Cuenca hidrológica del Paraná, con una extensión aproximada de 27.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 14.600 km<sup>2</sup> están en Brasil y 12.300 km<sup>2</sup> en Paraguay siguiendo una dirección NE-SO. El Acuífero es un manantial de aguas profundas que es utilizado para abastecimiento humano y animal, tanto en el Paraguay como en el Brasil. El clima es caliente en el verano, con temperatura media aproximada de 32° C, y frío y seco en el invierno, con media de alrededor de 21° C. Precipitación es de alrededor de 1000 a 1500 mm concentrados en el verano. El relieve es aplanado a suavemente ondulado con altitudes entre 400 a 800 m (cuencas y coberturas sedimentares en la Cuenca del Paraná).

El acuífero es semi confinado, constituido por sedimentos con intensa intrusión y variaciones fisiológicas glacial, fluvio-lacustre, con caudales medios extremadamente variables, entre 10 a 20 m<sup>3</sup>/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.

Es un acuífero transfronterizo cuyo uso a corto plazo será fundamental para el abastecimiento humano y permitirá el desarrollo económico de la región. La región agrícola-pecuaria necesita de este recurso para su desarrollo. Parte de esta región esta en el área de protección del Pantanal.

#### Referencias

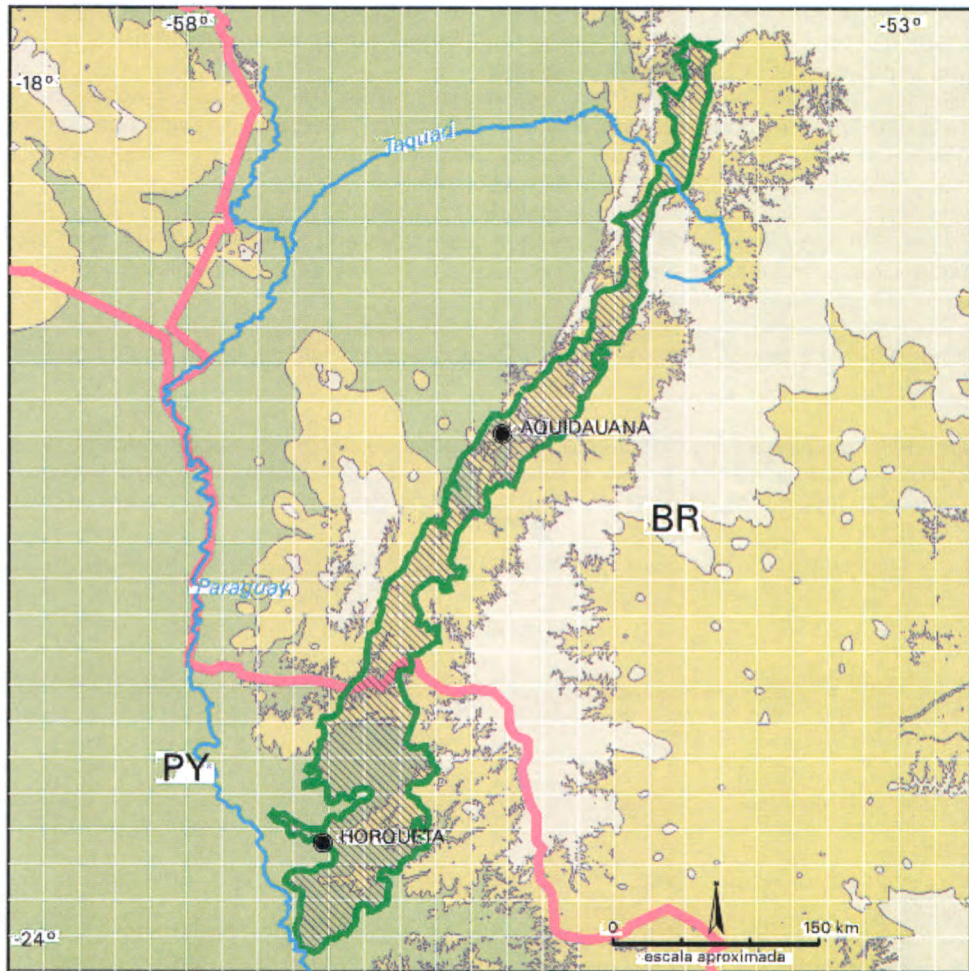
- *Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Mapa Hidrogeológico de Paraguay PAR para 83/005 331005 PNUD-MIN, 1986 en esc. Gráfica CPRM, Gobierno de Paraguay*
- *Mapa Geológica de América del Sur, (medio digital, 2001, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM e CGMW)*
- *Mapa Hidrogeológico del Paraguay escala 1 : 1,000,000, PAR/83/005, PNUD-MIN, 1986*
- *Gonzalez, M.E., Estratigrafía do Grupo Independencia na Area da Falha Coronel Orviedo, Rep. do Paraguay. Diss. Maestrado, Univ. Federal do Rio de Janeiro, 160 p., 2000.*

#### Autores:

Celso Velázquez, Paraguay  
Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Helio J. de Oliveira Júnior, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha, DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani, IG/SP, Brasil

**Colaboradores:** Ana Maria Castillo (MOPC), Santiago Jara, Orlando Oporto (SEAM)

Sistema Acuífero Aquidauana-Aquidabán  
19S BR-PY



## 20S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CAIUÁ/BAURU-ACARAY BRASIL - PARAGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Caiuá/Bauru-Acaray está ubicado en la cuenca hidrográfica del Paraná, ocupando un área de aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup>, en la región noroeste de Paraguay principalmente al norte del Departamento de Canindeyú en la frontera con Brasil, donde se encuentran los Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso del Sur, Goiás y Minas Gerais.

El acuífero es de tipo libre con espesor medio de 200 metros, y está constituido por arenitas finas y gruesas, con alta permeabilidad. Corresponde a los Grupos Caiuá y Bauru en Brasil y Formaciones Acaray en Paraguay. La dirección predominante del flujo es hacia el río Paraná.

El acuífero tiene un alto potencial de explotación con caudales entre 40 y 60 m<sup>3</sup>/h en los Estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, y también en Paraguay. Las aguas son de buena calidad, con ocurrencia de aguas minerales.

Es bien conocido en los Estados de São Paulo y Paraná y poco conocido en el Estado de Mato Grosso do Sul y Paraguay.

Las aguas son utilizadas principalmente para consumo humano, agroindustrial y ganadería. Existe vulnerabilidad a la contaminación por la expansión del uso de fertilizantes y agro tóxicos. El acuífero es de importancia hidrogeológica regional por la buena calidad del agua y alta productividad de pozos (para irrigación, utilización de agua mineral y agro pastoril (en el Paraguay).

### Referencias

- *Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, Escala 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM, 1996*
- *Mapa Geológico de Sur América, medio digital, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM y GMW, 2001*
- *Mapa Hidrogeológico de Paraguay PAR 83/005 PNUD-MIN, 1986 en esc. Gráfica CPRM, Gobierno de Paraguay*

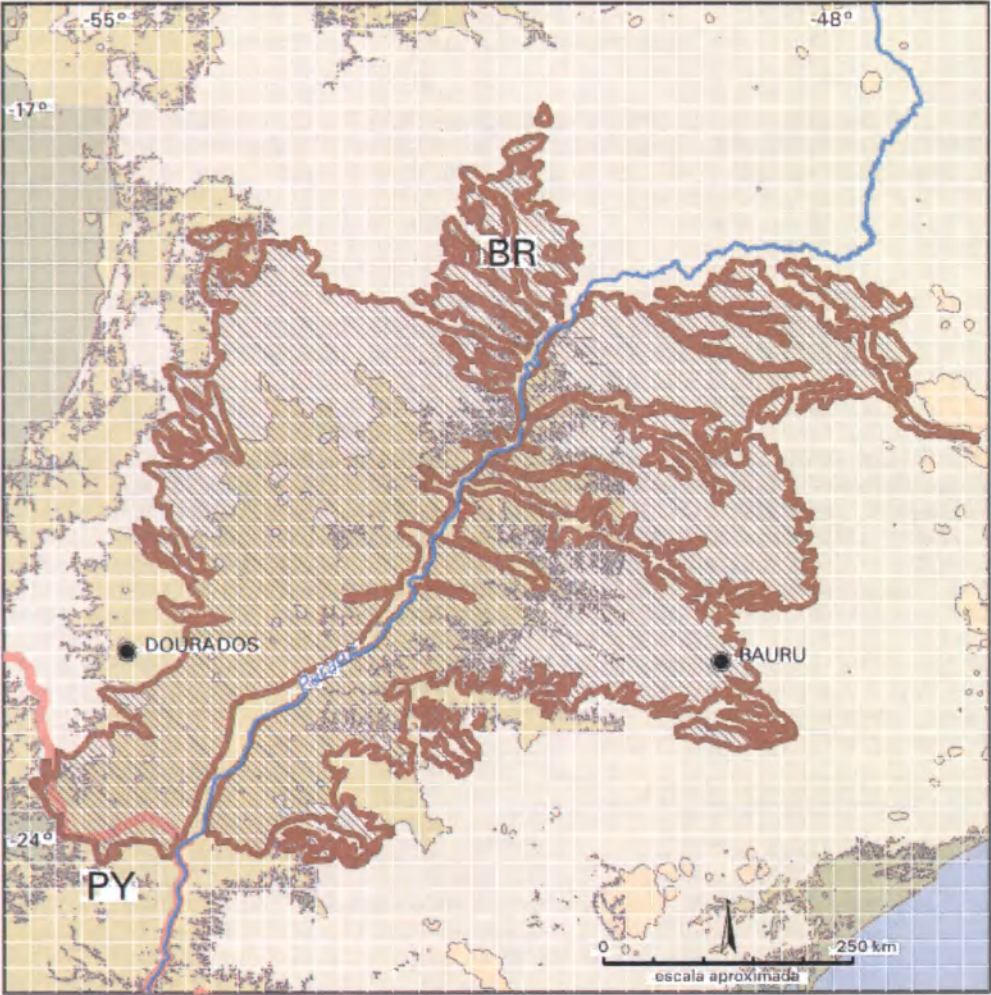
### Autores:

Celso Velázquez, Paraguay  
Julio Tadeu S. Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Cláudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Francis P. V. Hager, SRH/MMA, Brasil  
Helio J. de Oliveira Júnior, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha, DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani, IG/SP, Brasil

**Colaboradores:** Ana Maria Castillo (MOPC), Santiago Jara, Orlando Oporto (SEAM)



Sistema Acuífero Caiuá/Bauru-Acaray  
20S BR-PY



## ARGENTINA – BRASIL – PARAGUAY - URUGUAY

### 21S - SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ - SAG ARGENTINA-BRASIL-PARAGUAY-URUGUAY

El Sistema Acuífero Guaraní se localiza en gran parte del subsuelo de la Cuenca Hidrográfica del Plata. Se extiende desde la cuenca sedimentaria del Paraná hasta la Cuenca Chaco Paranaense. Si bien sus límites y estructura no están aún bien definidos, su extensión aproximada se estima en 1,2 millones de km<sup>2</sup>. Subyace en cuatro países: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. El clima predominante en la región del SAG se caracteriza como húmedo y subhúmedo, con precipitaciones que van desde los 1200 a los 1500 mm/año; en ella habitan alrededor de 20 millones de habitantes. En la actualidad las aguas del SAG son utilizadas principalmente para abastecimiento humano y para la industria; las características termales de sus aguas, en zonas donde el acuífero se encuentra confinado a mayor profundidad por los basaltos mesozoicos, han permitido desarrollos turísticos muy interesantes.

El agua del Sistema Acuífero Guaraní yace en capas arenosas que se han depositado en la cuenca geológica del Paraná desde el Mesozoico (períodos Triásico, Jurásico y Cretácico inferior); entre 200 y 132 millones de años. Las mismas constituyen las formaciones geológicas Pirambóia y Botucatu en Brasil (las primeras formaciones se encuentran con el nombre Buena Vista en Uruguay y las segundas con el nombre Misiones en Paraguay, Tacuarembó/Rivera en Uruguay y en Argentina).

Las áreas de afloramiento ocurren en dos fajas situadas al Oeste y al Este del área de ocurrencia y corresponden aproximadamente al 10% de la extensión total del acuífero, mientras el restante 90% del acuífero es confinado. El espesor medio es de 250 m. El potencial explotable estimado es de 40 km<sup>3</sup>/año. Los caudales de pozos varían entre 60 a 200 m<sup>3</sup>/h en las áreas adyacentes a los afloramientos y de 200 a 400 m<sup>3</sup>/h en las áreas de mayor confinamiento. Las aguas son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas en las áreas próximas al afloramiento y son sódicas en las áreas más profundas. El pH es alcalino y los valores de residuos secos varían de 200 a 600 mg/h. La temperatura varía de 18 a 63° C dependiendo de la profundidad a la que se encuentra el acuífero. Hay sectores en Argentina y Brasil donde el sistema acuífero presenta alta salinidad y condiciones aún sulfatadas y cloruradas.

Hay vacíos de conocimiento fundamentalmente ligado a su estructura y funcionamiento; a su delimitación occidental y a las áreas de descarga así como a la ocurrencia de anomalías hidroquímicas como exceso de flúor en algunos pozos. Las áreas de recarga del acuífero que tienen una importante función en el mantenimiento del equilibrio hidrológico, son las áreas más vulnerables y necesitan específicas medidas de protección.

Este sistema acuífero reviste alta importancia a nivel regional y de cada país, como recurso básico para el desarrollo socio-económico y el funcionamiento de los ecosistemas vinculados.

