

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC

Insurgentes Sur No. 670, Piso 9

Colonia Del Valle

Delegación Benito Juárez

Código Postal 03100

México, Distrito Federal

www.foroconsultivo.org.mx

foro@foroconsultivo.org.mx

Tel. (52 55) 5611-8536

Responsables de la edición:

Juan Pedro Laclette y Patricia Zúñiga

Coordinadores:

Blanca Jiménez Cisneros (Academia Mexicana de Ciencias)

Jóse Galizia Tundisi (Academia Brasileña de Ciencias)

Traducción:

Academia Mexicana de Ciencias

Recopilación de la información:

Tania Elena Rodríguez Oropeza

Coordinador de edición:

Marco A. Barragán García

Corrección de estilo:

Elia Irene Lechuga Almaraz

Diseño de portada e interiores:

Víctor Daniel Moreno Alanís y Mariano Alejandro Hernández Salas

Cualquier mención o reproducción del material de esta publicación puede ser realizada siempre y cuando se cite la fuente.

Derechos Reservados

FCCyT, marzo de 2012

ISBN: 978-607-9217-04-4

Impreso en México

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

RED INTERAMERICANA DE ACADEMIAS DE CIENCIAS
FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, AC

COORDINADORES
BLANCA JIMÉNEZ CISNEROS
JOSÉ GALIZIA TUNDISI



Prólogo

Este volumen proporciona, por primera vez, una evaluación de los recursos hídricos en el Continente Americano. Se presenta el diagnóstico de 15 países.

El agua es vital para la vida humana; usamos agua para beber, para producir nuestros alimentos, para sanear nuestro ambiente, como medio de transporte, para generar energía y mil otros fines. Los recursos hídricos son finitos y además se encuentran distribuidos desigualmente en las regiones del mundo.

En América, la región de Atacama en Chile es famosa por una ausencia casi total de lluvias; en el mismo sentido, las comunidades de los áridos desiertos en el suroeste de América del Norte, están comprometidas en una batalla constante para proporcionar suficiente agua para la vida humana. En contraste, otras regiones como la cuenca del Amazonas son igualmente famosas por la abundancia de agua, pero incluso esa abundancia puede verse amenazada con el cambio de los patrones climáticos.

Un hecho sobre el agua destaca sobre todos los demás: los patrones actuales de utilización de agua no son sostenibles en muchas regiones del mundo, incluyendo porciones importantes del continente Americano.

Uno de los grandes retos del siglo XXI será mejorar nuestra gestión y la utilización de agua, para garantizar que este recurso fundamental soporte una población mundial de nueve mil millones o más en 2050. Una contribución sustantiva para la solución de este reto es el uso eficaz de la ciencia, que mejore el uso de nuestros recursos de agua. El uso eficaz de la ciencia significa no sólo crear nuevo conocimiento, sino también traducir ese conocimiento científico hacia público abierto, de tal modo que las nuevas tecnologías y los nuevos conceptos puedan implementarse rápidamente.

Este volumen es el resultado de un proyecto de la Red del Agua de la Interamerican Network of Academies of Science (IANAS, por sus siglas en inglés). Nuestra organización es la red de academias de ciencias del continente americano, creada a partir de la iniciativa y del espíritu que alienta el funcionamiento del Panel Interacadémico (IAP) que agrupa a más de cien academias nacionales de ciencia en todo el mundo.

Son miembros de IANAS todos los países que tienen constituida una academia de ciencias. La misión de IANAS es fomentar la cooperación entre las academias de ciencias y promover su participación como actores relevantes en el desarrollo de los países de la

región. IANAS basa su funcionamiento en la operación de programas. El Programa del Agua completa su primera etapa con la publicación de este volumen: *Diagnóstico del agua en las Américas*. El diagnóstico de cada país resulta del trabajo de redes de científicos en cada una de las academias miembro de IANAS. La coordinación del trabajo estuvo a cargo de José Galizia Tundisi del Brasil y Blanca Jiménez de México, quienes copresiden el programa.

IANAS puede establecer rápidamente conexiones entre los científicos que poseen la mejor información científica actual y aquellas instancias en cada país que la requieren para tomar decisiones. Uno de los objetivos de IANAS es el de proveer la información fundamental que permita una asignación adecuada de los recursos hídricos por parte de las autoridades involucradas. También identificamos oportunidades en el diseño de nuevos procesos que mejoren el uso del agua hasta alcanzar la sustentabilidad en el largo plazo. Finalmente, recomendamos el contacto con las academias nacionales de ciencias en el Continente Americano como interlocutores que aportan asesoría experta a los tomadores de decisiones en el ámbito local y nacional.

Agradecemos a todos los científicos de nuestro Continente Americano que contribuyeron a este volumen, a la red global de las academias de la ciencia (IAP) por su apoyo financiero y al Foro Consultivo Científico y Tecnológico por su apoyo para la edición, impresión y distribución de este libro.

Enhorabuena por este valioso esfuerzo.

Michael Clegg y Juan Pedro Lacleste
Copresidentes de IANAS

Prólogo

■ La disponibilidad de agua en cantidad y calidad es esencial para el desarrollo económico y social de los continentes, los países y las regiones.

El continente americano alberga un grupo de países variados que difieren en sus características geográficas, históricas, económicas, sociales y ecológicas que derivan en una estructura diferente de disponibilidad y manejo del recurso hídrico.

En estos países y regiones, el agua puede ser abundante, escasa o incluso rara. Los usos múltiples de este recurso en la agricultura, la industria o suministro municipal son complejos y demandan un manejo integrado del mismo, el cual es difícil de implementar. Más aún porque las actividades humanas impactan cada día más los cuerpos superficiales y subterráneos de agua, lo que, combinado con la elevada tasa de urbanización que existe en el ámbito mundial, agrava cada día más los problemas de disponibilidad del recurso por contaminación y agotamiento con severos efectos en la salud pública y de los ecosistemas que constituyen un grave problema de seguridad para todo el mundo.

Confiamos en que las contribuciones presentadas en este libro sean representativas de la diversidad en la disponibilidad de agua, problemas de contaminación y estrategias de política pública en el continente. La política del manejo del agua difiere considerablemente en los países: la legislación y la política pública son diversas y se encuentran en diferentes grados de desarrollo. La descripción comparativa del estado de la política del agua así como de su disponibilidad o abundancia en diferentes países será, sin duda, una información útil para avanzar en el intercambio de experiencias en los ámbitos político y técnico.

Los editores confían en que este libro será útil para consolidar el estudio de los recursos hídricos en los diferentes países del Continente Americano y contribuir así al desarrollo de las políticas públicas para su manejo.

Los editores agradecen infinitamente los esfuerzos de todos los autores de esta obra, así como a quienes participaron como coordinadores de los textos de cada país como miembros de la Red del Agua de IANAS. Los doctores Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi agradecen a la Academia Mexicana de Ciencias, a la Academia de Ciencias de Brasil y al Comité Directivo de IANAS su apoyo para la producción de este texto.

Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi
Copresidentes del Programa del Agua de IANAS

Foro Consultivo Científico y Tecnológico

La Ley de Ciencia y Tecnología, publicada en junio de 2002, planteó modificaciones importantes a la legislación en esta materia, tales como: la creación del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, la identificación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) como cabeza del sector de ciencia y tecnología, y la creación del Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT).

El FCCyT está integrado, a su vez, por una Mesa Directiva formada por 20 representantes de la academia y el sector empresarial, 17 de los cuales son titulares de diversas organizaciones mientras que los tres restantes son investigadores electos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

En este sentido, el FCCyT forma parte del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico encargado de regular los apoyos que el Gobierno Federal está obligado a otorgar para impulsar, fortalecer y desarrollar la investigación científica y tecnológica en general en el país. El FCCyT lleva al Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico la expresión de las comunidades científica, académica, tecnológica y del sector productivo, para la formulación de propuestas en materia de políticas y programas de investigación científica y tecnológica.

De acuerdo con la Ley de Ciencia y Tecnología, el FCCyT tiene tres funciones sustantivas:

Su primera función sustantiva es la de fungir como organismo asesor autónomo y permanente del Poder Ejecutivo –en relación directa con el CONACYT, varias secretarías de Estado y el Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico–, pero también atiende al Poder Legislativo.

La segunda función sustantiva es la de ser un órgano de expresión y comunicación de los usuarios del sistema de ciencia, tecnología e innovación (CTI). Su objetivo es propiciar el diálogo entre los integrantes del Sistema Nacional de Investigación y los legisladores, las autoridades federales y estatales y los empresarios, con el propósito de estrechar lazos de colaboración entre los actores de la triple hélice –academia-gobierno-empresa.

Es de resaltar el trabajo continuo y permanente con legisladores de los estados de la República, particularmente con los miembros de las comisiones que revisan los asuntos de educación y CTI en sus entidades federativas. Esta relativa cercanía posiciona al FCCyT como un actor pertinente para contribuir, junto con otros, al avance de la federalización

y del financiamiento de la CTI. En este sentido, se puede contribuir al trabajo del propio CONACYT, de las secretarías de Economía y de los consejos estatales de Ciencia y Tecnología para conseguir la actualización de las leyes locales, en términos que aumenten su coherencia con la Ley Federal de Ciencia Tecnología e Innovación.

El FCCyT también se ha dado a la búsqueda de mecanismos para la vinculación internacional a través de diversas agencias multilaterales. Todo ello, orientado a una búsqueda permanente de consensos alrededor de acciones y planes que se proponen en el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI).