Desde el año 2002 los cuatro países han convenido trabajar juntos y llevar adelante un proyecto para la gestión sostenible y protección del Sistema Acuífero Guaraní, con cooperación del GEF/Banco Mundial/OEA y la participación de la OIEA y la BGR de Alemania. Su culminación, prevista para febrero del año 2009, aportará mayor conocimiento sobre el SAG: un mapa básico de la región del acuífero sobre el cual se volcará la información georeferenciada, una red de monitoreo en los 4 países, un sistema de información, mapas hidrogeológicos y modelos matemáticos y propondrá un marco de gestión para el SAG coordinado entre los cuatro países. El proyecto inicia asimismo experiencias de gestión local en cuatro áreas piloto con problemas emergentes, y lo hace mediante la estructuración y puesta en funcionamiento de comités locales y el desarrollo de planes para la gestión del SAG en cada ámbito específico.

#### Referencias

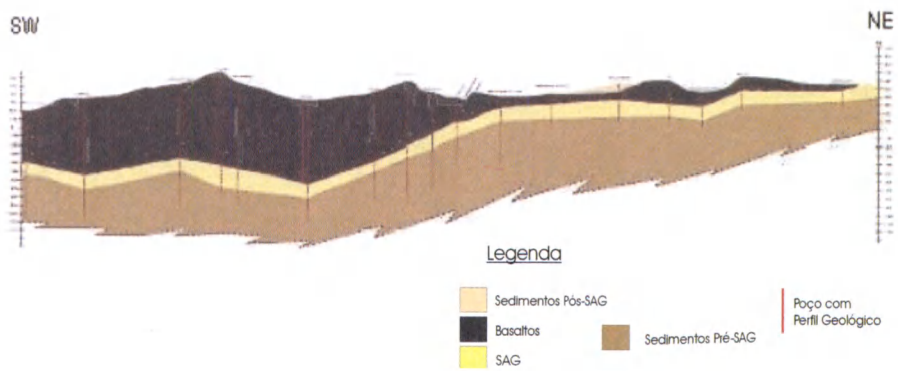
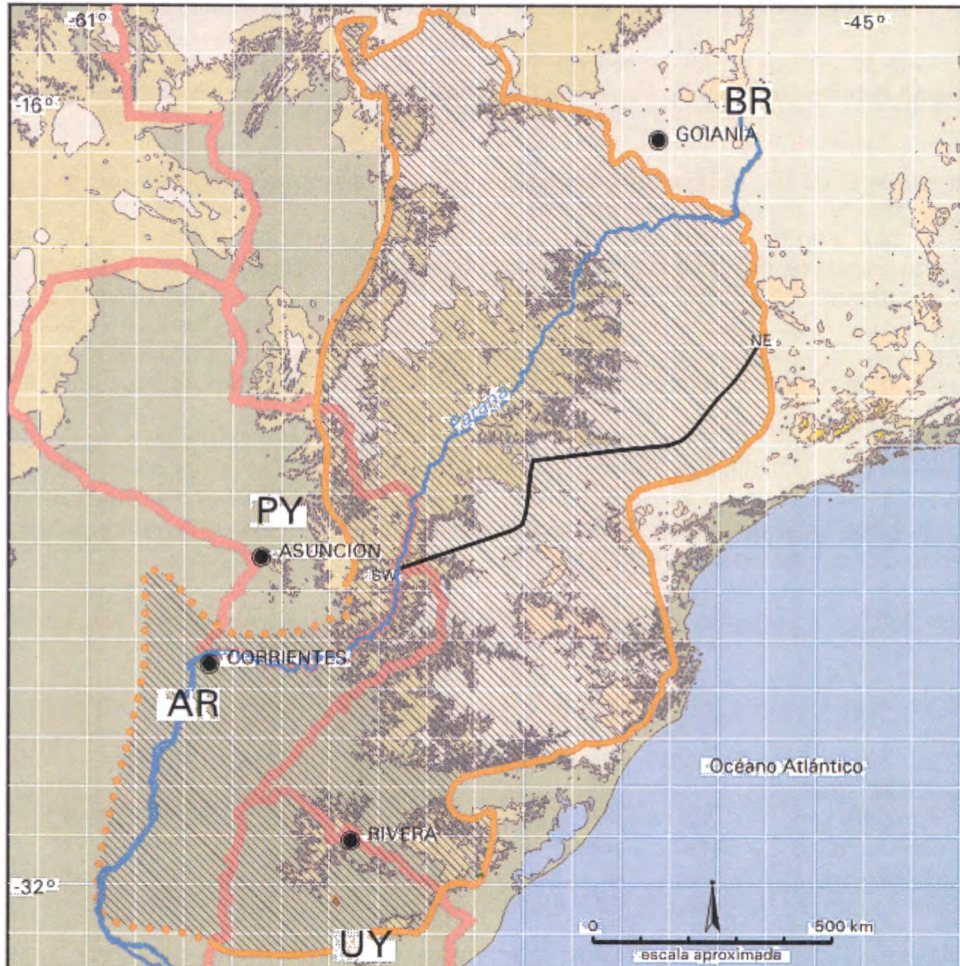
- [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)
- *Mapa Hidrogeológico do Aquifero Guaraní, Campos, H.C, 1999,*
- *Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNP, 1996*
- *Mapa Hidrogeológico del Paraguay, PAR/83/005 E: 1: 1.000.000, PNUD – MDN, 1986*
- *Perfil hidrogeológico: Informe final de pasantía del Dr. Leonardo de Almeida. Programa de Fortalecimiento Institucional del Proyecto Acuífero Guaraní. Consorcio guaraní. Montevideo 2006.*
- *Texto suministrado por el Secretario del Acuífero Guaraní.*

#### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL/CONICET, Argentina  
Julio Thadeu Kettelhut, SRH/MMA, Uriel Duarte-ABAS, Gerencio Rocha-DAEE/SP, Mara Akie Iritani, IG/SP, Adriana Ferreira, Fabricio Cardoso, Helio Oliveira, Claudia Lima-SRH/MMA, Francis P.V. Hager-SRH/MMA, Brasil  
Celso Velásquez, Paraguay  
Juan Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay  
Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (GEF/ Banco Mundial/ OEA).

**Colaboradores** Argentina: Marta Paris, UNL, Mario Hernández, CONICET; Paraguay: Ana Maria Castillo, MOPC, Santiago Jara y Orlando Oporto SEAM, Wilfrido Castro, Consultor, Félix Carvallo, SENASA; Uruguay: DINAMIGE OSE.

**Sistema Acuífero Guaraní  
21S AR-BR-PY-UY**



Fuente: Base de Datos Hidrogeológicos Proyecto SAG



## 22S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SERRA GERAL BRASIL-ARGENTINA-PARAGUAY-URUGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Serra Geral abarca todo el planalto Paranaense y se extiende por la frontera de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay. El área es aproximadamente de 540.000 km<sup>2</sup>.

El sistema está localizado en la cuenca del Río de la Plata y es muy utilizado en los cuatro países para abastecimiento humano, industrial e irrigación. Es intensamente explorado, sin conocimiento del mecanismo de recarga.

El sistema acuífero, de tipo libre a semi confinado, está constituido por derrames de lavas basálticas de tipo fracturado, y abarca las formaciones del Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) y Arapey (AR y UY). Está intensamente explotado por pozos profundos, variando de 80 a 100 m de profundidad.. Los caudales de los pozos son muy variables, debido a las características fracturadas, con fajas de caudales de 10 a 100 m<sup>3</sup>/h. Las aguas son bicarbonatadas cálcico-sódicas. En algunas áreas presentan altos contenidos salinos. El clima de la región es de húmedo a semi húmedo, con precipitaciones medias anuales entre 1.200 y 1.500 mm.

En los cuatro países falta información, en particular acerca del proceso de recarga para el control de la explotación.

La explotación de este acuífero para abastecimiento público e industrial es alta y tiene un gran potencial turístico. Además se considera importante para la conservación del ecosistema dependiente, ya que también garantiza el flujo de base de los ríos de la región. Se infiere una conexión hidráulica probable con el acuífero transfronterizo Guaraní en los bordes de la cuenca.

### Referencias

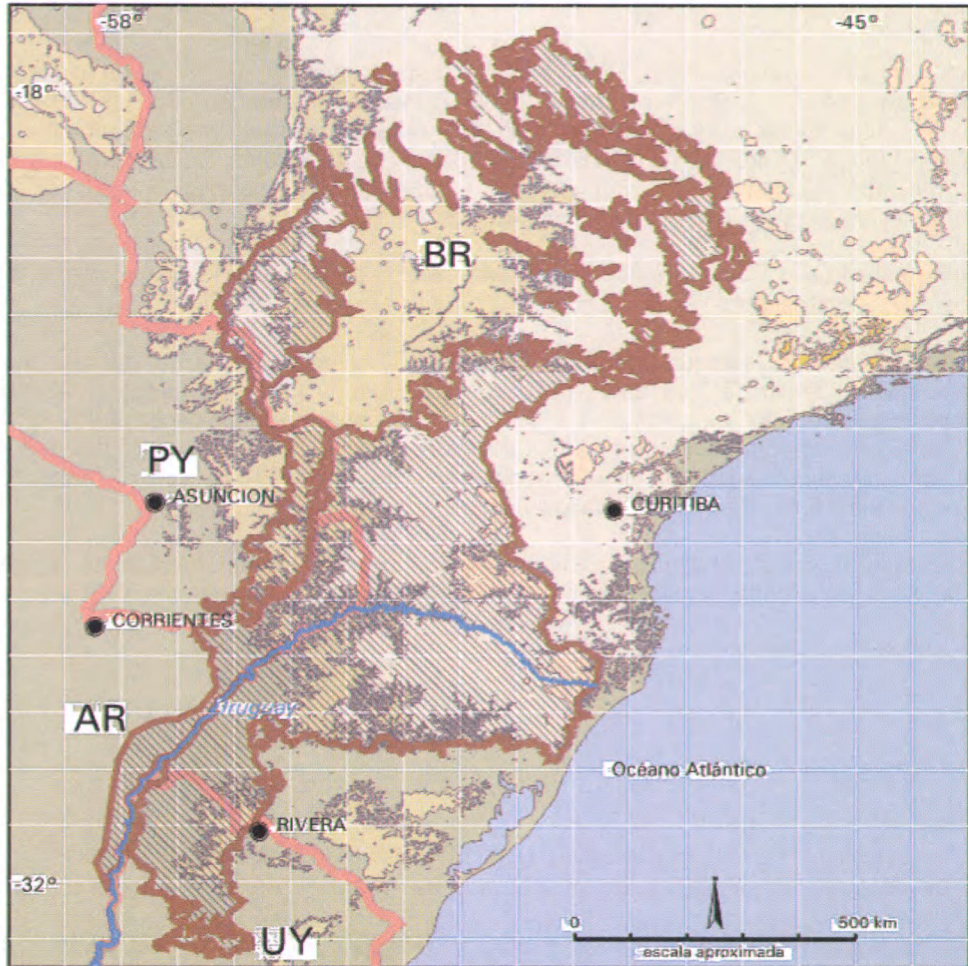
- *Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, Escala 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM, 1996*
- *Mapa Geológico de Sur América, medio digital, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM y GMW, 2001*
- *Mapa Hidrogeológico de Paraguay PAR 83/005 E: 1: 1.000.000, PNUD-MDN, , 1986*

### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL/CONICET, Argentina  
Julio Thadeu Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha, DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani, IG/SP, Brasil  
Celso Velásquez, Paraguay  
Juan Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay:

**Colaboradores:** Argentina: Mario Hernández (CONICET), Adrián Silva Busso (INA); Brasil: Francis P.V. Hager, Helio Oliveira (SRH/MMA); Paraguay: Ana Maria Castillo (MOPC), Santiago Jara y Orlando Oporto (SEAM); Uruguay: DINAMIGE / OSE.

Sistema Acuífero Serra Geral  
22S AR-BR-PY-UY





## BRASIL – URUGUAY

### 23S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO LITORÁNEO-CHUY BRASIL - URUGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Litoráneo-Chuy está localizado en la región litoral del Atlántico Sur abarcando el extremo Sur de Brasil y Nordeste del Uruguay, con un área de alrededor de 41.000 km<sup>2</sup>, estando 8.000 km<sup>2</sup> en Uruguay y 33.000 km<sup>2</sup> en Brasil. La región presenta una topografía plana a levemente ondulada y de baja altitud (de 5 a 10 metros), con ciudades importantes como Pelotas, Santa Victoria do Palmar y Chuy. El clima es templado húmedo, con lluvias durante todo el año, índice pluviométrico de 1.250 mm/año, y temperatura máxima superior a 22° C y mínima superior a 3° C.

Este acuífero es utilizado principalmente para abastecimiento público, residencial y turismo, seguido de un uso agrícola para el cultivo del arroz.

Es de tipo libre, poroso, intergranular y no consolidado y está constituido por arenas finas y gruesas presentando niveles argilosos. Los datos de pozos en Uruguay muestran espesor alrededor de los 30 m, estimándose una explotación de cerca de 1,1 h/m<sup>3</sup>/año. Su valor específico oscila alrededor de los 1,2 m<sup>3</sup>/h/m, pudiendo alcanzar hasta 5m<sup>3</sup>/h/m, con residuos secos de 450 mg/l en media, dado que sus aguas en la parte uruguaya son normalmente bicarbonatadas sódicas y cloradas sódicas, con ph de alrededor de 6,5. La dirección regional del flujo es hacia el Océano Atlántico.

Es una importante fuente de abastecimiento para la población. Abarca un complejo de lagunas, entre éstas la Laguna Merim siendo importante para mantener el equilibrio ecológico.

#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico de Uruguay, escala 1:1.000.000. DINAMIGE, 2003*
- *Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, Escala 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM, 1996*
- *Mapa Geológico de Sudamérica, medio digital, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM y GMW, 2001*

#### Autores:

Julio Thadeu Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha, DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani, IG/SP, Brasil  
Juan Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay

**Colaboradores:** Brasil: Francis P.V. Hager, Helio liveira (SRH/MMA); Uruguay: DINAMIGE OSE.

Sistema Acuífero Litoráneo-Chuy  
23S BR-UY



## 24S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PERMO-CARBONÍFERO BRASIL - URUGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Permo-Carbonífero está localizado en la cuenca hidrográfica del río Uruguay, con un área de 41.000. km<sup>2</sup>, siendo 20.000 km<sup>2</sup> de Uruguay y 21.000 km<sup>2</sup> de Brasil. Aflora una porción en la parte Sur de Brasil y Nordeste de Uruguay, entre las coordenadas 52º y 56º O y 30º a 34º S, tiene continuidad en superficie en la porción Este de estas áreas. La región es conocida como Depresión Central Gaucha, constituyendo un área sin grandes variaciones altimétricas, las mayores alturas se sitúan en torno a los 200 m, con formas de relieve conocidas como coxilhas (pequeños cerros: formas amplias y alargadas de topos convexos o planos, cuyos laderas caen suavemente en dirección a los valles). El clima es templado húmedo, con lluvias durante todo el año, e índice pluviométrico de 1.500 mm/año, y temperatura máxima superior a 22º C y mínima superior a 3º C.

El acuífero es de tipo poroso intergranular, no consolidado y consolidado, y con baja productividad en el Uruguay, con caudales inferiores a 0,5 m<sup>3</sup>/h y con capacidad específica media de 0,3 m<sup>3</sup>/h/m y en el Brasil con caudales medios entre 0,6 y 4,5 m<sup>3</sup>/h. Están incluidas las unidades permo-carboníferas Tres Islas, en el Uruguay, estando constituidas de areniscas finas a medias con niveles de arenas gruesas y cascajo, con cimentación argilosa, en Itararé, Río Bonito, Palermo, Iratí y Estrada Nova, en el Brasil.

En cuanto a la calidad de los datos, en Uruguay se registran valores de Sólidos Totales Disueltos en torno a los 800 mg/l, llegando a 3000 mg/l. Los flujos corren probablemente del área de afloramiento hacia la porción confinada Oeste, pero son necesarios estudios para la caracterización de esta unidad acuífera.

Con base en los datos existentes y en una evaluación de las características litológicas se puede inferir que el acuífero existente en las unidades permo-carboníferas presentan bajo potencial, pero pueden tener un papel importante en el abastecimiento doméstico de pequeñas poblaciones.

### Referencias

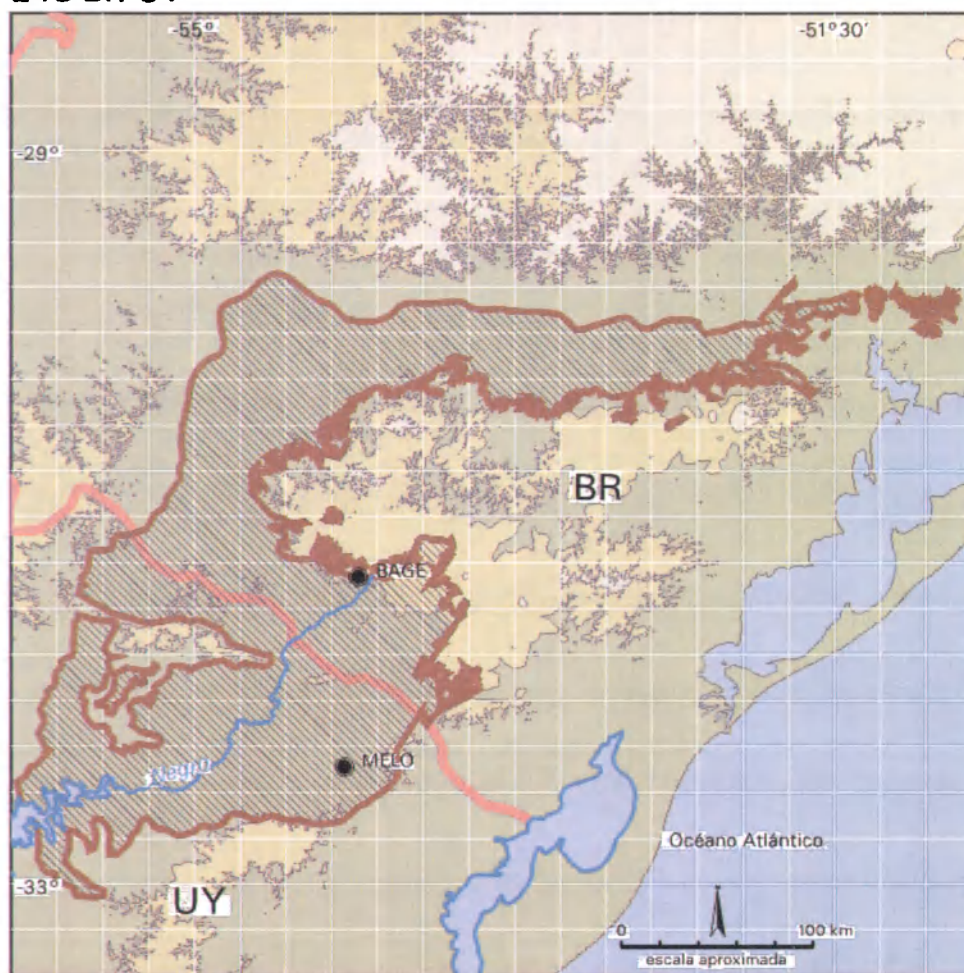
- *Mapa Hidrogeológico de Uruguay, escala 1:1.000.000. DINAMIGE, 2003*
- *Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes, Escala 1:2.500.000, MERCOSUR, 1998*
- *Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, UNESCO, CPRM, DNPM, 1996*
- *Mapa Geológico de Sudamérica, medio digital, Escala 1:5.000.000, CPRM, DNPM, UNESCO, CCGM y GMW, 2001*

### Autores:

Julio Thadeu Kettelhut, SRH/MMA, Brasil  
Adriana N. P. Ferreira, SRH/MMA, Brasil  
Fabrício B. F. Cardoso, SRH/MMA, Brasil  
Claudia F. Lima, SRH/MMA, Brasil  
Geroncio A. Rocha, DAEE/SP, Brasil  
Mara Akie Iritani, IG/SP, Brasil  
Juan Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay

**Colaboradores:** Brasil: Francis P.V. Hager, Helio Oliveira (SRH/MMA); Uruguay: DINAMIGE/ OSE.

Sistema Acuífero Permo-Carbonífero  
24S BR-UY



## ARGENTINA - URUGUAY

### 25S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO LITORAL CRETÁCICO ARGENTINA-URUGUAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Litoral Cretácico está ubicado en ambas márgenes del Río Uruguay (parte centro-occidental de Uruguay y parte centro-oriental de la provincia de Entre Ríos de Argentina). Corresponde a una región con un paisaje ondulado, de clima húmedo con precipitaciones medias de 1200 mm, y de abundante vegetación natural.

La población es de aproximadamente medio millón de habitantes y la demanda de agua es para abastecimiento humano, ganadería y riego.

En total el área del sistema acuífero es de 40.000 km<sup>2</sup>; la mayor superficie de afloramiento ocurre en el territorio de Uruguay, profundizándose hacia el Oeste y disminuyendo su espesor hacia el Norte. Se trata de una secuencia sedimentaria compuesta por las formaciones Puerto Yerua en Argentina y las formaciones Mercedes y Asensio en Uruguay, correspondiendo la litología a areniscas conglomerádicas en la base y areniscas finas a medias intercaladas con limos hacia la cima, totalizando espesores de hasta 150 m. Es común la presencia de procesos de silificación y ferrificación en los sedimentos. El área de recarga del sistema se localiza fundamentalmente en el lado uruguayo. La conductividad eléctrica de las aguas oscila entre 400 en Uruguay y 1400 en Argentina ohms/cm. y ph entre 7.3 y 7.5.

En general las aguas son aptas para las demandas relativas al abastecimiento humano, la ganadería y el riego.

El sistema acuífero reviste importancia regional, dado que abastece un área de demanda creciente ligada al desarrollo económico en uso consuntivo.

Tomando en cuenta la importancia del recurso, se considera necesario encaminar acciones conjuntas para un mejor conocimiento, gestión y protección del sistema.

#### Referencias

- *Mapa Hidrogeológico a escala 1/1:000.000 República Oriental del Uruguay – DINAMIGE (2003)*

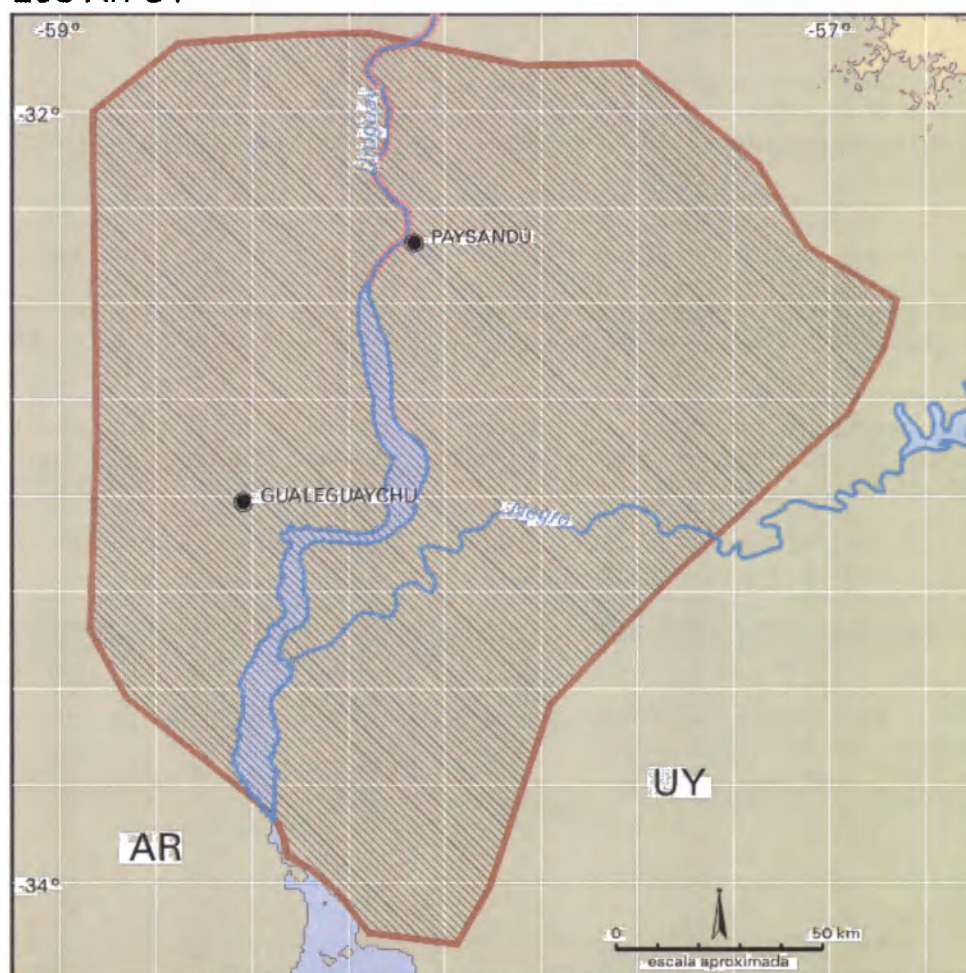
#### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL-CONICE, Argentina  
Juan Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay

**Colaboradores:** Argentina: Eduardo Díaz; Uruguay: Lourdes Rocha, Malena Pessi (OSE), Alejandro Arcelus, Lourdes Batista (MTOP/DNH), Enrique Massa (DINAMIGE)



Sistema Acuífero Litoral Cretácico  
25S AR-UY



**26S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO SALTO-SALTO CHICO  
URUGUAY-ARGENTINA**

El Sistema Acuífero Transfronterizo Salto-Salto Chico está ubicado al Noreste y Centro de las provincias de Entre Ríos y Corrientes en Argentina, al Oeste de los Departamentos de Salto y Artigas en Uruguay. El paisaje es ondulado con abundante vegetación natural. Corresponde a una región de clima húmedo con precipitaciones medias de 1200 mm.

En el área habitan unas 500.000 personas 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 km<sup>2</sup>.

El acuífero se encuentra alojado en las formaciones Salto en Uruguay y Salto Chico en Argentina. Las litologías corresponden a areniscas medias hasta gruesas, de origen fluvial y edad terciaria, exhibiendo cimentación por silización 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 mm<sup>2</sup>/día y la permeabilidad de 43 m/día.

Las aguas son de muy buena calidad, del tipo bicarbonatadas sódicas. La extracción del lado argentino registra 200.000.000 m<sup>3</sup>/año, preferentemente para riego de arroz.

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

Existe interés de ambos países para complementar y acordar acciones tendientes a garantizar el mantenimiento de la calidad y cantidad disponible en el acuífero.