En cuanto a la tercera función sustantiva –comunicación y difusión de la CTI–, el Foro hace uso de distintos medios, desde la comunicación directa por medio de foros, talleres y otro tipo de reuniones de trabajo, hasta el uso de los medios de comunicación masiva y de Internet. Para mencionar sólo un ejemplo, nuestro nuevo portal electrónico ofrece ahora una mayor diversidad de servicios a los usuarios, incluyendo una gran variedad de mecanismos (concentrado de noticias de CTI, *Gaceta Innovación*, *Acertadístico*, cifras sobre la evolución en CTI, información sobre las cámaras legislativas y los estados de la República, *blogs*, entre otros) para posibilitar un análisis más preciso de nuestro desarrollo en el ramo. Una señal inequívoca del avance es el aumento en el número de visitas al portal electrónico del FCCyT en más de un orden de magnitud.

En resumen, el FCCyT es una instancia autónoma e imparcial que se encarga de examinar el desarrollo de la CTI en el país. Sin embargo, tenemos el reto de incrementar la conciencia social en esa materia, partiendo siempre de la premisa del compromiso social de la ciencia, ya que el conocimiento *per se* pierde una parte de su valor si no se logra su utilización y su aplicación para mejorar las condiciones y la sustentabilidad de la vida en el país.

Índice

■ Prólogo.....	v
■ Presentación	16
■ El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina : la cuestión del agua	19
1. Introducción	19
2. Contexto	21
3. Sostenibilidad del uso de los recursos hídricos: situación general y perspectivas	21
4. Temas emergentes relacionados con el agua	29
5. Situación de los recursos hídricos en Argentina	39
6. Recursos hídricos interjurisdiccionales (Anexo I)	63
7. Marco jurídico-administrativo del agua en la República Argentina (Anexo II)	65
8. Glosario	67
9. Siglas	70
10. Referencias	71
■ Los recursos hídricos en Bolivia : un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas.....	75
1. Introducción	75
2. Disponibilidad de agua en Bolivia	78
3. Disponibilidad de aguas superficiales	80
4. Disponibilidad de aguas subterráneas en Bolivia	86
5. Problemática de las aguas superficiales transfronterizas	88
6. Problemática de las aguas subterráneas transfronterizas	92
7. Referencias	95
■ La política hídrica en Brasil	97
1. Introducción	97
2. Los recursos hídricos en Brasil	98
3. Usos del agua	99
4. Usos múltiples del agua y los conflictos que generan	99
5. La calidad del agua en Brasil	100
6. Desarrollo institucional del manejo de recursos hídricos	101
7. Retos para la política del agua en Brasil	103
8. Conclusiones	108
9. Referencias	109

■ Los recursos hídricos en Canadá: un punto de vista estratégico	113
1. Introducción	113
2. Situación general del agua en Canadá	114
3. Gobernanza del agua dentro de Canadá e internacionalmente	116
4. Problemas hídricos regionales estratégicos en Canadá	124
5. Problemas hídricos que se presentan en muchas regiones de Canadá	141
6. Recomendaciones para aliviar los problemas hídricos estratégicos de Canadá	149
7. Reconocimientos	155
8. Sitios web	155
9. Referencias	156
■ El sector del agua en Chile: su estado y sus retos	169
1. Introducción	169
2. Disponibilidad de los recursos hídricos	170
3. Aprovechamientos del agua	177
4. Agua y sociedad	186
5. Conclusiones	191
6. Reconocimientos	191
7. Referencias	192
■ Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia	195
1. Introducción	195
2. El territorio colombiano	196
3. Generalidades sobre el recurso hídrico en Colombia	197
4. Balance hídrico	198
5. Embalses y humedales	200
6. Otros recursos (zonas inundables, pantanos, glaciares, páramos)	203
7. Aguas subterráneas	204
8. Las áreas marítimas colombianas	205
9. Usos del agua	206
10. Calidad del agua	207
11. Vulnerabilidad de las cuencas	209
12. Agua potable y saneamiento básico	210
13. Agua y salud humana	212
14. Proyecciones de demanda y oferta para 2015 y 2025	213
15. Agua, energía e impactos ambientales	215
16. Gobernanza del agua	215
17. Política y legislación de las aguas en Colombia	217
18. Amenazas para el agua en Colombia	220
19. Usos potenciales del agua en Colombia y mecanismos de administración	221
20. Conclusiones	223
21. Referencias	223
■ Los recursos hídricos en Costa Rica: un enfoque estratégico	227
1. Introducción	227
2. Antecedentes	228
3. Recursos hídricos nacionales y su uso	229

4. Balance hídrico	231
5. Usos nacionales del agua	231
6. Agua y el ambiente	233
7. Agua potable, sanitaria y salud	234
8. Uso de la tierra: deforestación y degradación del suelo	235
9. Leyes e instituciones relacionados con el agua	237
10. Gestión integrada de los recursos hídricos	240
11. Conclusiones	241
12. Reconocimientos	242
13. Referencias	242

■ Los recursos hídricos en Cuba: una visión 245

1. Introducción	245
2. Uso del agua	246
3. Agua y agricultura	247
4. Agua e industria	248
5. Agua para el uso humano: cantidad, calidad y acceso	249
6. Calidad de las aguas terrestres	250
7. Agua en las áreas urbanas	251
8. Aguas residuales y saneamiento	253
9. Agua y salud humana	255
10. Agua y economía	256
11. Agua para energía e impacto de las empresas	257
12. Inundaciones y sequías	257
13. Legislación	258
14. Conflictos por el agua	259
15. Gobernabilidad del agua	260
16. Escenarios debido a los cambios globales	263
17. Agua, cultura y religión	263
18. Referencias	265

■ Los recursos hídricos de los Estados Unidos y su administración 267

1. Introducción	267
2. La existencia y disponibilidad del agua	268
3. Usos del agua	272
4. Investigación en recursos hídricos en los Estados Unidos	274
5. Los principales asuntos hídricos que enfrentan los Estados Unidos	276
6. Referencias	279

■ Estado del agua en Guatemala 281

1. Introducción	281
2. Disponibilidad y distribución espacial y temporal del recurso hídrico	282
3. Balance hídrico del 2005	284
4. Balance hídrico y escenarios al 2025	286
5. Agua y agricultura	292
6. El agua y la industria	294
7. Agua para abastecimiento humano: cantidad, calidad y acceso	295

8. Contaminación	296
9. Agua en las áreas urbanas	297
10. Agua y saneamiento	298
11. Agua y salud pública	298
12. Agua y economía	299
13. Agua y energía	300
14. Inundaciones y sequías	300
15. Legislación	302
16. Conflictos	304
17. Gobernabilidad	305
18. Escenarios debido a cambios globales	305
19. Agua, cultura y religión	306
20. Referencias	307

■ Los recursos hídricos en México: situación y perspectivas..... 309

1. Introducción	309
2. Datos generales del país	309
3. Antecedentes históricos	310
4. Disponibilidad	310
5. Usos	312
6. Agua y energía	322
7. Calidad del agua	324
8. Fuentes de contaminación	328
9. Reúso	330
10. Efectos en la salud	330
11. Desarrollo económico	332
12. Género y agua	334
13. Pobreza	335
14. Agua y población indígena	338
15. Agua transfronteriza	339
16. Cambio climático	342
17. Eventos extremos	343
18. Administración del agua	347
19. Marco jurídico	351
20. Referencias	354

■ Recursos hídricos en Nicaragua: una visión estratégica 359

1. Introducción	359
2. Los recursos hídricos de Nicaragua	361
3. Usos del agua	362
4. Situación ambiental de los recursos hídricos	374
5. Agua y saneamiento	385
6. Cambio climático	391
7. Agua y salud	394
8. Marco legal	395
9. Referencias	397

■ Recursos hídricos en el Perú: una visión estratégica	405
1. Introducción	405
2. El recurso hídrico	405
3. Usos del agua en el Perú	408
4. Aspectos ambientales y contaminación del agua	411
5. Agua y sociedad	413
6. Eventos extremos: sequías y avenidas en el Perú-Reducción del riesgo de desastres de origen climático	414
7. Marco institucional	414
8. Esfuerzos recientes en investigación en recursos hídricos	416
9. Conclusiones	418
10. Reconocimientos	418
11. Referencias	419
■ Agua potable y saneamiento en la República Dominicana	421
1. Introducción	421
2. Aguas subterráneas de la planicie costera oriental	422
3. Calidad de las aguas subterráneas de la planicie costera	423
4. El conflicto sociedad-gobierno por la protección del agua de los Haitises	424
5. Contaminación orgánica de las aguas superficiales y subterráneas	425
6. El agua y el cólera del 2011 en la República Dominicana	427
7. Las presas y sus conflictos sociales y ambientales	428
8. El problema social y ambiental de la crecida del lago Enriquillo	429
9. El problema de las basuras que contaminan las aguas	432
10. La iglesia, el agua y el medio ambiente	433
11. Contaminación de las aguas por las operaciones mineras	435
■ Manejo de los recursos hídricos en Venezuela: aspectos generales	437
1. Introducción	437
2. El recurso hídrico	438
3. Venezuela en el mundo	438
4. Embalses en Venezuela	439
5. Algunos problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos	440
6. Instrumentos legales y algunas normas regulatorias para el manejo de los recursos hídricos en Venezuela	441
7. Instituciones relacionadas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos	442
8. Ejemplos de prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela	443
9. Conclusiones	445
10. Reconocimientos	445
11. Referencias	445

Presentación

Desde 1993, el 22 de marzo es el Día Mundial del Agua. Más que conmemorativo, al establecer este día, la Organización de las Naciones Unidas buscó centrar la atención sobre uno de los problemas que ya enfrenta la humanidad: la escasez de agua para consumo humano y para la producción.

Este año el tema del agua se asocia a otro de no menor importancia el de la seguridad alimentaria, sobre todo cuando en 2011 se alcanzó la cifra de siete mil millones de seres humanos habitando en este planeta y es que como mencionara Irina Bokova, Directora General de la UNESCO: "Es imposible lograr un desarrollo humano sostenible sin agua de buena calidad, a la que todos tengan acceso".