**Referencia**

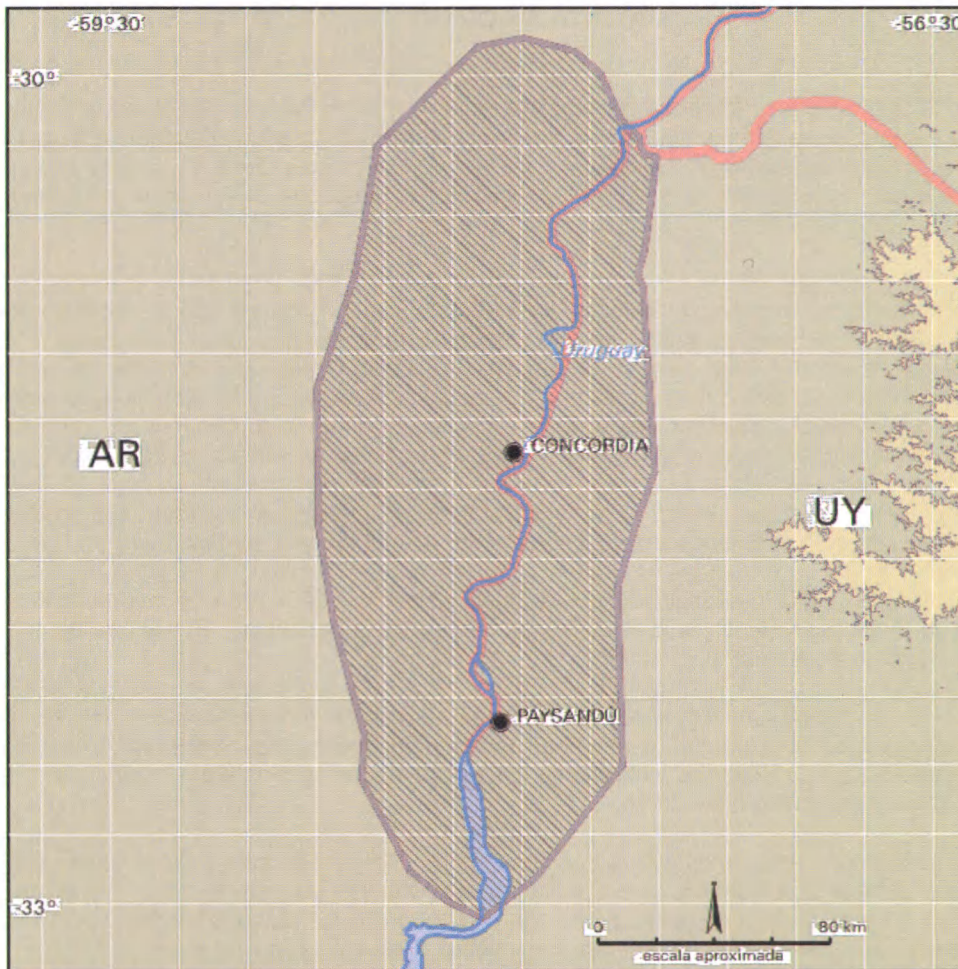
- *Georeferenciación: Coordenadas de referencia: Gauss Kruger Sistema: WGS84*

**Autores:**

Ofelia Tujchneider, UNL-CONICET, Argentina  
Juan J. Ledesma, MTOP/DNH, Uruguay

**Colaboradores:** Argentina: Eduardo Luis Díaz – UNER; Uruguay: Alejandro Arcelus, Enrique Massa, DINAMIGE, Lourdes Batista, DNH.

Sistema Acuífero Salto-Salto Chico  
26S AR-UY



## ARGENTINA – BOLIVIA

### 27S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO PUNEÑOS ARGENTINA-BOLIVIA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Puneños está ubicado en la región de Puna en Argentina y en el Altiplano Boliviano. La puna se encuentra enmarcada por la cordillera volcánica occidental, compuesta por grandes estratovolcanes que superan los 5.000 m de altura y las sierras tectónicas del Este que la separan de la quebrada de Humahuaca. La zona presenta altos topográficos, depresiones endorreicas, con altitudes que varían desde los 3000 a 4.500 m.s.n.m.

La puna se caracteriza además, por la presencia de serranías de edad paleozoica, formadas por rocas ordovícicas de origen marino del tipo flysch turbidítico (con abundancia de vetas de cuarzo aurífero) y fosas en subsidencia que en sus depocentros contienen salares, salinas y lagunas. Las fosas principales son: la que contiene los salares de Cauchari – Olaroz, la de Guayatayoc - Salinas Grandes, portadores de depósitos de evaporitas económicas, y la fosa que contiene la laguna de pozuelos. Acompañando a los bloques paleozoicos, fallados, basculados e inclinados, aparecen adosados a sus flancos jirones de sedimentitas terciarias cuya naturaleza es "red-beds". También se tiene la presencia de acuíferos en rocas volcánicas fracturadas.

La altitud de las partes deprimidas de la Puna, no es menor a 3.800 m, elevándose los cordones de 800 a 1.300 m sobre el fondo de los valles. El perímetro es aproximadamente de 465 km y el área es de 16.000 km<sup>2</sup>.

La zona está representada por la presencia de poblaciones aisladas, que utilizan el recurso agua para su subsistencia y crianza de ganado ovino y auquénidos, así como para la agricultura. El área es de clima árido, con precipitaciones menores a 100 mm/ año.

El sistema acuífero, de tipo libre a semiconfinado, se aloja en materiales aluviales cuaternarios formados por abanicos aluviales de granulometría gruesa a muy fina, generalmente relleno de fosas tectónicas, las cuales tienen relación con las cuencas de Pozuelos y Miraflores. La calidad del agua varía entre buena y muy buena, y se observa una explotación incipiente del recurso.

Por estar ubicado en una de las áreas más áridas del mundo, el acuífero es de gran importancia regional como fuente de agua dulce para la vida humana y el ecosistema dependiente de este recurso. Sin embargo está sujeto a afectación por labores de minería, siendo ésta una de las principales actividades del área. La población nativa local utiliza las aguas subterráneas para su abastecimiento y ganadería de camélidos.

#### Referencias

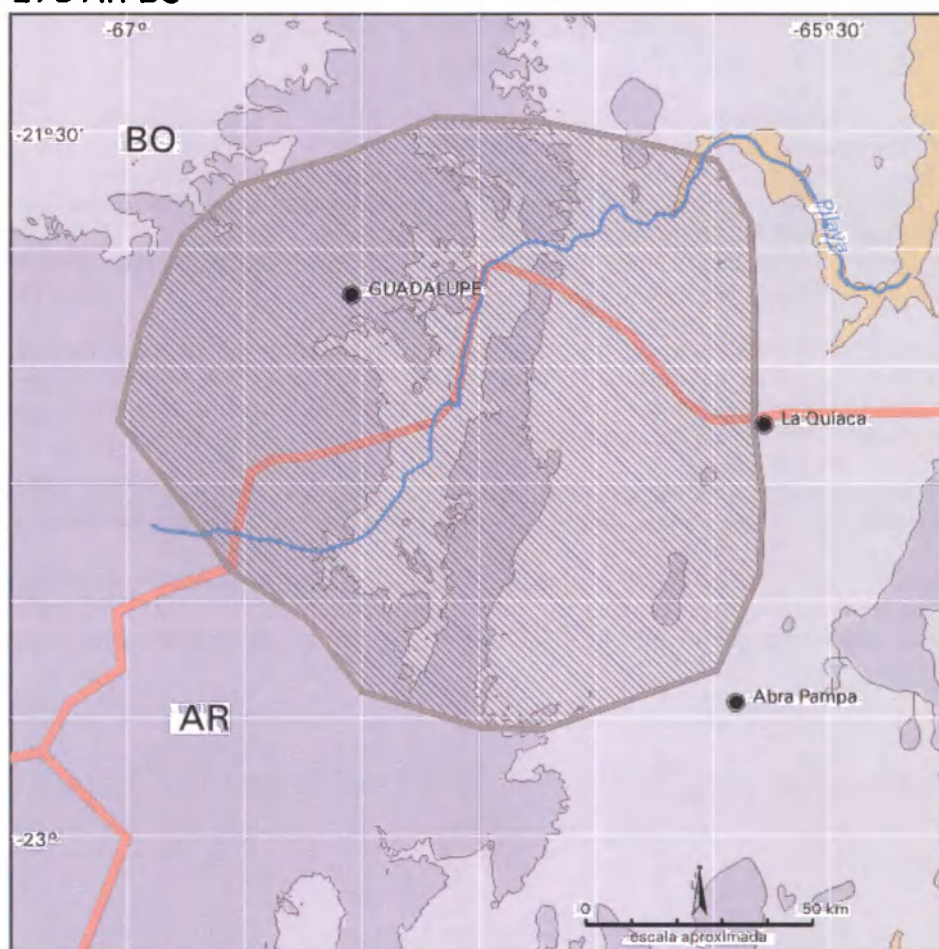
- Filiti Mario F & Tujchneider Ofelia. 1990.- *Geohydrological Aspects of the Holocene in Argentina. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 7. Selected Paper: 261-272. Ed: A.A. Balkema. Rotterdam.
- *Mapa Hidrogeológico de Bolivia Esc: 1:2.500.000 SERGEOMIN*

#### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL/CONICET, Argentina  
Juan Torres, SERGEOMIN, Bolivia



Sistema Acuífero Puneños  
27S AR-BO





## ARGENTINA – BOLIVIA – PARAGUAY

### 28S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO PARAGUAY-ARGENTINA-BOLIVIA

El Sistema Acuífero Transfronterizo Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT) se encuentra ubicado al Noroeste de Argentina, Oeste de Paraguay y Suroeste de Bolivia. Se extiende desde la parte oriental de la cordillera hasta el área de la llanura Chaco – Pampeana. La población es de aproximadamente 400.000 habitantes, que utilizan el recurso para uso humano, riego y ganadería en general. Los principales ríos superficiales en Bolivia son Pilcomayo, Bermejo, San Telmo, Salado, Grande de Tarija, Guadalquivir.

El área de la cuenca es de aproximadamente 1.000.000 km<sup>2</sup>. La región presenta características climáticas variadas, desde sub-húmeda hasta semiárida.

El reservorio lo constituyen sedimentos terciarios y cuaternarios. Se observan evidentes efectos de tectónica y neotectónica. El sistema acuífero es multi-capa, con un acuífero libre al que infrayacen un número no determinado de capas semiconfinadas a confinadas. Hay alternancia de capas de agua dulce con otras que contienen agua de alta salinidad. En las áreas de descarga hay presencia de humedales.

Es un sistema de gran importancia regional por las expectativas de una región con extrema escasez de agua en clima semi-árido. Además, su manejo podría integrar y favorecer una gestión sostenible del uso de la tierra.

Los tres países han elaborado en el 2005 una propuesta de proyecto al Fondo para el Medio Ambiente Mundial – GEF dentro del Programa Marco de la Cuenca del Plata (Proyecto CIC/GEF/PNUMA/OEA), para profundizar el conocimiento y propiciar la gestión conjunta focalizada en problemas de desertificación y adaptación al cambio climático.

#### Referencias

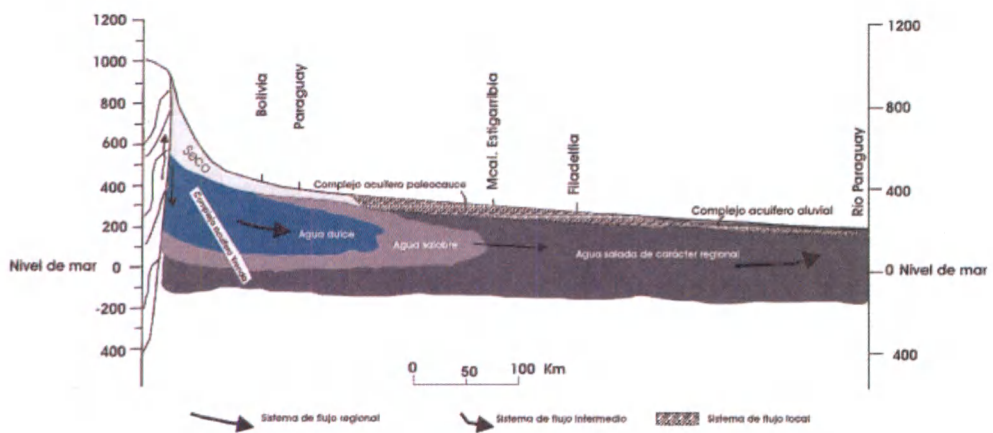
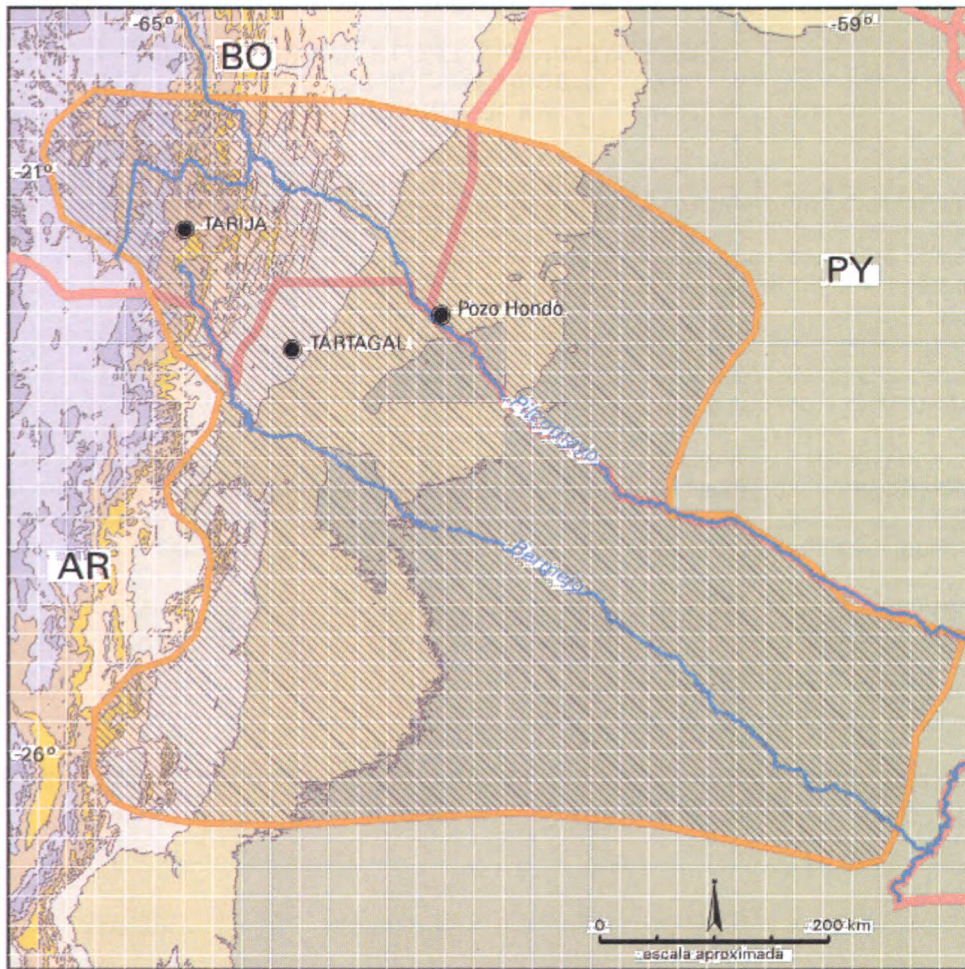
- *Georeferenciación: Coordenadas de referencia: Gauss Krüger Sistema: WGS84*
- *Estudio Hidrogeológico del Chaco Tarijeño de Bolivia, R. Pasig, SERGEOMIN*
- *Mapa Hidrogeológico de Bolivia. Esc: 1:2.500.000*
- *Godoy, E. Investigación de los recursos hídricos en el Chaco, 1er Simposio de Agua Subterránea y Perforación de Pozos, 1991.*
- *Ríos Otero, J.L. Informe Nacional Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño, Paraguay. UNESCO/OEA/ISARM Américas. Asunción, Paraguay, p.36, 2004.*

#### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL/CONYCEP, Argentina  
Juan Torres Fernández, SERGEOMIN, Bolivia  
Celso Velásquez/Paraguay

**Colaboradores:** Paraguay: Carlos Centurión, DRH Gobernación de Boquerón, Ana María Castillo, MOPC, Santiago Jara, Orlando Oporto, SEAM.

**Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño**  
**28S AR-BO-PY**



Fuente: SAYTT, 2004

## ARGENTINA – CHILE

### 29S - SISTEMA ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO EL CÓNDOR-CAÑADÓN DEL CÓNDOR ARGENTINA-CHILE

El Sistema Acuífero Transfronterizo El Cóndor-Cañadón del Cóndor se encuentra ubicado sobre el Estrecho de Magallanes en latitud 62° S y longitud 69° O. Se considera uno de los acuíferos más australes del mundo, ubicado en un área de condiciones climáticas extremas, con poca población pero con una importante actividad extractiva petrolera. En la actualidad el agua es insumo básico de la actividad petrolera para recuperación secundaria.

En Argentina, el perímetro de este sistema acuífero es de aproximadamente 318 km y su área es de 5.490 km<sup>2</sup>. Está constituido por depósitos fluvio-glaciales y glaciales de meseta de edad Pleistocena sub Holocena. Subyacen arenas y gravas de la formación Santa Cruz (Mioceno Superior) y arenas con intercalaciones pelísticas y gravas de la Formación Magallanes (Eoceno). El sistema hidrogeológico presenta un acuífero freático (Pleistoceno, sub.-Holoceno) en un semiconfinado (formación Santa Cruz) y otro inferior (Formación Magallanes). La recarga es directa para el acuífero freático, mientras es indirecta para el acuífero semiconfinado. Presenta una relación interfacial agua dulce/agua salada sensible a los caudales de explotación.

La información es limitada. Sería importante obtener el detalle de ubicación de las perforaciones, los caudales extraídos y la evaluación de calidad del agua.

El sistema acuífero es de importancia regional; no solamente sirve de soporte a la actividad petrolera, sino también a las comunidades locales, que la utilizan para la ganadería y consumo humano.

Se considera un valioso recurso de agua dulce en riesgo de afectación por la actividad antrópica y se sugiere la gestión conjunta de los dos países para su adecuada protección.

#### Referencia

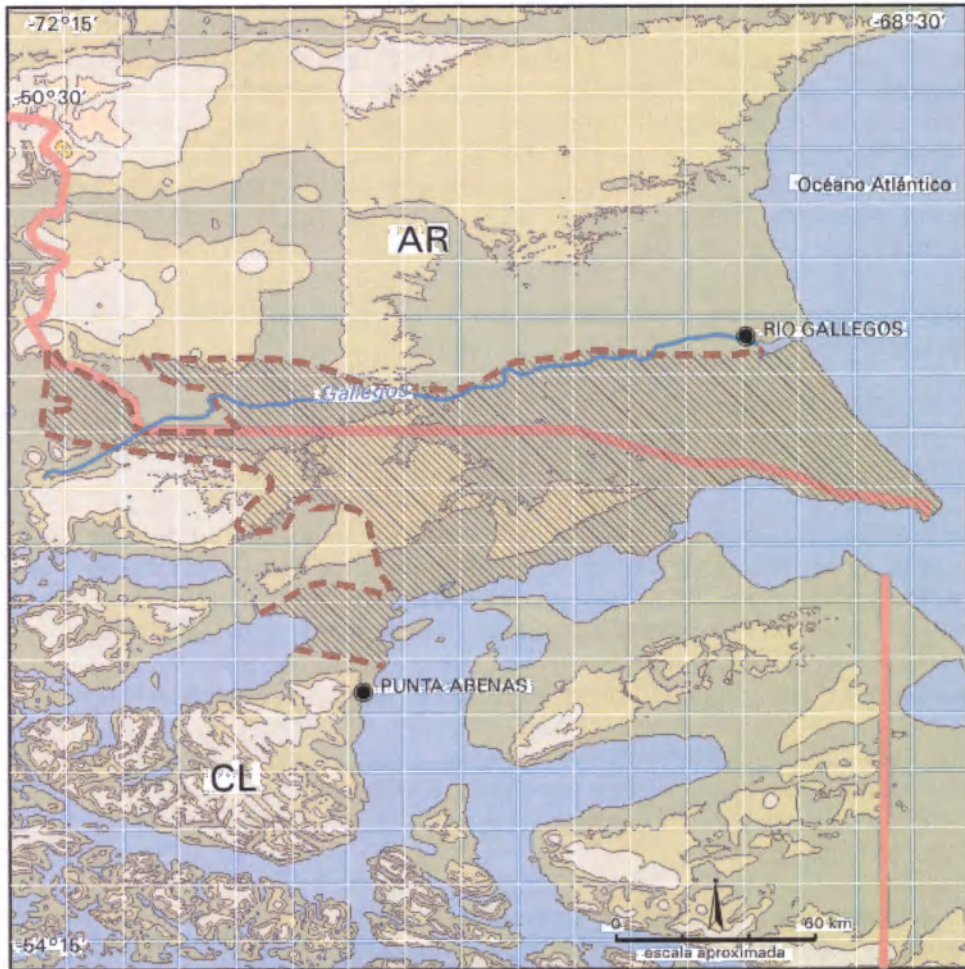
- *Estudio Catastro y Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos XII región (Gobierno Regional XII R - DGA 1991) Ayala y Cabrera.*

#### Autores:

Ofelia Tujchneider, UNL/CONICET, Argentina  
Jaime Muñoz, DGA, Chile

**Colaboradores** Argentina: Mario Hernández, CONICET, Nilda González, Carlos Scatizza, Universidad de La Plata

Sistema Acuífero El Cóndor-Cañadon del Cóndor  
29S AR-CL





## 6. SINTESIS DEL CONOCIMIENTO REGIONAL

Lo expuesto en los capítulos anteriores muestra la tarea desarrollada por el Programa UNESCO/OEA ISARM Américas durante el período 2003 – 2006. Esta labor permitió arribar a un adecuado soporte de conocimiento científico de los sistemas acuíferos transfronterizos. Los mismos se presentan en climas diversos, con rasgos geológicos y estructurales peculiares. En la mayoría de los casos se requerirá profundizar en el conocimiento de su funcionamiento para asegurar una adecuada gestión y protección. Obviamente, no todos estos sistemas tienen la misma importancia ni prioridad desde el punto de vista de su uso, explotación y desarrollo. El inventario actual permite priorizar la atención sobre aquellos sistemas acuíferos transfronterizos, en función de su importancia geopolítica y socio-económica.

Un análisis preliminar de los sistemas acuíferos de las Américas ha identificado tres tipos principales de sistemas:

- locales y poco profundos
- con estructura hidrogeológica compleja
- de gran extensión, a nivel de cuenca

Los sistemas del primer tipo, en principio, necesitarían solamente una estrategia de gestión local para su explotación y protección. Para el segundo tipo, es necesaria una cooperación entre los países para definir las características de los sistemas con mayor detalle, la identificación de los recursos que pueden ser explotados, y los ecosistemas relacionados a estos recursos. En la gestión de los sistemas del tercer tipo, se debe dar un enfoque particular a la definición de las características de recarga y almacenamiento.

De los resultados obtenidos hasta el presente, surgen claramente algunas premisas en torno a las acciones principales que, se considera, podrán ser tomadas en cuenta al momento de encarar la elaboración de modelos de gestión y protección de sistemas acuíferos transfronterizos. Ellas son:

- cooperación y colaboración, entre los países que comparten el recurso, en aspectos científicos y técnicos. Esta cooperación se puede dar aun en ausencia de marcos legales – sobre el principio de igualdad, libre intercambio de información y uso racional del recurso;
- consideración del rol de los sistemas acuíferos transfronterizos de las Américas en el marco de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, en particular con respecto a los recursos naturales transfronterizos;
- ejecución por etapas, de un diagnóstico para el conocimiento del estado actual de los sistemas acuíferos y consecuente implementación de un plan de gestión del recurso. Para esto es necesario que los países mantengan un alto nivel de comunicación e intercambio de datos e información entre científicos, técnicos y gestores del recurso. De igual modo, se requiere la participación pública y de representantes políticos y diplomáticos, para generar conciencia sobre la importancia de una gestión conjunta de los sistemas de aguas subterráneas transfronterizas.



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de los primeros cuatro años (2003-2006) del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas (Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas), los 24 países de la región que comparten sistemas acuíferos transfronterizos eligieron a sus Coordinadores Nacionales y prepararon inventarios de los sistemas acuíferos identificados, los cuales, en 2006, alcanzan el significativo número de 68, distribuidos así: 17 en Norteamérica, 4 en el Caribe, 18 en Centroamérica y 29 en Sudamérica.

Los sistemas acuíferos transfronterizos que han sido identificados en el inventario preliminar en las Américas, dan una buena base para considerar algunos de los temas más significativos que afectan la gestión ambiental sostenible y la necesidad de ampliar los estudios para conocer mejor los sistemas. Durante el desarrollo del inventario de los sistemas acuíferos transfronterizos de las Américas, como paso previo a la evaluación de recursos hídricos subterráneos en la región, se pudo comprobar la capacidad de los países que comparten acuíferos de trabajar unidos cuando hay una necesidad urgente y de colaborar antes de iniciar un programa de desarrollo mayor. El presente inventario permitirá a los países priorizar el nivel de atención y el nivel de inversión a implementar con el fin de lograr una sostenibilidad ambiental a través de una buena gestión de los recursos.

Entre las recomendaciones definidas por los países están los “casos de estudio” de diversos sistemas acuíferos en regiones semiáridas, húmedas, de montaña y urbanas de las Américas. Los casos de estudio recomendados ya iniciados son:

- Sistema acuífero transfronterizo Guaraní, Argentina-Brasil-Paraguay-Uruguay
- Sistema acuífero transfronterizo Bolsón del Hueco-Valle de Juárez, México-EUA
- Sistemas acuíferos transfronterizos Artibonito y Masacre, Haití-República Dominicana
- Sistema acuífero transfronterizo Yrenda-Toba-Tarijeño, Argentina-Bolivia- Paraguay

Está previsto también que se comience en el 2007 con los siguientes:

- Sistema acuífero transfronterizo Pantanal, Bolivia-Brasil-Paraguay
- Sistema acuífero transfronterizo Ostúa-Metapán, El Salvador-Guatemala

Además, fueron identificados como potenciales casos de estudio los siguientes:

- Sistema acuífero transfronterizo Zarumilla, Ecuador-Perú
- Sistema acuífero transfronterizo Estero Real-Río Negro, Honduras-Nicaragua

Las principales recomendaciones surgidas a partir de los talleres y que deberán ser implementadas por el Programa UNESCO/OEA ISARM Américas a partir del 2007, son:

- Complementación del inventario de los sistemas acuíferos transfronterizos en las Américas.
- Diagnóstico del marco legal e institucional de los países que comparten sistemas acuíferos transfronterizos en la región.
- Definición de las bases de una estrategia regional para la gestión de los sistemas acuíferos transfronterizos identificados.
- Priorización, por parte de los países, de los sistemas acuíferos transfronterizos que deben ser desarrollados.