Si bien se han hecho esfuerzos por mejorar los servicios relacionados con el agua (en los que participan autoridades, especialistas e instituciones de educación superior), en ocasiones se realizan de manera aislada y sin un conocimiento real de la situación en cada país, ciudad o municipio.

Diagnóstico del agua en las Américas, coordinado por Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi, y editado por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) y la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS por sus siglas en inglés), es un acercamiento a la problemática y a los retos que enfrentan 15 países de América para el manejo sustentable del agua.

En este libro, especialistas de Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos, Guatemala, México, Nicaragua, Perú, República Dominicana y Venezuela analizan la diversidad de problemas relacionados con el agua y las soluciones que se han propuesto.

Tanto IANAS como el FCCyT pretenden que este libro contribuya al conocimiento de de los recursos hídricos en los quince países que se incluyen, además de una oportunidad para intercambiar puntos de vista y de impulsar una colaboración más estrecha entre los especialistas y las autoridades correspondientes en cada país.

Los problemas que se enfrentan en materia hídrica no difieren mucho de país a país, aunque cada uno ha trabajado de manera diferente para mejorar la explotación de sus recursos hídricos. Asimismo, como parte del panorama sobre los recursos hídricos de

cada nación representada en este texto, empezamos a conocer las políticas y leyes que se han impulsado en cada una de ellas para acceder, proveer y proteger el agua. Otro tema importante que se plantea es el de las aguas transfronterizas, que representan, en algunos casos, conflictos entre países.

La relación entre el Foro Consultivo y IANAS se ha desarrollado a través de la Academia Mexicana de Ciencias. Dicha relación ha permitido emprender juntos proyectos de trabajo productivos, cuyos beneficiarios incluyen a los académicos y la sociedad misma, que esperamos se apropie del conocimiento que difundimos, a través de Internet y de las publicaciones impresas.

Con la publicación de este libro, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico cumple con una de sus funciones principales y contribuye al mejor conocimiento de uno de los temas que deberán estar en primer lugar en la agenda mundial de los próximos años.

Juan Pedro Laclette

Coordinador General del FCCyT



Los recursos hídricos en Bolivia

Un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas

Fernando Urquidi Barrau, Ph. D.
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

1. Introducción

En el ámbito internacional, la escasez de agua dulce (agua azul) ocupa el primer lugar en la lista de las amenazas que afectarán a la humanidad en el siglo XXI. El agua dulce se ha convertido en un recurso natural cada vez más escaso y vulnerable. Los cambios climáticos globales están causando deshielos de las nieves cordilleranas y de los hielos polares y alterando los ciclos hidrológicos locales y regionales. A nivel mundial, estos cambios han ocasionado un desequilibrio entre la sobreabundancia y la escasez del recurso hídrico de muy difícil manejo y solución. Esta dramática situación ha sido empeorada por la mala administración y la gestión irracional del hombre sobre los recursos naturales, incluida el agua.

Situada en la posición 20 entre los países con mayor disponibilidad de agua en el mundo, Bolivia tiene una gran disponibilidad de agua dulce. Asimismo, Bolivia es, en América Latina, uno de los países de mayor oferta de agua dulce por habitante, aproximadamente 50,000 m³/hab./año. Sin embargo, su potencial hídrico en sus cuatro macrocuencas, tanto superficial como subterráneo, no ha sido completamente determinado ni explorado. La distribución espacial y temporal de este importante recurso no es homogénea en todo el territorio nacional. Existen zonas donde se halla una mayor disponibilidad de agua, con altas precipitaciones anuales, pero en casi la mitad del territorio este recurso es escaso y existe un déficit hídrico.

Adicionalmente, cada año el país es azotado por sequías, granizos, inundaciones y otros fenómenos climáticos que en muchos casos son impredecibles y agravados por fenómenos como El Niño y La Niña.

Bolivia es un país mediterráneo con una superficie de 1,098,581 km² y algo más de 9 millones de habitantes. Tiene 6,918 km de fronteras internacionales con cinco países limítrofes: el límite fronterizo con Brasil es de 3,424 km de longitud; con Paraguay es de 741 km; con Argentina es de 773 km; con Chile es de 850 km, y con Perú es de 1,131 km. De ellos, 3,442 km (49.8% del total) son límites arcifinios acuáticos, fluviales o lacustres (Montes de Oca, 2005). Por esta extensa frontera acuática, los cuestionamientos sobre el derecho y uso del agua contigua y compartida son inevitables y dan lugar a una problemática de agua transfronteriza que requiere una permanente gestión y vigilancia para que exista una pronta solución a cualquier controversia o litigio.

Por ejemplo, la macrocuenca del río Amazonas ocupa 65.9% del territorio nacional y tiene una frontera de 2,464 km, o sea, 35.6% del total de las fronteras internacionales. Cerca de 85% de esta frontera es un límite fronterizo arcifinio acuático con ríos de cursos contiguos. Se estima que alrededor de 70% de esta periferia fronteriza está prácticamente abandonada con escasísima población boliviana. Las ciudades de Cobija (38,000 habitantes), a orillas del río Acre, y Guayaramerín (47,000 habitantes), en las orillas del río Mamoré (río Madera), son los mayores centros poblaciones sobre este extenso límite acuático fronterizo.

Bolivia es simultáneamente un país de aguas arriba y de aguas abajo. Como país aguas arriba, sus aguas escurren hacia los países vecinos a través de las macrocuencas del río Amazonas (Brasil), del Río de la Plata (Argentina y Paraguay) y del Océano Pacífico (Chile). También recibe aguas abajo en la macrocuenca del Altiplano o endorreica, específicamente en el lago Titicaca (Perú) y los ríos Mauri (Maure en Perú) y Lauca (Chile), y en la macrocuenca amazónica, a través del río Madre de Dios (Perú). Por eso, lo que se decida sobre aguas arriba tendrá una incidencia directa en el momento que se negocie aguas abajo. Además, el continuo incremento de la demanda del recurso hídrico, especialmente en la industria minera, la agricultura e hidroenergética de los países vecinos, está causando conflictos hídricos transfronterizos.

Los recursos hídricos transfronterizos deben ser analizados desde varias perspectivas, incluidos los aspectos científico-

técnico, jurídico, institucional y social. Asimismo, requiere un mayor involucramiento de los actores sociales en ambos lados de las fronteras. Desde la perspectiva científica-técnica, el país necesita un mayor conocimiento no sólo de las cuatro grandes cuencas hidrográficas nacionales, sino también de las que comparte con los países vecinos, tanto de aguas superficiales como subterráneas. Adicionalmente, el Gobierno y el Estado Boliviano tienen una escasa capacidad económica para solventar estudios científicos y tecnológicos para conocer en detalle las características físicas y químicas y los caudales de los recursos hídricos que se tienen en las fronteras. Sin embargo, esta perspectiva científica-técnica, con obvias limitaciones, es el tema principal de este trabajo sobre la problemática de las aguas transfronterizas bolivianas.

En el plano jurídico, el país tiene que considerar la nueva Constitución Política del Estado, promulgada el 7 de febrero de 2009, y la necesidad de analizar y promulgar leyes complementarias que regulen racionalmente los recursos hídricos. Estas nuevas leyes deben reemplazar la obsoleta Ley de Aguas del 26 de octubre de 1906 y compatibilizar los actuales y futuros tratados bilaterales y subregionales en esta materia. Del punto de vista institucional, se deben adecuar a las nuevas estructuras ejecutivas e instancias legislativas plurinacionales con las entidades internacionales y las comisiones bilaterales o trilaterales de los que el país forma parte.

Las actuales políticas gubernamentales expresadas en los Artículos 373 al 377 de la nueva Constitución Política del Estado consideran que el agua es un derecho fundamental para la vida, para la soberanía del pueblo, y tiene que ser utilizada de acuerdo con usos y costumbres ancestrales y originarias. Los recursos hídricos en todos sus estados, incluidas las aguas superficiales y subterráneas, son recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas, y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y estarán sujetos a un régimen conforme a ley (ley que deberá ser propuesta y promulgada en los próximos años para reemplazar la actual Ley de Aguas de 1906). En resumen, el agua no puede ser considerada como un bien comercial. Sin embargo, el crecimiento acelerado de la población urbana (65% de la población) y el de ciertas industrias han causado una alta sobredemanda de agua potable y sus servicios. Por lo tanto, esta disyuntiva es difícil de solucionar en un futuro cercano si el agua no se considera, de alguna forma, como un bien comercial.

Respecto a las relaciones internacionales con los países limítrofes, se debe cumplir en especial con el Artículo 377 de la nueva Constitución Política del Estado, el cual estipula que el Estado resguardará en forma permanente las aguas fronteras y transfronterizas para conservar la riqueza hídrica que contribuirá a la integración de los pueblos.

Se debe resaltar que Bolivia es signataria del Acta de Montevideo de 1933 que se refiere al uso industrial y agrícola de los ríos internacionales. Es también signataria del documento Las Reglas de Helsinki de 1966 y del Convenio de Ramsar, o Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, puesto en vigor desde 1975. Sin embargo, Bolivia no es signataria de las dos convenciones más importantes sobre aguas superficiales y sobre aguas subterráneas existentes. La primera, la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos a la Navegación (1977), que no ha sido suscrita por Bolivia, y la segunda, la Convención sobre Acuíferos Transfronterizos, que continúa en discusión y no ha sido aún aprobada ni implementada.