## 8. AUTORES E INSTITUCIONES PARTICIPANTES

### ARGENTINA

Ofelia Tujchneider  
Investigador CONICET  
Profesora Titular Gestión de los Recursos Hídricos Subterráneos  
Grupo de Investigaciones Geohidrológicas  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Ciudad Universitaria - C.C. 217 - Ruta Nacional N° 168 – Km. 472,4  
Universidad Nacional del Litoral  
(3000) Santa Fé - Argentina  
Tel.: (54-342) 457-5233/45/46 Int 150  
Tel./Fax: (54-342) 459-2287  
e-mail: [pichy@fich.unl.edu.ar](mailto:pichy@fich.unl.edu.ar); [ofeliatujchneider@yahoo.com.ar](mailto:ofeliatujchneider@yahoo.com.ar)

### Colaboradores

Marta Paris  
Grupo de Investigaciones Geohidrológicas  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Ciudad Universitaria - C.C. 217 - Ruta Nacional N° 168 – km. 472,4  
Universidad Nacional del Litoral  
(3000) Santa Fe - Argentina  
Tel.: (54-342) 452-5233/45/46 Int. 150  
e-mail: [mparis@fich1.unl.edu.ar](mailto:mparis@fich1.unl.edu.ar); [martaparis@ciudad.com.ar](mailto:martaparis@ciudad.com.ar)

Marcela Pérez  
Grupo de Investigaciones Geohidrológicas  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Universidad Nacional del Litoral  
Ciudad Universitaria - C.C. 217 - Ruta Nacional N° 168 – km. 472,4  
(3000) Santa Fe - Argentina  
Tel.: (54-342) 457-5233/45/46 Int 150  
e-mail: [maperez@fich1.unl.edu.ar](mailto:maperez@fich1.unl.edu.ar)

Mónica D' Elia.  
Grupo de Investigaciones Geohidrológicas  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Ciudad Universitaria - C.C. 217 - Ruta Nacional N° 168 – km. 472,4  
Universidad Nacional del Litoral  
(3000) Santa Fe - Argentina  
Tel.: (54-342) 457-5233/45/46 Int 150  
e-mail: [mdelia@fich1.unl.edu.ar](mailto:mdelia@fich1.unl.edu.ar)

Mario Hernández  
Profesor de Hidrogeología – Investigador CONICET  
Cátedra de Hidrogeología - Instituto de Geomorfología y Suelos  
Universidad Nacional de La Plata.  
(1900) La Plata - Argentina.  
Tel.: (54) (221) 4229923  
e-mail: [mario\\_h@sinectis.com.ar](mailto:mario_h@sinectis.com.ar)

Nilda González.  
Profesor de Hidrogeología  
Cátedra de Hidrogeología - Instituto de Geomorfología y Suelos  
Universidad Nacional de La Plata.  
(1900) La Plata - Argentina.  
Tel.: (54) (221) 4229923  
e-mail: [nilda\\_h@sinectis.com.ar](mailto:nilda_h@sinectis.com.ar)

Alfredo Fuertes  
INASLA - Universidad Nacional de Salta  
(4400) Salta – Argentina  
e-mail: [fuertes@unsa.edu.ar](mailto:fuertes@unsa.edu.ar)

Guillermo Baudino  
INASLA - Universidad Nacional de Salta  
(4400) Salta – Argentina  
e-mail: [baudino@unsa.edu.ar](mailto:baudino@unsa.edu.ar)

Adrián Silva Busso  
Instituto Nacional del Agua – INA  
AU Ezeiza-Cañuelas, Tramo J. Newbery km 1,620  
(1804) Ezeiza, Pcia. Buenos Aires - Argentina  
Tel.: (54 -11) 4480-4500 Fax: (54 -11) 4480-0094  
e-mail: [pntsas@ina.gov.ar](mailto:pntsas@ina.gov.ar)

Verónica Musacchio  
Becaria Rectorado de la Universidad Nacional del Litoral  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Ciudad Universitaria - C.C. 217 - Ruta Nacional N° 168 – km. 472,4  
Universidad Nacional del Litoral  
(3000) Santa Fe - Argentina  
Tel.: (54-342) 457-5233/45/46 Int 150  
e-mail: [musavero@yahoo.com.ar](mailto:musavero@yahoo.com.ar)

## **BELICE**

Ramón Frutos  
Belize National Meteorological Service  
Philip Goldson International Airport  
PO Box 717  
Belize City, Belize  
Tel. (501) - 225 – 2011 Fax (501) – 225 – 2101  
e-mail: [climat@hydromet.gov.bz](mailto:climat@hydromet.gov.bz)

## **BOLIVIA**

Juan Torres Fernández  
SERGEOTECMIN  
Jefe del Depto. de Hidrogeología  
Federico Zuazo 1673, Esquina Reyes Ortiz  
La Paz, Bolivia  
Tel.: (591-4) 424-1567 / 429-5136  
Fax (591-4) 428-1497  
e-mail: [hidro206@hotmail.com](mailto:hidro206@hotmail.com)

**BRASIL**

Julio Thadeu Silva Kettelhut  
Coordenador Nacional  
Director de Projetos e Articulação  
Secretaria de Recursos Hídricos do Ministerio do Meio Ambiente – SRH/MMA  
SGAN, Qd. 601, Conjunto 1, Lote 1 Ed. CODEVASF, 4º Andar  
70830-907 Brasilia DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1347/48  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [julio.kettelhut@mma.gov.br](mailto:julio.kettelhut@mma.gov.br)

Geroncio Albuquerque Rocha  
Geólogo  
Departamento de Aguas e energia Eléctrica de São Paulo DAEE/SP  
Rua Boa Vista 170 7º Andar  
01014-000 São Paulo, SP, Brasil  
Tel.: (55-11)3293-8406  
e-mail: [geroncio.rocha@daee.sp.gov.br](mailto:geroncio.rocha@daee.sp.gov.br)

Fabrcio Bueno da Fonseca Cardoso  
Técnico Especializado – SRH/MMA  
SGAN 601, Lote 1, Ed. CODEVASF, 4º andar  
70830-901-Brasilia-DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1816  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [fabrcio.cardoso@mma.gov.br](mailto:fabrcio.cardoso@mma.gov.br)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira  
Técnica Especializada – SRH/MMA  
SGAN 601, Lote 1, Ed. CODEVASF, 4º andar  
70830-901-Brasilia-DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1816  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [adriana.ferreira@mma.gov.br](mailto:adriana.ferreira@mma.gov.br)

Claudia Ferreira Lima  
Técnica Especializada – SRH/MMA  
SGAN 601, Lote 1, Ed. CODEVASF, 4º andar  
70830-901-Brasilia-DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1816  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [claudia.lima@mma.gov.br](mailto:claudia.lima@mma.gov.br)

Francis Priscila Vargas Hager  
Técnica Especializada – SRH/MMA  
SGAN 601, Lote 1, Ed. CODEVASF, 4º andar  
70830-901-Brasília-DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1816  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [francis-priscilla.hager@mma.gov.br](mailto:francis-priscilla.hager@mma.gov.br)

Mara Akie Iritani  
Pesquisadora  
Instituto Geológico – IG/SP  
Avda. Miguel Stefano 3900  
01000-000 São Paulo, SP, Brasil  
Cel: (55-11) 04301-903  
e-mail: [Mara.iritani@igeologico.sp.gov.br](mailto:Mara.iritani@igeologico.sp.gov.br)

### **Colaboradores**

Helio José de Oliveira Júnior  
Técnico Especializado – SRH/MMA  
SGAN 601, Lote 1, Ed. CODEVASF, 4º andar  
CEP 70830-901-Brasília-DF, Brasil  
Tel.: (55-61) 4009-1816  
Fax: (55-61) 4009-1814  
e-mail: [helio-jose.oliveira@mma.gov.br](mailto:helio-jose.oliveira@mma.gov.br)

Jamilo José Thomé Filho  
Geólogo  
Serviço Geológico do Brasil – CPRM  
Rua 148, nº485, Setor Marista  
74170-110-Goiânia-GO, Brasil  
Tel.: (55-62) 3281-1522  
Fax: (55-62) 3281-1709  
e-mail: [jamilo@go.cprm.gov.br](mailto:jamilo@go.cprm.gov.br)

Mário Sérgio Gomes de Faria  
Geólogo  
Serviço Geológico do Brasil – CPRM  
Avenida André Araújo, 2160, Aleixo  
69060-001-Manaus-AM, Brasil

Nelson Joaquim Reis  
Geólogo  
Serviço Geológico do Brasil – CPRM  
Avenida André Araújo, 2160, Aleixo  
69060-001-Manaus-AM, Brasil  
Tel.: (55-92) 2126-0306  
Fax: (55-92) 2126-0319  
e-mail: [reis@ma.cprm.gov.br](mailto:reis@ma.cprm.gov.br)



Uriel Duarte  
Profesor Titular  
Universidade de São Paulo  
Instituto de Geociências, Departamento de Geología Sedimentar e Ambiental  
Rua do Lago, 562 - Butantã  
05508-080 - São Paulo, SP - Brasil  
Tel.: (55-11) 3091-4226  
Fax: (55-11) 3091-4207  
e-mail: [urduarte@usp.br](mailto:urduarte@usp.br)

## **CANADÁ**

Alfonso Rivera  
Chief Hydrogeologist and Program Manager/  
Chef Hydrogéologue et Gestionnaire de Programme  
Geological Survey of Canada / Commission Géologique du Canada  
Natural Resources Canada / Ressources Naturelles Canada  
490, rue de la Couronne  
Quebec (Quebec) G1K 9A9, Canadá  
Tel.: (1 418) 654-2688  
Fax: (1 418) 654-2615  
e-mail: [arivera@nrcan.gc.ca](mailto:arivera@nrcan.gc.ca)  
<http://ess.nrcan.gc.ca/gm>

## **COLOMBIA**

Hebert Gonzalo Rivera  
Sub-Director Hidrología – IDEAM  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales  
Tel.: (57-1)352-7119  
e-mail: [aqua@ideam.gov.co](mailto:aqua@ideam.gov.co); [hebert@ideam.gov.co](mailto:hebert@ideam.gov.co)

Hugo Canas Cervantes  
Experto Hidrogeólogo – IDEAM  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales  
Tel.: (57-1) 352-7119  
Fax: (57-1) 352-7160 ext.1628  
e-mail: [hcanas@ideam.gov.co](mailto:hcanas@ideam.gov.co); [hucanas@yahoo.com](mailto:hucanas@yahoo.com)

## **COSTA RICA**

Rodrigo A Calvo Porras  
Ingeniero- Hidrogeólogo  
Área de Auscultación de Obras  
Instituto Costarricense de Electricidad – ICE  
PO. Box 801-2150 San José, Costa Rica  
Tel.: (506) 220-7594  
Fax: (506) 220-7667  
e-mail: [rcalvop@ice.go.cr](mailto:rcalvop@ice.go.cr)

## **CHILE**

Jaime Muñoz Rodríguez -  
Ingeniero Jefe – Departamento de Administración de Recursos Hídricos  
Dirección General del Agua – DGA/MOP  
Morandé 59 Of. 725 7o piso  
Santiago, Chile  
Tel.: (56-2) 449-3776  
Fax: (56-2) 449-3818  
e-mail: [jaime.munoz@mop.gov.cl](mailto:jaime.munoz@mop.gov.cl)

## **ECUADOR**

Napoleón Burbano Ortiz  
Jefe de Departamento de Aguas Subterráneas – INAMHI  
Iñaquito N36-14 y Corea o (Iñaquito700 y Corea)  
Quito – Ecuador  
Tel.: (593 2) 224-8268  
Telefax: (593 2) 243-3934  
e-mail: [napoleon@inamhi.gov.ec](mailto:napoleon@inamhi.gov.ec)

## **EL SALVADOR**

José Mario Guevara Retana  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales – SNET  
Km 5½ Carretera a Nueva San Salvador  
Av. Y Col. Las Mercedes, Edificio ISTA  
Apartado Postal 27  
San Salvador, El Salvador  
Tel.: (503) 2283-2261  
Fax: (503) 2283-2269  
e-mail: [mguevara@snet.gob.sv](mailto:mguevara@snet.gob.sv)

Celina Mena  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales – SNET  
Km 5½ Carretera a Nueva San Salvador  
Av. Y Col. Las Mercedes, Edificio ISTA  
Apartado Postal 27  
San Salvador, El Salvador  
Tel.: (503) 2283-2264  
Fax: (503) 2283-2269  
e-mail: [cmena@snet.gob.sv](mailto:cmena@snet.gob.sv)

Ana Deisy López  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales – SNET  
Km 5½ Carretera a Nueva San Salvador  
Av. Y Col. Las Mercedes, Edificio ISTA  
Apartado Postal 27  
San Salvador, El Salvador  
Tel.: (503) 2283-2263  
Fax: (503) 2283-2269  
e-mail: [dlopez@snet.gob.sv](mailto:dlopez@snet.gob.sv)

## **ESTADOS UNIDOS**

Norman Grannemann  
USGS Great Lakes Program Coordinator  
6520 Mercantile Way, Suite 5  
Lansing, MI 48911 EUA  
Tel.: (517) 887 8936  
e-mail: [nggranne@usgs.gov](mailto:nggranne@usgs.gov)

John Klein  
USGS Associate Regional Hydrologist – USGS  
Tel.: (1-520) 670-5018 (oficina), (1-916) 947-4327 (celular),  
Fax: (1-520) 670-5006  
e-mail: [jmklein@usgs.gov](mailto:jmklein@usgs.gov)

Jim Stefanov, P.G.  
Deputy Director, Investigations and Research  
USGS Texas Water Science Center  
8027 Exchange Drive  
Austin, TX 78754-4733, EUA  
Tel.: 512-927-3543 (oficina) 512-350-7301 (celular)  
Fax: 512-927-3590  
e-mail: [jestefan@usgs.gov](mailto:jestefan@usgs.gov)

## **GUATEMALA**

Fulgencio Garavito  
Encargado de Investigación Hidrogeológica  
Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).  
7 Av. 14-57 Zona 13 Guatemala, Guatemala  
Tel. (502) 23314967 (502) 23314986  
Fax: (502) 23315005  
e-mail: [fgaravito@insivumeh.gob.gt](mailto:fgaravito@insivumeh.gob.gt); [fulqa20002003@yahoo.com](mailto:fulqa20002003@yahoo.com)

Pedro Tax  
Coordinador Departamento de Investigación y Servicios Hídricos  
Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).  
7 Av. 14-57 zona 13 Guatemala, Guatemala  
Tel. (502) 23314967 (502) 23314986 Fax (502) 23315005  
E-mail: [pedrotax@insivumeh.gob.gt](mailto:pedrotax@insivumeh.gob.gt)

## **GUYANA**

Dilip Jaigopaul  
Chief Hydrometeorological Officer  
Ministry of Agriculture  
Hydrometeorological Service, Guyana  
Phone: (592-2) 254-247  
e-mail: [dkihym@guyana.net.gy](mailto:dkihym@guyana.net.gy)

Albert Mente  
Especialista Hidrogeólogo  
Phone: (55-81) 3341-0380  
Fax: (55-81)3221-7645  
e-mail: [amente@uol.com.br](mailto:amente@uol.com.br)

## **HAÍTÍ**

Yvelt Chery  
Chef Service National des Ressources en Eaux – SNRE  
Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural  
Damien Boite Postale 1441  
Port-au-Prince, Haïti  
Tel.: (509) 250-4057 Fax: (509) 298-3014/250-7559  
e-mail: [cheryvelt@yahoo.fr](mailto:cheryvelt@yahoo.fr)

## **HONDURAS**

Franklin Amaya  
Director General de Recursos Hídricos  
Ministerio de Recursos Naturales  
Casilla Postal 1389  
Tegucigalpa, Honduras  
Tel.: (504) 235-4529 / 4524  
Fax: (504) 253-8586  
e-mail: [fgam196@yahoo.com.ar](mailto:fgam196@yahoo.com.ar)

## **MÉXICO**

Rubén Chávez Guillén  
Gerente de Aguas Subterráneas - CONAGUA  
Av. Insurgentes Sur No. 2416. Piso 9 Ala sur. Colonia Copilco El Bajo  
México, D.F. 04340.  
Tel.: (52 55) 5174-4422 y 23  
e-mail: [ruben.chavez@cna.gob.mx](mailto:ruben.chavez@cna.gob.mx)

## **Colaboradores**

Roberto A. Sención Aceves  
Subgerente de Evaluación y Modelación CONAGUA  
Av. Insurgentes Sur No. 2416. Piso 9 Ala sur. Colonia Copilco El Bajo  
México, D.F. 04340.  
Tel.: (52 55) 5174-4425 y 26  
e-mail: [roberto.sencion@cna.gob.mx](mailto:roberto.sencion@cna.gob.mx)

Víctor Manuel Castañón Arcos  
Jefe de Proyecto de Evaluación y Manejo de Acuíferos CONAGUA  
Av. Insurgentes Sur No. 2416. Piso 9 Ala sur. Colonia Copilco El Bajo  
México, D.F. 04340.  
Tel.: (52 55) 5174-4400 extensión 1655  
e-mail: [victor.castanon@cna.gob.mx](mailto:victor.castanon@cna.gob.mx)

Angélica Molina Maldonado  
Especialista en Hidráulica CONAGUA  
Av. Insurgentes Sur No. 2416. Piso 9 Ala sur. Colonia Copilco El Bajo  
México, D.F. 04340.  
Tel.: (52 55) 5174-4425 y 26  
e-mail: [angelica.molina@cna.gob.mx](mailto:angelica.molina@cna.gob.mx)

Mario Rivera Colmenero  
Especialista en Hidráulica CONAGUA  
Av. Insurgentes Sur No. 2416. Piso 9 Ala sur. Colonia Copilco El Bajo  
México, D.F. 04340.  
Tel.: (52 55) 5174-4000 ext. 1650  
e-mail: [mario.rivera@cna.gob.mx](mailto:mario.rivera@cna.gob.mx)

## **NICARAGUA**

Silvia Martínez España  
Directora de Recursos Hídricos y Cuencas  
Dirección General de Recursos Naturales – DRGN  
Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales  
Apto. Postal 5123, Km. 12 ½, Carretera Norte  
Managua. Nicaragua  
Telefax: (505) 263-1994/233-1173  
e-mail: [smartinez@marena.gob.ni](mailto:smartinez@marena.gob.ni); [rps@ideay.net.ni](mailto:rps@ideay.net.ni); [simaresp1@yahoo.com](mailto:simaresp1@yahoo.com)

Socorro Sotelo Granados  
Resp. Departamento de Águas  
Dirección General de Recursos Naturales – DRGN  
Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales  
Apto. Postal 5123, Km. 12 ½, Carretera Norte  
Managua. Nicaragua  
Telefax: (505) 263-1994/233-1173  
e-mail: [ssotelo@marena.gob.ni](mailto:ssotelo@marena.gob.ni); [sosagra@hotmail.com](mailto:sosagra@hotmail.com)

## **Colaboradores**

Enoc Castillo  
Responsable Departamento de aguas Subterráneas  
Dirección de Recursos Hídricos  
Intituto Nicaragüense de Estudios Territoriales – INETER  
Apartado Postal 2110, Frente a Policlínica Oriental  
Managua, Nicaragua  
Tel.: (505) 249-2746  
e-mail: [enoc.castillo@rh.ineter.gob.ni](mailto:enoc.castillo@rh.ineter.gob.ni)

Benedicto Valdez Gómez  
Jefe Hidrogeología de Fuentes  
Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado –ENACAL  
Kilómetro 5 ½ Carretera Sur  
e-mail: [benedictojosev@yahoo.es](mailto:benedictojosev@yahoo.es)



## **PANAMÁ**

Hilda Candanedo  
Jefa de la Dirección de Patrimonio Natural  
Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá – ANAM  
Albroke, Edif. 804, 3o piso  
Ciudad de Panamá, República de Panamá  
Apartado Postal ANAM C-Zona 0843-00793,  
Panamá - Panamá  
Tel.: (507) 315-0855  
Fax: (507) 315-0773  
e-mail: [h.candanedo@anam.gob.pa](mailto:h.candanedo@anam.gob.pa)

Eric Tejeira Bryan  
Autoridad Nacional del Ambiente – ANAM  
Dirección de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas  
Ciudad de Panamá, República de Panamá  
Apartado Postal ANAM C-Zona 0843-00793,  
Panamá - Panamá  
e-mail: [erictrojeira@anam.gob.pa](mailto:erictrojeira@anam.gob.pa); [geoltejeira@yahoo.com](mailto:geoltejeira@yahoo.com)

## **PARAGUAY**

Celso Velásquez  
Secretaría del Ambiente  
Madame Lynch 3000  
Asunción, Paraguay  
Tel.: (595) 971-224-833  
Fax: (595) 414-5004  
e-mail: [vcelso@telesurf.com.py](mailto:vcelso@telesurf.com.py)

## **Colaboradores**

Elena Benítez  
Dirección General de Protección y  
Conservación de los Recursos Hídricos – SEAM  
Asunción, Paraguay  
Tel.: (595 -21) 615 811  
Cel: 0981 158 969

Santiago Jara Gamarra  
Dirección General de Protección y  
Conservación de los Recursos Hídricos – SEAM  
Asunción, Paraguay  
Tel. (595 -21) 615 811  
Cel.: 0981 158 969  
Telefax: (595-21) 582-507  
e-mail: [sjara@telesurf.com.py](mailto:sjara@telesurf.com.py)

Orlando Oporto  
Dirección General de Gestión Ambiental – SEAM  
Asunción, Paraguay  
Tel.: (595-21) 615 805

Carlos Centuri3n  
Direcci3n de Recursos H3dricos  
Gobernaci3n de Boquer3n  
Paraguay  
Tel. (595-21) 0491 – 32 275  
Ana Mar3a Castillo Clerici  
Direcci3n de Recursos H3dricos  
Ministerio de Obras P3blicas y  
Comunicaciones  
Asunci3n, Paraguay  
Tel.: (595-21) 670-183  
e-mail: [acler\\_54@yahoo.com](mailto:acler_54@yahoo.com)

Wilfrido Castro  
Sector Privado  
Asunci3n, Paraguay  
Tel.: (595-21) 552 866

## **PERÚ**

Edwin Zenteno Tupiño  
Especialista en Hidrogeolog3a, Jefe del 3rea de Aguas Subterráneas  
Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA  
Intendencia de Recursos H3dricos  
Calle Diecisiete 355  
Urb. El Palomar – San Isidro  
Lima 27, Per3  
Tel.: (51-1) 225-9725 Fax:  
e-mail: [Zentenoedwin@hotmail.com](mailto:Zentenoedwin@hotmail.com); [ezenteno@inrena.gob.pe](mailto:ezenteno@inrena.gob.pe)

## **REPÚBLICA DOMINICANA**

Francisco Rodr3guez  
Director Ejecutivo  
Instituto Nacional de Recursos Hidr3ulicos – INDRHI  
Av. Jim3nez Moya esq. Rep3blica de L3bano, Centro de los H3roes  
Apartado Postal 1407  
Santo Domingo, Rep3blica Dominicana  
Tel.: (809) 533-0455 508-2741  
Fax: (809) 508-2741  
e-mail: [direccion@indrhi.gov.do](mailto:direccion@indrhi.gov.do)

Gilberto A. de los Santos  
Instituto Nacional de Recursos Hidr3ulicos INDRHI  
Av. Jim3nez Moya esq. Rep3blica de Libano, Centro de los H3roes  
Santo Domingo, Rep3blica Dominicana  
Tel.: (809) 532-3271  
e-mail: [Gdelosantos@indrhi.gov.do](mailto:Gdelosantos@indrhi.gov.do)

## **SURINAME**

Moekiran Armand Amatali  
Ministry of Public Works  
Director, Hydraulic Research Division  
Comm. Weythingweg 130,  
Paramaribo, Suriname  
Tel.: (597) 490-963(oficina), 597- 490-288 (domicilio), (597) 854-3422 (Tel.móvil)  
Fax: (59-7) 46-4901  
e-mail: [armand\\_amat@yahoo.com](mailto:armand_amat@yahoo.com);

## **URUGUAY**

Juan Ledesma  
DNH/MTOP/DNH - DINAMIGE  
Unidad Técnica de Pozos  
Dirección Nacional de Hidrografía – DNH  
Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP  
Rincón 575, Piso 2 Montevideo 11100, Uruguay  
Tel.: (5982) 9164666 int. 3352  
e-mail: [jledesma@dnh.gub.uy](mailto:jledesma@dnh.gub.uy) \_

## **Colaboradores**

Lourdes Rocha  
Arquitecto  
Ex-jefa de Sección Perforaciones de la División Aguas Subterráneas de OSE  
Carlos Roxlo 1275 p.4  
Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 1952-2525  
Fax: (598-2) 1952-2546

Malena Pessi  
Departamento Aguas Subterráneas/OSE  
Jefa de Sección Estudios Hidrogeológicos  
Carlos Roxlo 1275 p.4  
Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 1952-2525  
Fax: (598-2) 1952-2546

Alejandro Arcelus DNH  
Ingeniero Hidráulico, Asesor Técnico  
Dirección Nacional de Hidrografía – DNH  
Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP  
Rincón 575, Piso 2 Montevideo 11100, Uruguay  
Tel.: (598-2) 916-4666 int. 3328/33/70  
Fax: (598-2) 916-4667  
e-mail: [arcelus@nbcnet.com.uy](mailto:arcelus@nbcnet.com.uy); [arcelus@dnh.gub.uy](mailto:arcelus@dnh.gub.uy);

Enrique Massa Segui  
Ingeniero Agrónomo  
Dirección Nacional de Minería y Geología - DINAMIGE  
Ministerio de Industria, Energía y Minería

Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 322-7780  
e-mail: [dnmghidr@adinet.com.uy](mailto:dnmghidr@adinet.com.uy); [secretaria@dinamige.miem.gub.uy](mailto:secretaria@dinamige.miem.gub.uy)

Luis Silveira  
Profesor Titular  
Jefe Sección Hidrología-Clima IMFIA, Facultad de Ingeniería  
Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2)711-5279 int: 126  
Fax: (598-2)711-5279  
e-mail: [lesy@fing.edu.uy](mailto:lesy@fing.edu.uy); [lesy@adinet.com.uy](mailto:lesy@adinet.com.uy)

Lourdes Batista  
Ingeniero Agrónomo  
Jefe del Dpto. Administración de Aguas/DNH – MTOP  
Rincón 575 P2;  
Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 916-4664 int 3357  
Fax: (598-2) 916-5145  
e-mail: [lbatista@dnh.gub.uy](mailto:lbatista@dnh.gub.uy)  
Alejandro Oleaga  
Colaborador Independiente  
Tel.: (598-99) 275-383  
e-mail: [aoleaga@fing.edu.uy](mailto:aoleaga@fing.edu.uy)

Paula Collazo  
Facultad de Ciencias  
Tel.: (598-2) 525-8618 int 163-164  
e-mail: [mpaula@fcien.edu.uy](mailto:mpaula@fcien.edu.uy)

Claudia Bessouat  
Facultad de Ingeniería  
Tel.: (598-2) 711-3386 int. 115  
e-mail: [claudiab@fing.edu.uy](mailto:claudiab@fing.edu.uy)