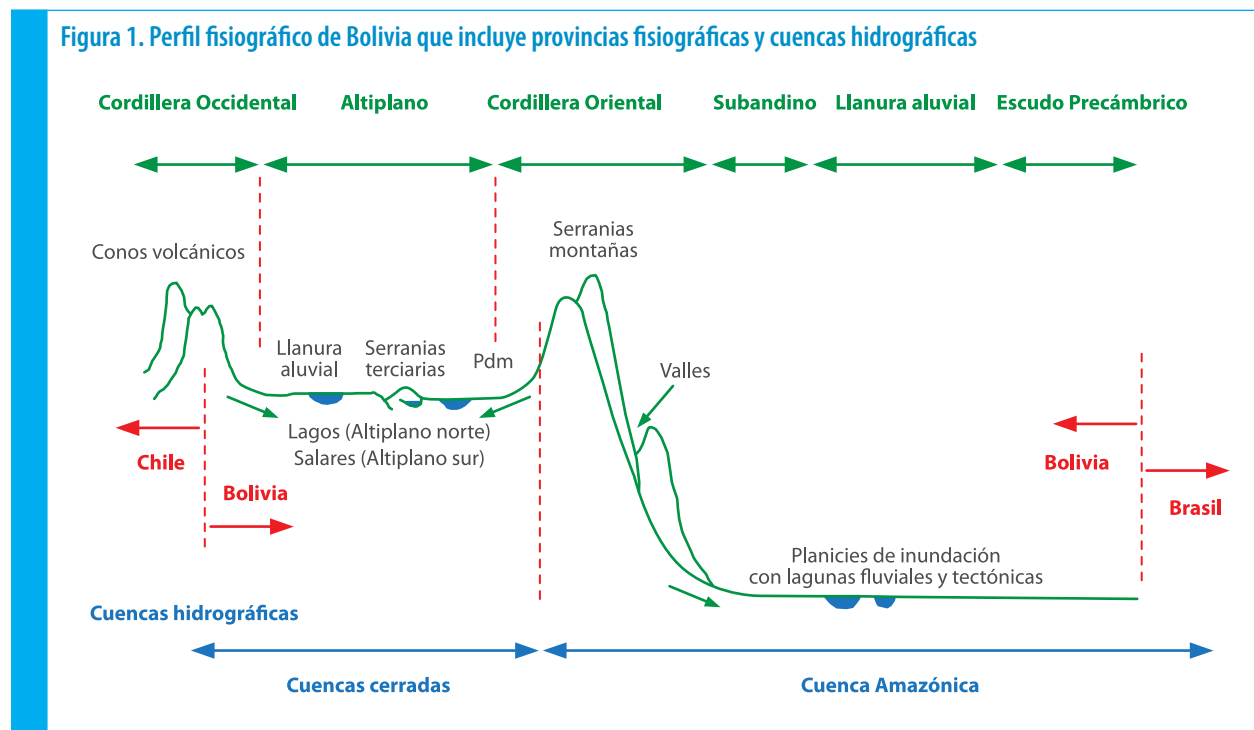
La problemática fronteriza de las aguas superficiales y subterráneas de Bolivia es de larga duración, desde la fundación de la república en 1825. Esta problemática debería ser encarada con estudios bilaterales conjuntos en cada

caso específico y las respuestas políticas deberían ser totalmente coherentes con ellos.

Las acciones públicas que se tomen con relación al agua deberán ser garantizadas por los actores políticos y privados y por los movimientos sociales. Los recursos hídricos constituyen un elemento frágil y de alto contenido político y social, en parte porque la población rural campesina boliviana (35% de la población) considera el agua como un obsequio divino irrestricto (lluvia). El énfasis social y económico deberá ser analizado en una forma balanceada, justa e imparcial para sacar el mejor provecho de los recursos hídricos para todo el país en su conjunto.

El agua tiene un valor estratégico para el futuro de Bolivia y, por ello, los recursos hídricos deben ser un instrumento de poder y de negociación en las relaciones con los países vecinos. Los acuerdos bilaterales, trilaterales y subregionales que Bolivia ha suscrito en las últimas décadas deben servir de base y ejemplo para las futuras negociaciones. Estas negociaciones deben continuar con un fuerte énfasis medioambiental y servir para un desarrollo sostenible para las regiones y municipios del país involucrados o afectados en los mismos. El agua debe contribuir a la lucha de Bolivia contra la pobreza y la marginalidad. En síntesis, el agua no sólo en cantidad, sino en calidad, debe contribuir efectivamente al desarrollo y crecimiento sostenible del país.

Figura 1. Perfil fisiográfico de Bolivia que incluye provincias fisiográficas y cuencas hidrográficas



2. Disponibilidad de agua en Bolivia

Para exponer el aspecto científico-técnico estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas de Bolivia, es primero necesario realizar una breve descripción de los recursos hídricos con los que cuenta el país, así como describir los marcos geográficos referenciales utilizados y la relación de los mismos con los países vecinos. Asimismo, es importante definir bien las unidades más adecuadas para el manejo y gestión de los recursos hídricos dentro de los marcos hidrográficos existentes.

2.1 Hidrografía de Bolivia

El panorama hidrográfico de Bolivia está constituido por dos unidades mayores y siete provincias fisiográficas. El occidente del país está conformado por la cordillera de los Andes Centrales (38% del territorio) y el resto del país por las llanuras bajas o planicies aluviales amazónicas y chaqueñas (62% del territorio). El bloque andino se conforma por dos cordilleras: la Cordillera Occidental (o volcánica) y la Cordillera Oriental. Entre ambas cordilleras se

encuentra el Altiplano Boliviano, una planicie con un promedio de 4,000 metros de altura. Al este de la Cordillera Oriental se sitúan las Sierras Subandinas y los Valles. En la zona oriental y nordeste del país se encuentran los llanos aluviales amazónicos sobre el Escudo Brasileiro, y en el sudeste la llanura chaqueña conocida como el Chaco Boliviano. Las provincias fisiográficas que se presentan en la Figura 1 y en el Mapa 1 están subdivididas en subunidades, las cuales son un resumen de manera generalizada de las características del relieve y la geología del territorio.

2.2 Condiciones climáticas

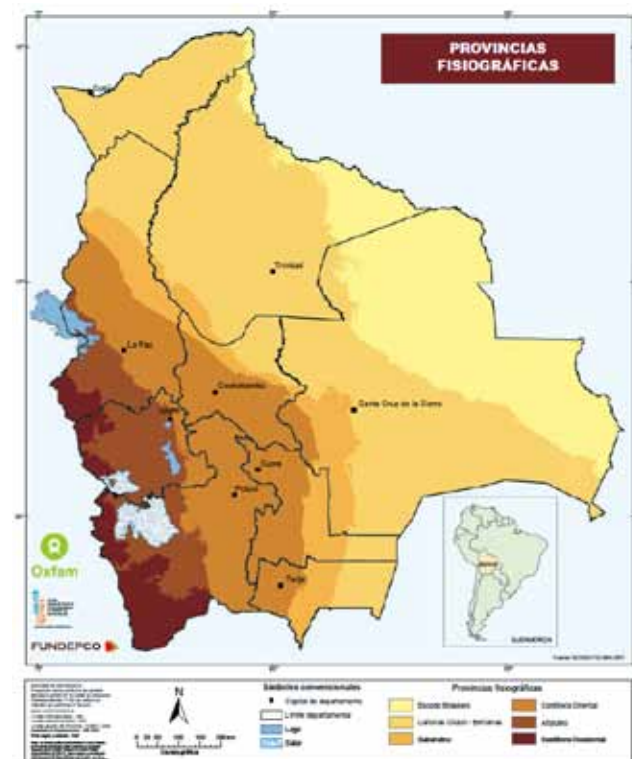
La disponibilidad de agua en Bolivia está directamente relacionada con su posición geográfica en la zona ecuatorial septentrional y con las condiciones climáticas existentes en las diferentes unidades hidrográficas. Estas unidades hidrográficas son influenciadas por fenómenos macroclimáticos, climáticos locales y microclimáticos. Las condiciones macroclimáticas se caracterizan por la marcada estacionalidad de las precipitaciones pluviales. En todo el país, el régimen de lluvias es de tipo tropical con un máximo de lluvias en los meses más cálidos del año. Bolivia está situada entre dos fajas atmosféricas zonales: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el Cinturón Subtropical de altas presiones permanentes del hemisferio sur. Este mecanismo climático global está influenciado por las advecciones frontales frías del Polo Sur (surazos) y las variaciones térmicas del Océano Pacífico oriental conocidas como los fenómenos de El Niño y de La Niña.

De las 855 estaciones meteorológicas existentes en el país, 496 se encuentran ubicadas en la vertiente amazónica, 142 en la vertiente endorreica y 217 en la vertiente del Río De La Plata. En la vertiente del Pacífico se tenía una sola estación meteorológica en la población de Laguna Colorada que operó por 13 años (1985-1997).

De acuerdo con Montes de Oca (2005), la distribución de las temperaturas medias en el país es una función de las altitudes; varía anualmente desde cerca de 25°C en los llanos, hasta 18°C en los valles y 10°C en el altiplano. La amplitud térmica anual tiene poco cambio, ya que la duración del día y el ángulo de los rayos solares son casi similares entre el invierno y el verano. Las temperaturas medias más bajas tienen lugar en junio y julio, en pleno invierno, al fin de la noche.

Los mecanismos generales del clima son modificados notablemente por fenómenos locales y microclimáticos, como la orientación de las cordilleras, la presencia de la-

Mapa 1. Provincias Fisiográficas



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

gos, la cobertura vegetal, etc., que afectan las temperaturas y las precipitaciones pluviales.

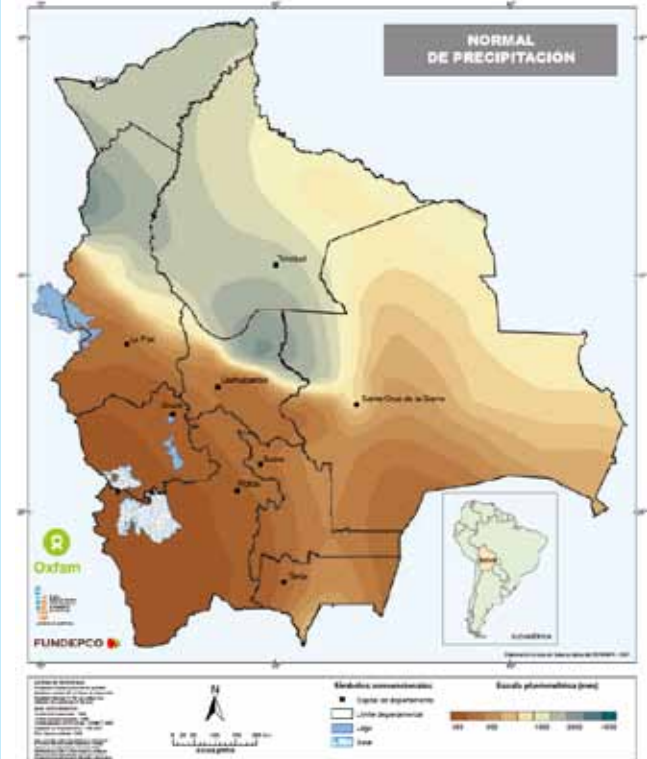
En todo el territorio nacional se presentan dos períodos de precipitaciones pluviales, uno más lluvioso durante el verano (debido al descenso de la zona de convergencia intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia intertropical que ocasiona un movimiento de aire seco y estable). La estación lluviosa se concentra en el verano, que generalmente inicia en diciembre y concluye en marzo, con un máximo en enero y con un segundo lugar en febrero. De 60 a 80% de las precipitaciones ocurren durante estos cuatro meses. La estación seca es en invierno, con un mínimo de mayo a agosto. Hay dos períodos de transición que separan estas dos épocas, uno en abril y otro de septiembre a octubre.

En el **Mapa 2** de Normal Precipitación se observa que el sudoeste del país es la región más seca con menos de 100 mm de lluvia al año (mm/año). El Altiplano Boliviano es seco con una precipitación entre 100 y 350 mm/año. La Cordillera Occidental recibe precipitaciones entre 350 y 500 mm/año. La zona aledaña al lago Titicaca recibe excepcionalmente entre 500 y 700 mm/año. La cantidad de lluvia aumenta hacia el oriente del país con valores hasta de 1,800 mm/año. En el norte del país, la región amazónica (Pando), la precipitación alcanza valores de 2,220 mm/año. El Chapare (Cochabamba) y la región fronteriza con Maldonado (Perú) son las zonas con mayor precipitación en el país sobrepasando valores de 4,500 mm/año.

En el conjunto total de las cuencas de Bolivia, la precipitación media ha sido estimada en 1,419 mm/año. Las cuatro macrocuencas del país muestran importantes diferencias en cuanto a su pluviosidad media. La macrocuenca amazónica recibe 1,814 mm/año, mientras que en la del Río De La Plata se precipitan 854 mm/año. La macrocuenca endorreica o del Altiplano recibe 421 mm/año. La cuenca amazónica recibe el doble de precipitación que la del Río De La Plata y cuatro veces más que la del Altiplano (Balance Hídrico de Bolivia, 1990). En cambio, la precipitación en la macrocuenca del Pacífico es mínima: en el período 1983-1995 tuvo un promedio anual de 59.1 mm (Urquidí, 2002a).

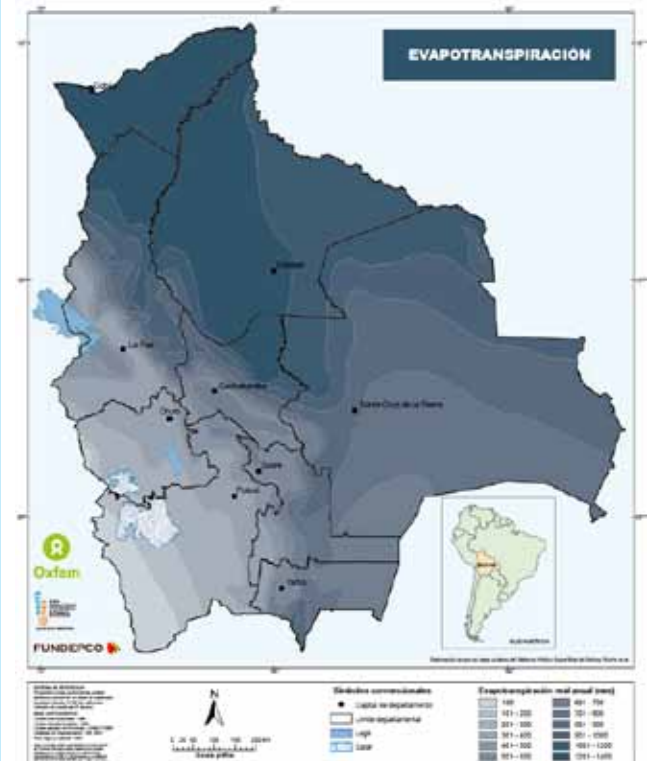
Los caudales anuales de los principales ríos tienen importantes variaciones que dependen de las alteraciones de los parámetros climatológicos. Además, los cambios climáticos influyen en los niveles de evapotranspiración, escurrimiento y caudal específico (**Mapas 3 a 5**). La utilidad de la

Mapa 2. Mapa de Normal Precipitación



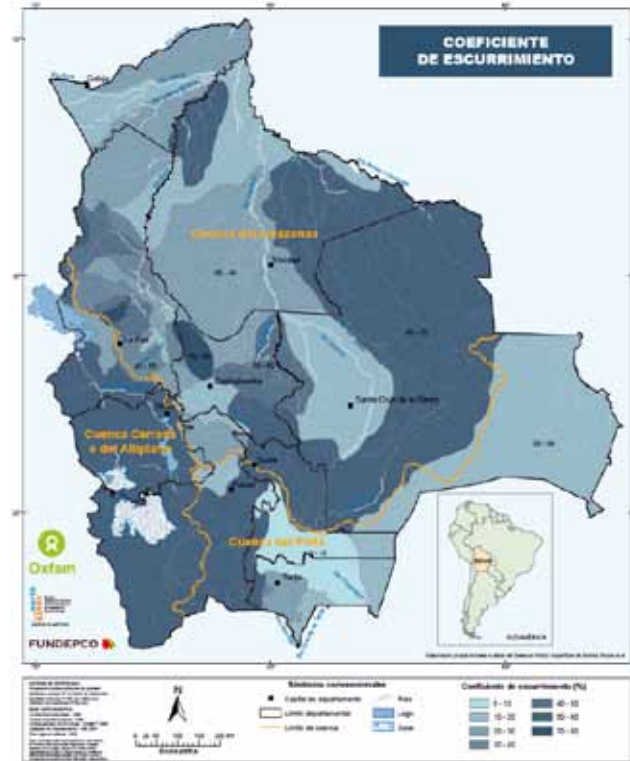
Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 3. Evapotranspiración



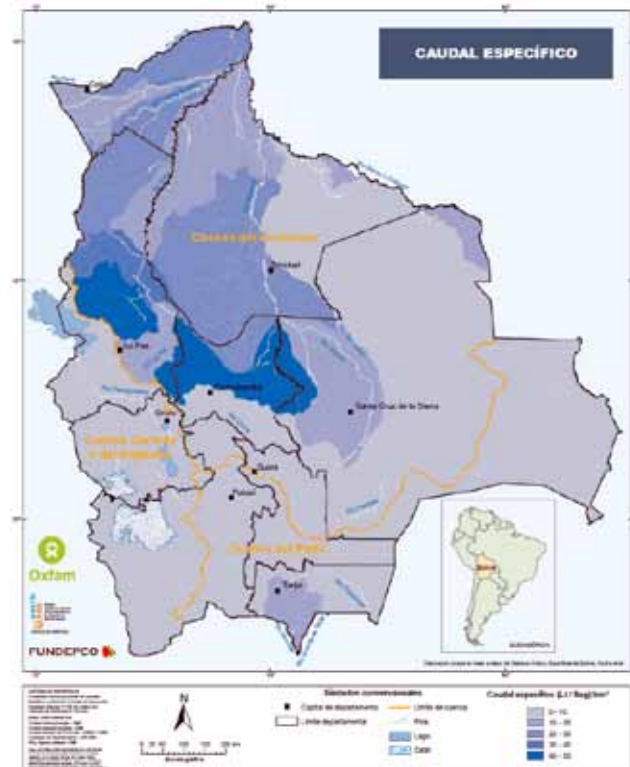
Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 4. Coeficiente de Escurrimiento



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 5. Caudal Específico



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

evapotranspiración real anual mostrada en el Mapa 3 es la de un indicador de aridez de las distintas regiones del país. Como era de esperar, es casi concordante con el Mapa 2 de Normal Precipitación, con las regiones de la Cordillera Occidental y el Altiplano Boliviano como las más áridas del país y los llanos orientales cubiertos con un contenido alto de vegetación como las más húmedas y con los valores más altos de evapotranspiración.

El coeficiente de escurrimiento, que es la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente, es presentado en el Mapa 4. Si bien la escurrimiento se manifiesta en magnitudes importantes en la zona de llanura de la cuenca amazónica, ella resulta negativa cuando se producen las inundaciones que suceden anualmente y que afectan de manera nociva la actividad productiva y la infraestructura vial y urbana.

El Mapa 5 muestra el caudal específico y la comparación entre los comportamientos de las diferentes cuencas de Bolivia. Permite evaluar aproximadamente sus valores, a partir de datos estadísticos en una sección aforada, y la capacidad de aporte en secciones no aforadas de la misma cuenca o en otras similares en proporción a sus áreas. El mapa de caudal específico, que es la cantidad de agua derivada por unidad de superficie de una cuenca y en un intervalo de tiempo dado, muestra que las regiones con las mayores precipitaciones, al oeste de la Cordillera Oriental norte y central (regiones de los Yungas y del Chaparé), están cubiertas con los valores más altos (40 a 50 l/s/km²); que todas las cuencas de la macrocuenca amazónica están cubiertas con valores de 10 a 20 l/s/km² hasta 30 a 40 l/s/km²; que la cuenca del río Bermejo está cubierta con valores de 10 a 20 l/s/km², y que las cuencas del resto del país están cubiertas con valores de 0 a 10 l/s/km².