## **VENEZUELA**

Fernando Decarli  
Hidrogeólogo  
Coordinador del Grupo de Aguas Subterráneas  
Ministerio del Ambiente MINAMB  
Dirección General Cuencas Hidrográficas  
Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología  
Torre Sur, piso 5 ofc. DHMO, C.S.B. El Silencio  
Caracas, Venezuela.  
Tel.: (58-212) 408-4743  
Fax: (58-212) 408-4734  
Cel: (58-416) 620-8331  
e-mail [fdecarli@cantv.net](mailto:fdecarli@cantv.net) [fdecarli@minamb.gob.ve](mailto:fdecarli@minamb.gob.ve); [fdecarli@gmail.com](mailto:fdecarli@gmail.com)

## **Colaboradores**

Manuel Figuera  
Licenciado en Geografía  
Sección de SIG y base de Datos. Grupo de Aguas Subterráneas.  
Ministerio del Ambiente (MinAmb)  
Dirección General Cuencas Hidrográficas  
Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología  
Torre Sur, piso 5 ofc. DHMO, C.S.B. El Silencio  
Caracas, Venezuela.  
Tel.: (58-212) 408-4745  
Fax: (58-212) 408-4734  
e-mail [mfiguera@minamb.gob.ve](mailto:mfiguera@minamb.gob.ve)

## **ORGANIZACIONES INTERNACIONALES**

### **UNESCO**

Alice Aureli  
Hidrogeóloga  
UNESCO, División de Ciencias de Aguas  
1, Rue Miollis,  
75732 Paris Cedex 15, France  
Tel.: (33 1) 4568-3938  
Fax: (33 1) 4568-5811  
e-mail: [a.aureli@unesco.org](mailto:a.aureli@unesco.org)

María Concepción Donoso  
Hidróloga Regional  
Especialista de Programa Ciencias Ambientales y Recursos Hídricos, UNESCO  
Edificio MERCOSUR  
Dr. Luis Piera 1992, 2o piso  
11200 Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 413-2075  
Fax: (598-2) 413-2094  
e-mail: [phi@unesco.org.uy](mailto:phi@unesco.org.uy), [mcdonoso@unesco.org.uy](mailto:mcdonoso@unesco.org.uy)

## **Colaboradores**

Zelmira May  
Consultora  
Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, UNESCO/ PHI-LAC  
Edificio MERCOSUR  
Dr. Luis Piera 1992, 2o piso  
11200 Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 413-2075  
Fax: (598-2) 413-2094  
e-mail: [phi@unesco.org.uy](mailto:phi@unesco.org.uy)

Catalina Bosh (Pasante)  
Lucía Duranona (Pasante)  
Silvia Perelli (Pasante)



Shammy Puri  
Senior Consultant to UNESCO-IHP & ISARM  
Co-coordinator Global Programme of ISARM  
Chair IAH Commission on Transboundary Aquifers  
1 Rue Miollis  
75015 Paris  
France  
Tel. (33 1) 4568-3946  
e-mail: [ShammyPuri@aol.com](mailto:ShammyPuri@aol.com)

## **OEA/OAS**

Thomas Scott Vaughan  
Director  
Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS  
Organización de los Estados Americanos -OEA  
1889 F Street, NW 20006 Washington D C  
Tel.: (1-202) 458-6248  
Fax: (1-202) 458-3560  
e-mail: [svaughan@oas.org](mailto:svaughan@oas.org)

Jorge Rucks  
Jefe División II DDS/OEA  
Unidad Técnica de Proyectos, OEA/Argentina  
Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS  
Organización de los Estados Americanos -OEA  
Junín 1940  
1113 Buenos Aires, Argentina  
Tel.: (54-11) 4803-7606  
Fax: (54-11) 4801-6092  
e-mail: [oea@oea.com.ar](mailto:oea@oea.com.ar); [jrucks@oas.org](mailto:jrucks@oas.org)

Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos  
Coordinador General Programa UNESCO/OEA ISARM Américas  
Departamento de Desarrollo Sostenible – DDS  
Organización de los Estados Americanos – OEA  
Escritorio de Brasilia  
SPS Área 5 Quadra 3 Bloco B, Edificio ANA sala 205  
70610-200 Brasilia, DF, Brasil  
Tel./Fax (55-61) 3445-2846  
e-mail: [nelsonf@oeabrasil.com.br](mailto:nelsonf@oeabrasil.com.br)

Michela Miletto  
Especialista en Aguas Subterráneas  
Oficial de enlace OEA–UNESCO  
Coordinadora operativa Programa UNESCO/OEA ISARM Américas  
Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS  
Organización de los Estados Americanos -OEA  
1889 F Street ,NW Washington D.C. 20006, EUA  
Tel.: (1-202) 458-3862  
Fax: (1-202) 458-3560/3168  
e-mail: [mmiletto@oas.org](mailto:mmiletto@oas.org)

Lyda Maria Ugas  
Asistente Técnica de Proyectos  
Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS  
Organización de los Estados Americanos -OEA  
1889 F Street ,NW Washington D.C. 20006, EUA  
Tel.: (1-202) 458-3556  
Fax: (1-202) 458-3862/3168  
e-mail: [lugas@oas.org](mailto:lugas@oas.org)

### **Expertos Internacionales del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas**

Jac Van der Gun  
Director  
Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Agua Subterránea (IGRAC)  
Princetonlaan 6  
P.O. Box 80015  
3508 TA Utrecht  
Países Bajos  
Tel.: + 31 30 256 4762  
Fax: + 31 30 256 47 55  
e-mail: [jac.vandergun@tno.nl](mailto:jac.vandergun@tno.nl)

Neno Kukuric  
Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Agua Subterránea (IGRAC)  
P.O. Box 80015  
3508 TA Utrecht, Países Bajos  
Tel.:+31 30 256 42 70  
Fax: +31 30 256 47 55

Reckman, J.W.T.M. (Josef)  
Operador Senior GIS  
TNO Built Environment and Geosciences - 'National Geological Survey'  
Business Unit Groundwater and Soils  
Princetonlaan 6  
P.O. Box 80015  
3508 TA Utrecht, Países Bajos  
e-mail: [josef.reckman@tno.nl](mailto:josef.reckman@tno.nl)

## 9. LISTA DE SIGLAS Y SITIOS WEB

### • INTERNACIONALES

<b>ALHSUD</b>	Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization/Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentos (United Nations/Naciones Unidas)
<b>GEF</b>	Global Environment Facility
<b>IAH/AIH</b>	International Association of Hydrogeologists/ Asociación Internacional de Hidrogeólogos <a href="http://www.iah.org/isarm">www.iah.org/isarm</a>
<b>IHP/PHI</b>	International Hydrological Programme/ Programa Hidrológico Internacional <a href="http://www.unesco.org.uy/phi">www.unesco.org.uy/phi</a>
<b>IGRAC</b>	International Groundwater Resources Assessment Centre/ Centro Internacional de Evaluación de Aguas Subterráneas <a href="http://www.igrac.nl">www.igrac.nl</a>
<b>ISARM</b>	Internationally Shared Aquifer Resources Management/ Gestión de los Recursos Acuíferos Compartidos <a href="http://isarm.nitg.tno.nl/">http://isarm.nitg.tno.nl/</a>
<b>OAS/OEA</b>	Organization of American States of OAS/ Organización de Estados Americanos de la OEA - <a href="http://www.oas.org">www.oas.org</a>
<b>DSD/DDS</b>	Department of Sustainable Development /Departamento de Desarrollo Sostenible <a href="http://www.oas.org/usde">www.oas.org/usde</a>
<b>UNEP/PNUMA</b>	United Nations Environmental Program / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>ROSLAC/ORCLAC</b>	Regional Office for Science and Technology for Latin America and the Caribbean/ Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe
<b>UNECE</b>	United Nations Economic Commission for Europe / Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa
<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization/ Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura <a href="http://www.unesco.org.uy">www.unesco.org.uy</a>
<b>UNESCWA</b>	United Nations Economic and Social Commission for Western Asia/ Comisión Económica y Social para Asia Occidental <a href="http://www.escwa.org.lb/">www.escwa.org.lb/</a>
<b>UN ILC</b>	United Nations International Law Commission / Comisión de Ley Internacional de Naciones Unidas
<b>UNDP/PNUD</b>	United Nations Development Programme/ Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>WB/BM</b>	World Bank/Banco Mundial

• **AMERICA DEL NORTE**

<b>NRC/GSC</b>	National Research Council. Geological Survey of Canada <a href="http://ess.nrcan.gc.ca/index_e.php">http://ess.nrcan.gc.ca/index_e.php</a> <a href="http://ess.nrcan.gc.ca/gm/index_e.php">http://ess.nrcan.gc.ca/gm/index_e.php</a>
<b>CAN/ CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua – México <a href="http://www.cna.gob.mx">www.cna.gob.mx</a>
<b>USGS</b>	USA Geological Survey <a href="http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/">http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/</a>

• **CARIBE**

<b>INDRHI</b>	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos – Rep. Dominicana
<b>SNRE</b>	Service National des Ressources en Eaux – Haití

• **AMERICA CENTRAL**

<b>ANAM</b>	Autoridad Nacional del Ambiente – Panamá
<b>BNMS</b>	Belize National Meteorological Service
<b>DGRH/MRN</b>	Dirección General de Recursos Hídricos – Honduras
<b>DRHC/MARENA</b>	Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales – Nicaragua <a href="http://www.marena.gob.ni">www.marena.gob.ni</a>
<b>ETESA</b>	Empresa de Transmisión Eléctrica SA – Panamá
<b>ICE</b>	Instituto Costarricense de Electricidad – Costa Rica <a href="http://www.ice.go.cr">www.ice.go.cr</a>
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología – Guatemala
<b>SNET</b>	Servicio Nacional de Estudios Territoriales - El Salvador <a href="http://www.snet.gob.sv">www.snet.gob.sv</a>

• **AMERICA DEL SUR**

<b>ABAS</b>	Associação Brasileira de Águas Subterâneas – Brasil <a href="http://www.abas.org.br">www.abas.org.br</a>
<b>CONICET</b>	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Argentina <a href="http://www.conicet.gov.ar">www.conicet.gov.ar</a>
<b>CPRM</b>	Serviço Geológico do Brasil <a href="http://www.cprm.gov.br">www.cprm.gov.br</a>
<b>DAEE/SP</b>	Departamento de Aguas e energia Elétrica de São Paulo – Brasil <a href="http://www.daee.sp.gov.br">www.daee.sp.gov.br</a>
<b>DGA/MOP</b>	Dirección General de Aguas/ Ministerio de Obras Públicas – Chile <a href="http://www.dga.cl">www.dga.cl</a>
<b>DINAMIGE</b>	Dirección Nacional de Minería y Geología – Uruguay
<b>DNH/MTOP</b>	Dirección Nacional de Hidrografía/Ministerio de Transporte y Obras

	Públicas – Uruguay
<b>DHMO/DGCH/ MINAMB</b>	Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología/Dirección General de Cuencas Hidrográficas/Ministerio del Ambiente – Venezuela <a href="http://www.minamb.gob.ve">www.minamb.gob.ve</a>
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral – Brasil <a href="http://www.dnpm.gov.br">www.dnpm.gov.br</a>
<b>HRD</b>	Hydraulic Research Division – Suriname
<b>HS</b>	Hydrometeorological Service – Guyana
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Colombia
<b>IG/SP</b>	Instituto Geológico de São Paulo – Brasil <a href="http://www.igeologico.sp.gov.br/">www.igeologico.sp.gov.br/</a>
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador <a href="http://www.inamhi.gov.ec">www.inamhi.gov.ec</a>
<b>CNRH</b>	Consejo Nacional de Recursos Hídricos – Ecuador <a href="http://www.cnrh.gov.ec">www.cnrh.gov.ec</a>
<b>INRENA</b>	Instituto Nacional de Recursos Naturales – Perú <a href="http://www.inrena.gob.pe">www.inrena.gob.pe</a>
<b>OSE</b>	Obras Sanitarias del Estado – Uruguay
<b>SEAM</b>	Secretaría del Ambiente – Paraguay
<b>SERGEOTECMIN</b>	Servicio de Geología y Minería – Bolivia
<b>SRH/MMA</b>	Secretaría de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente – Brasil <a href="http://www.mma.gov.br/">www.mma.gov.br/</a>
<b>UNL</b>	Universidad del Litoral – Argentina
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo – Brasil <a href="http://www.usp.br">www.usp.br</a>



IMPRESO Y ENCUADERNADO EN  
MASTERGRAF SRL  
GRAL. PAGOLA 1727 - CP 11800 - TEL.: 203 4760\*  
MONTEVIDEO - URUGUAY  
E-MAIL: MASTERGRAF@NETGATE.COM.UY

DEPÓSITO LEGAL 342 836 - COMISIÓN DEL PAPEL  
EDICIÓN AMPARADA AL DECRETO 218/96

# Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas Evaluación Preliminar



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Programa Hidrológico Internacional



ORGANIZACIÓN DE LOS  
ESTADOS AMERICANOS

UNESCO  
Programa Hidrológico Internacional  
Oficina Regional de Ciencia  
para América Latina y el Caribe  
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2° piso  
Casilla de Correo 859  
11200 Montevideo, Uruguay  
Tel.: (598-2) 413 20 75, Fax: (598-2) 413 20 94  
phi@unesco.org.uy  
<http://www.unesco.org.uy/phi>

Organización de los Estados Americanos  
Departamento de Desarrollo Sostenible  
1889 F St., N.W., 6° piso  
Washington, D.C. 20006, EE.UU.  
Tel.: (1-202) 458-3000  
<http://www.oas.org/dsd/>