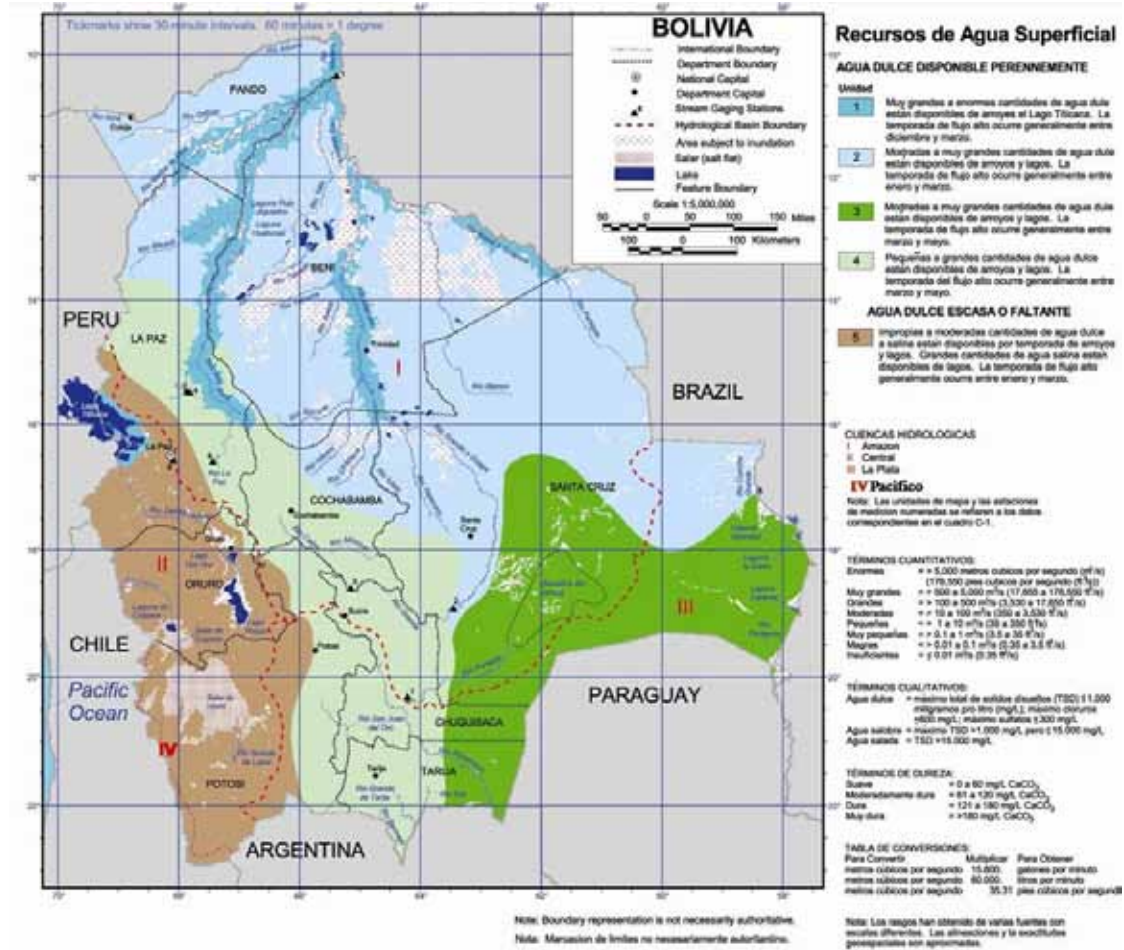
3. Disponibilidad de aguas superficiales

En el territorio de Bolivia, las aguas superficiales se escurren a través de un complejo sistema de ríos, lagos, lagunas, humedales y otros cuerpos de agua. Los recursos hídricos superficiales de una determinada región provienen de la precipitación pluvial en su cuenca de alimentación y de los manantiales (descarga de agua subterránea). Montes de Oca (2005) describió detalladamente las cuencas de aguas superficiales de Bolivia, incluyendo los caudales de algunos ríos.

El Mapa 6 y el Cuadro 1 muestran la abundancia regional del agua dulce disponible en el territorio boliviano, el cual ha sido dividido en dos áreas, la de agua dulce disponible perennemente y otra de agua dulce escasa o faltante.

A escala nacional, se estima la oferta de agua (agua azul) en más de 500,000 Mm³/año y la demanda actual es alrededor de 2,000 Mm³/año, es decir, menos de 0.5% de la oferta total. Se estima que la demanda de agua nacional

Mapa 6. Recursos de agua superficial



Cuadro 1. Unidades de agua dulce disponible

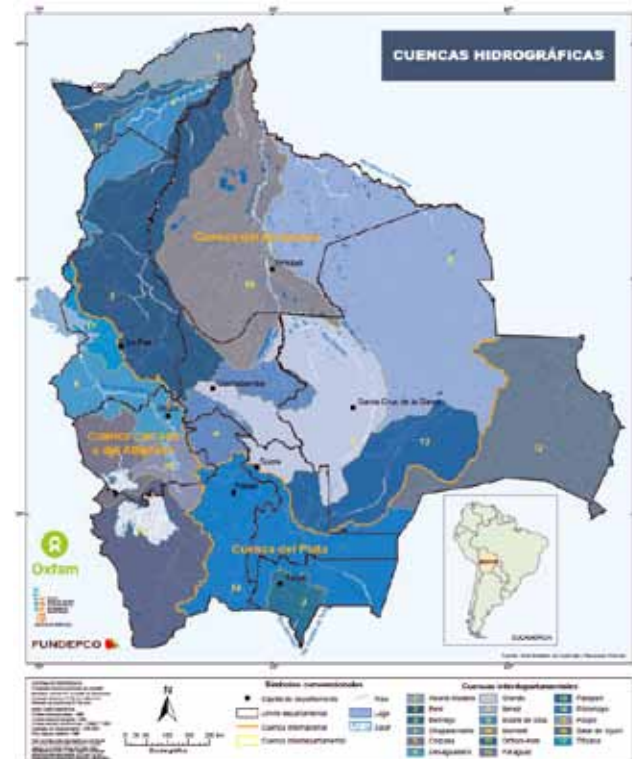
Sector	Unidad	Descripción
Agua dulce disponible perennemente	1	Varias cuencas de la macrocuenca del río Amazonas con grandes (>100 m ³ /seg a 500 m ³ /seg) a enormes (>5,000 m ³ /seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre diciembre y marzo.
	2	Macrocuena del río Amazonas con moderadas (>10 m ³ /seg a 100 m ³ /seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m ³ /seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre enero y marzo.
	3	Sur de la macrocuena mazónica y aguas abajo de la macrocuena De La Plata con moderadas (>10 m ³ /seg a 100 m ³ /seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m ³ /seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre marzo y mayo.
	4	Cabeceras de las macrocuencas del Amazonas y del río De La Plata con pequeñas (>1 m ³ /seg a 10 m ³ /seg) a grandes (>100 a 500 m ³ /seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre marzo y mayo.
Agua dulce escasa o faltante	5	Toda la macrocuena del Altiplano con moderadas (>10 m ³ /seg a 100 m ³ /seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m ³ /seg) cantidades de agua. Grandes cantidades de agua salina disponible. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre enero y marzo.

Mapa 7. Hidrografía



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 8. Cuencas hidrográficas



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

crecerá en 18% hasta el año 2012. Esta relativa abundancia de agua es una gran ventaja comparativa para el país con relación a los países limítrofes. Sin embargo, la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climáticas, descritas anteriormente, es elevada y con frecuentes sucesos hidrológicos y meteorológicos extremos, como lluvias intensas, sequías, granizadas, nevadas, heladas, etc.

Asimismo, los mayores asentamientos humanos y sus actividades productivas están concentrados en las regiones de menor precipitación pluvial del país, lo que, paradójicamente, genera escasez crónica de agua en varias áreas, problema que es agravado por la falta de obras de regulación plurianual. La cabecera de las cuatro macrocuencas del país está en la región occidental o andina (38% del territorio nacional), donde llueve menos y donde vive alrededor de 70% de la población nacional.

Bolivia cuenta con 260 humedales inventariados, de los cuales ocho son sitios Ramsar. Este tema debe ser enfrentado en un futuro cercano con prioridad y de manera ordenada. Alrededor de 20% del territorio nacional está protegido ecológicamente, ya sea por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas o por la protección o servidumbres ecológicas contempladas en la Ley Forestal.

3.1 Cuencas hidrográficas de Bolivia

Las cuencas hidrográficas son consideradas como las unidades más adecuadas para la gestión de los recursos hídricos. Dividir el país en macrocuencas (grandes cuencas), cuencas, subcuencas y microcuencas es un paso hacia un ordenamiento más racional del agua. En el año 2007, el entonces Ministerio del Agua propuso el Plan Nacional de Cuencas para "un desarrollo de la transversal cultural en cuencas como espacios de vida e innovación de la gobernabilidad hídrica" (Plan Nacional de Cuencas, 2007).

Roche *et al.* (1992) fueron los primeros en proponer una división del país en tres grandes cuencas hidrográficas que fue adoptada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en 1998. El MAGDR-PRONAR (2001) también propuso una división en tres grandes cuencas (del Amazonas, De La Plata y Endorreica), 10 cuencas y 36 subcuencas. Sin embargo, el presente trabajo propone cuatro grandes cuencas hidrográficas: 1) la macrocuenca del Amazonas (65.9% del territorio nacional), 2) la macrocuenca del Río De La Plata (20.9% del territorio), 3) la macrocuenca Endorreica o Cerrada del Altiplano (11.4% del territorio) y 4) la macrocuenca del Océano Pacífico (1.8% del territorio). La propuesta de incluir la macrocuenca del Océano Pacífico se basa en los

Cuadro 2. Macrocuenas, cuencas y subcuencas de Bolivia

Macrocuenas	Cuencas	Subcuencas y cuencas menores*
Amazonas (724,000 km²)	Acre (2,340 km ²)	
	Abuna (25,136 km ²)	Manú Madera
	Beni (169,946 km ²)	Orthon Madre de Dios (*Manuripi/*Manurimi) Madidi Tuichi Kaka Boopi Biata Quiquibey Colorado
	Mamoré (261,315 km ²)	Yata Rapulo Apere Isiboro Ibare Río Grande (*Yapacani)
	Iténez (265,263 km ²)	Itonomas Blanco (*San Martín) Paragua7 San Miguelito
De La Plata (229,500 km²)	Pilcomayo-Bermejo (100 300 km ²)	Bermejo Tarija Pilcomayo Pilaya-Tumusla (*San Juan del Oro/*Cotagaita)
	Ríos muertos del Chaco (32,100 km ²)	
	Alto Paraguay (97,100 km ²)	Bahía Caceres Pantanal (Curiche Grande) Otuquis río Negro
Endorreica o Altiplánica (125,733 km²)	Lagos (45,948 km ²)	Titicaca Desaguadero Mauri Caracollo Márquez Poopó
	Salares (79,785 km ²)	Río Grande de Lípez Puca Mayu Lauca (*Turco) Barras
	Norte (4,890 km ²)	Carangas-Todos Santos Pisiga Cancosa
Océano Pacífico (19,348 km²)	Sur (14,458 km ²)	Salar de Empexa Salar de Laguáni Salar de Chiguana Cañapa Pastos Grandes Salar de Chalviri Laguna Verde Zapaleri Manantiales del Silala (**)

Nota: (**) No es subcuena hidrográfica

últimos estudios de los recursos hídricos existentes en la frontera entre Bolivia y Chile. El Cuadro 2 y el Mapa 8 muestran las cuatro macrocuencas o grandes cuencas, 12 cuencas y 53 subcuencas y cuencas menores.

Todas las macrocuencas de Bolivia son transfronterizas, por lo que es relevante considerar el carácter compartido de las aguas. En la mayoría de los casos, Bolivia se ubica en las partes altas o cabeceras de las macrocuencas y los países vecinos en las partes medias y bajas. En ese marco, se ha avanzado en procesos de gestión compartida de los recursos hídricos, y el ejemplo más relevante es la cuenca transfronteriza binacional del lago Titicaca, donde se ha avanzado más "jurídicamente" en este concepto. Las aguas de la cuenca del lago Titicaca están bajo el régimen de condominio, es decir, que cualquier acción en la cuenca

por parte de Bolivia o del Perú debe ser consultada y acordada entre ambos países.

Debido a la irregular distribución de las precipitaciones pluviales, y en función de la magnitud de las cuencas receptoras, se puede indicar que la macrocuenca del Amazonas tiene la mayor disponibilidad de aguas superficiales, y la macrocuenca del Océano Pacífico la menor. Se estima que por la macrocuenca del Amazonas fluyen 180,000 millones de metros cúbicos al año (Mm³/año), por la macrocuenca del Plata 22,000 Mm³/año, y por la macrocuenca Cerrada o Endorreica cerca de 1,650 Mm³/año (Montes de Oca, 2005). En contraste, se estima que por la macrocuenca del Océano Pacífico fluyen de 10 a 12 Mm³/año. El Cuadro 3 presenta el balance hídrico de algunas cuencas hidrográficas del país.

Cuadro 3. Balance hídrico de algunas cuencas de Bolivia

Cuenca	Estación	Área (Km ²)	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Escorrentamiento (mm)	Infiltración (mm)
Macrocuena del Amazonas						
Parapeti	Andes bolivianos	7,500	920	600	320	-
Izozog	Llanura	45,000	887	875	12	57
Parapeti+Izozog	Total	52,500	892	836	56	49
Alto Beni	Confluencia río Kaka	31,240	1,385	741	644	-
Kaka	Confluencia río Alto Beni	21,040	1,586	777	809	-
Beni	Confluencia río Madre de Dios	122,380	1,805	1,092	713	-
Madre de Dios	Confluencia río Beni	125,000	2,715	1,107	1 607	-
Mamoré	Confluencia río Iténez	222,070	1,685	1,060	625	-
Iténez	Confluencia río Mamoré	303,280	1,512	1,227	285	-
Mamoré+Iténez	Confluencia río Mamoré-Iténez	525,350	1,585	1,156	429	-
Madera (Total)	Salida de Bolivia	724,000	1,818	1,170	648	-
Macrocuena Endorreica del Altiplano Boliviano						
Lago Titicaca	Orilla del Lago	48,590	653	470	183	-
Lago Poopó	Orilla del Lago	27,740	370	438	0	-
Salar Coipasa	Orilla	30,170	298	298	0	-
Salar Uyuni	Orilla	46,625	190	190	0	-
Desaguadero	Chuquiña	29,475	414	361	53	-
Total Altiplano	Cerrada	125,733	463	390	83	9
Macrocuena De La Plata						
Pilcomayo	Misión La Paz	98,300	506	439	67	-
Bermejo	Juntas de San Antonio	11,981	1,159	714	418	-
Alto Paraguay	Puerto Suárez	119,219	1,056	830	226	-
Total De la Plata		229,500	829	530	299	-
Macrocuena del Océano Pacífico						
Manantiales Silala	Laguna Colorada	150	59	914	0	14
Total Pacífico		19,348	94	630	0	-
Total nacional		1,098,581	1,419	958	461	19

Cuadro 4. Sistemas de riego por fuente de agua por departamento

Departamento	Ríos		Vertientes		Pozos		Embalses		Total
	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Área (ha)
Chuquisaca	615	18,059	28	587			5	2,522	21,168
Cochabamba	415	48,979	95	3,310	469	13,442	56	21,270	87,001
La Paz	661	23,271	258	4,166	13	163	29	8,393	35,993
Oruro	224	8,513	84	722	4	107	5	4,697	14,039
Potosí	735	10,840	208	4,829	9	68	4	503	16,240
Santa Cruz	225	11,099	3	25	1	380	3	3,735	15,239
Tarija	523	33,771	26	230			1	2,350	36,351
Totales	3,428	154,582	702	13,869	496	14,160	103	43,470	226,031

El Mapa 7 de hidrografía muestra que la macrocuenca amazónica consiste de cuatro grandes cuencas (ríos Madre de Dios, Beni, Mamoré e Iténez) que confluyen para formar el río Madeira (Brasil). El río Parapeti pertenece a la cuenca del río Iténez, con el cual se comunica en época de crecidas. En época seca, gran parte de sus aguas evaporan o filtran hacia la cuenca del río Paraguay. La macrocuenca del Río De La Plata consiste de tres cuencas en el sur del país (ríos Paraguay, Bermejo y Pilcomayo).

En adición a los ríos, el país cuenta con un alto número de lagos y lagunas. Existen seis grandes lagos con superficies mayores a los 200 km²: Titicaca, Poopó, Uru Uru, Coipasa, Rogagua y Rogaguado. El volumen de agua embalsado de 8,966 x 10¹¹ m³ del lago Titicaca está determinado por la precipitación pluvial en su cuenca, que varía mucho de año tras año (Baldivieso, 2005). El régimen hidrológico del lago Poopó, por otra parte, depende de los aportes del río Desaguadero, que a su vez depende de la variación del nivel del agua del lago Titicaca.

En las macrocuencas del Altiplano y De La Plata existen innumerables lagunas de altura que son cabeceras de la mayoría de los ríos de las mismas. Estas lagunas son alimentadas por el deshielo de las ya no nieves eternas (calentamiento global) de las cumbres andinas.

3.2 Usos y calidad de los recursos hídricos

La oferta nacional de agua está estimada en más de 500,000 Mm³/año y la demanda consuntiva actual estimada es tan sólo de 2,000 Mm³/año. El riego para la agricultura con canales y acequias abiertas es el mayor consumidor del agua, alrededor de 94% de la demanda total. El Cuadro 4 muestra el total de área regada, las fuentes de agua y el número de sistemas por departamento.

El agua para consumo humano ocupa el segundo lugar, con una demanda estimada de 104.5 Mm³/año. El mayor consumo de agua en las zonas urbanas es doméstico y sólo cinco de las nueve ciudades capitales de departamento cuentan con servicio de agua potable permanente las 24 horas del día. La ciudad de Cochabamba enfrenta los mayores problemas de abastecimiento de agua potable, seguida de las ciudades de Potosí, Sucre y Cobija. El Cuadro 5 muestra el tipo de fuente y caudal ofertado en las nueve capitales departamentales de Bolivia.

A pesar del notable incremento en la cobertura de servicios de agua potable en el sector urbano y rural nacional, aún 30% de la población boliviana no cuenta con agua potable. En el área rural se tienen muchas dificultades de abastecimiento de agua potable especialmente por la dispersión poblacional, la poca capacidad municipal para generar y canalizar proyectos, y la falta de interés de inversión del sector privado. En el área rural, además de tener bajos porcentajes de cobertura, en la mayoría de los casos el abastecimiento se realiza a través de fuentes públicas y no de conexiones domiciliarias, como ocurre mayormente en el área urbana.

La industria y la minería son los otros usuarios importantes de agua con 31.5 Mm³/año, lo que equivale a 1% de la demanda total del país.

Los recursos hídricos no consuntivos están en 8,000 km de ríos navegables (vías fluviales o hidrovías), la mayoría ubicados en el sistema fluvial amazónico y la hidrovía Paraguay-Paraná.

En el sector energético, existe en el país un total de 68 centrales hidroeléctricas, desde pequeños sistemas del orden de 0.006 MW de potencia instalada, hasta sistemas de 72

MW. La capacidad instalada en centrales hidroeléctricas es de 308.4 MW, que se encuentra entre 2.8% y 1.5% de la potencia económicamente utilizable. A principios del año 2000, la Empresa Nacional de Electrificación (ENDE) inventarió otros 81 aprovechamientos hidroeléctricos con un potencial hidroeléctrico teórico nacional que alcanza los 190,000 MW de potencia instalada equivalente, un potencial técnicamente útil de 57,000 MW y una potencia técnicamente utilizable que puede encontrarse en el rango de 11,000 MW y 20,000 MW.

En cuanto a la calidad del agua, la actividad minera, la industrial y la ciudadana en las grandes ciudades originan la contaminación de cursos de agua importantes, que luego son utilizados aguas abajo principalmente en actividades agrícolas. En estos ríos, la carga contaminante es extremadamente grande, y los valores de materia orgánica están por encima de 100 mg/l. La minería genera un drenaje de ácido de rocas (DAR) con metales pesados que es difícil de controlar en los sistemas hídricos superficiales y subterráneos.

En los cursos de agua mayores de la vertiente amazónica, el deterioro de la calidad del agua se manifiesta por la elevada concentración de sedimentos, originados por los procesos de erosión laminar y movimiento de masas en las cuencas altas, así como por los altos niveles de concen-

tración de sustancias utilizadas en la explotación aurífera. La misma situación se presenta en los ríos de la vertiente De La Plata, donde la actividad minera es predominantemente por la explotación de estaño, zinc y plomo.

4. Disponibilidad de aguas subterráneas en Bolivia

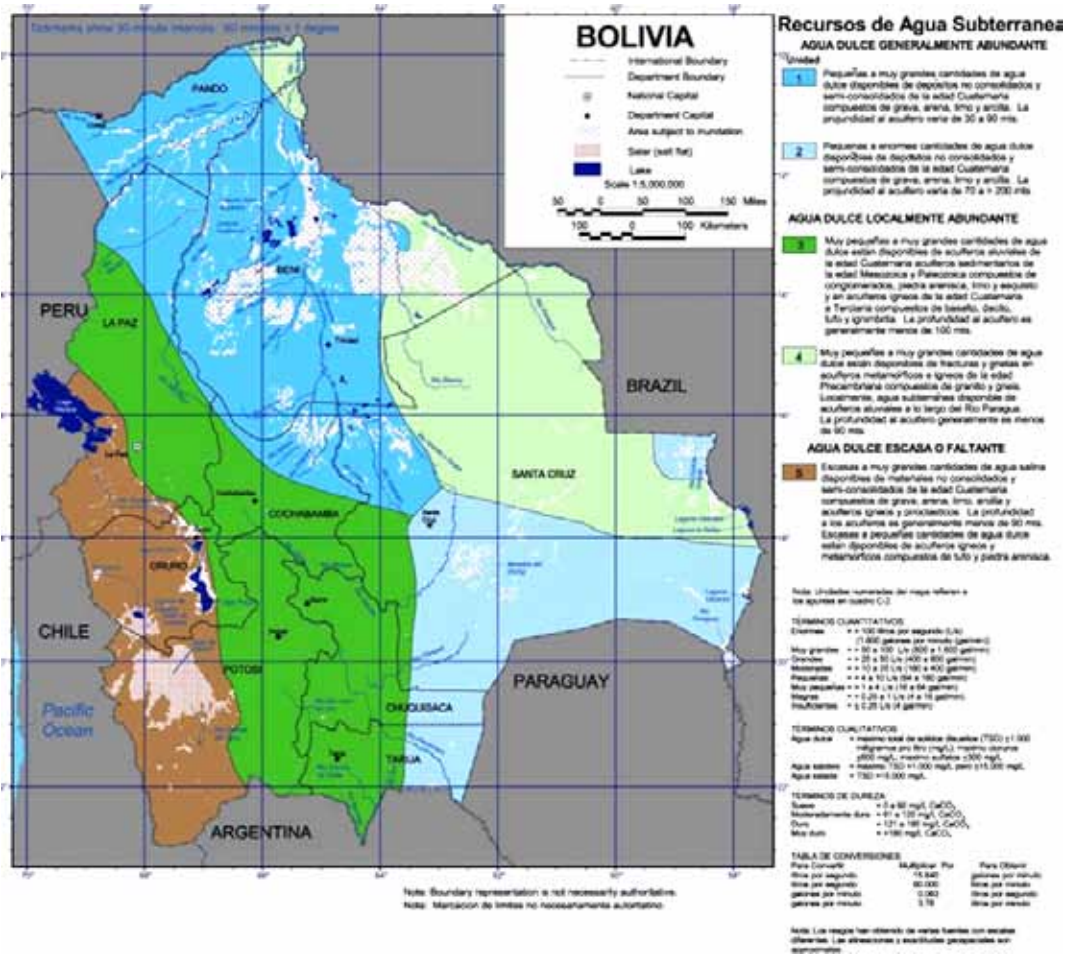
Las aguas subterráneas no siempre son tomadas en cuenta en los planes de manejo de cuencas, lo cual es extraño y nada práctico cuando se conoce que el mayor porcentaje del abastecimiento de agua potable y agua de riego en las zonas rurales y urbanas proviene de acuíferos subterráneos.

La disponibilidad de aguas subterráneas depende de varios factores, como puede ser la naturaleza de las rocas por donde fluyen los acuíferos, es decir, el tipo de roca, ya sean éstas sedimentarias o rocas ígneas efusivas altamente fracturadas. También depende de las condiciones hidrodinámicas y las condiciones de carga y recarga. La calidad de las aguas subterráneas tiene una relación directa con los volúmenes de precipitaciones de lluvia, así como con el tipo y la composición de las rocas donde se aloja o acumula el agua de lluvia o de deshielos luego de percolar hacia ellas.

Cuadro 5. Tipo de fuente y caudal ofertado en las capitales de departamento

Ciudad	Empresa	Fuente	Caudal-Q (l/s)
La Paz/El Alto	EPSAS (Empresa estatal mixta)	Ocho fuentes superficiales ubicadas en la Cordillera Real (Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapu, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo)	Entre 2,011 y 4,525
Santa Cruz	SAGUAPAC (Cooperativa) Nueve cooperativas pequeñas	Acuíferos subterráneos (Tilala) (30 pozos)	347 – 2,067
			722
Cochabamba	SEMAPA (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (Escalerani, Wara Wara, Chungara, Hierbabuenani)	Entre 191 y 404
		Acuíferos subterráneos	462
Sucre	ELAPAS (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (sistema Cajamarca que comprende los ríos Cajamarca, Safiri y Punilla)	82
		Fuentes superficiales (sistema Ravelo que comprende los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Fisculco)	389
Oruro	SELA-Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (ríos Sepulturas y Huayña Porto)	34
		Fuentes subterráneas (Pozos en Challa Pampa, Challa Pampita y Aeropuerto)	528
Potosí	AAPOS (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (Lagunas Khari Khari)	195
Trinidad	COATRI (Cooperativa)	Fuentes subterráneas	118
Tarija	Cooperativa	Fuentes superficiales (ríos Rincón La Victoria, Guadalquivir, San Jacinto)	574
		Fuentes subterráneas	279
Cobija	Empresa municipal	Fuente superficial (Arroyo Bahía)	24

Mapa 9. Recursos de agua subterránea



Existen varias otras razones por las cuales se deben considerar las aguas subterráneas en todo análisis de gestión de aguas. Una de ellas es que, en muchos casos, las aguas subterráneas y superficiales están interconectadas. Las principales zonas de recarga de los acuíferos son los humedales, los abanicos aluviales u otras zonas con suelos permeables. En la macrocuenca alta del Río de la Plata, estas infiltraciones parecen ser muy importantes (Roche *et al.*, 1992). En períodos de torrenceras, el río alimenta el acuífero, mientras que el acuífero descarga al río en épocas de estiaje. Este fenómeno ha sido observado en el Chaco Paraguayo con el acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño. En general, en todo el territorio nacional, las zonas de descarga superficiales son cada vez más escasas, debido a que los niveles freáticos están descendiendo y las zonas de recarga están sufriendo alta contaminación. Los bofedales andinos son descargas de aguas subterráneas que no escurren, por lo que, al mantenerse, forman pastizales que son aprovechados por los auquénidos.

Los recursos hídricos subterráneos no han sido aún cuantificados a nivel nacional. Se cuenta con estudios locales muy limitados y su información técnica no está organizada ni nada sistematizada. En 1985, el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) desarrolló y publicó el Mapa Hidrogeológico Regional de Bolivia y definió en el país cinco provincias hidrogeológicas que presentan diferencias fundamentales en la conformación litológica y estructural.

El Mapa 9 de los recursos de agua subterránea muestra las cinco grandes unidades hidrogeológicas con una descripción de la abundancia existente de agua dulce en cada una de ellas.

El Cuadro 6 tiene una descripción detallada de la abundancia de agua dulce disponible en los distintos sectores y unidades mostrados en el Mapa 9 de los recursos de agua subterránea, con un detalle de los diferentes tipos de depósitos, su edad geológica y la composición de los mis-

mos. Además indica la variación de la profundidad de los acuíferos encontrados en la unidad.

Se estima que los acuíferos con mayor potencial se encuentran en las provincias hidrogeológicas de la vertiente Amazonas, del Pantanal-Chaco Boreal y del Altiplano Norte.

Un segundo grupo lo constituyen los acuíferos en rocas consolidadas altamente fisuradas de productividad mediana a alta y algunos con recursos de aguas subterráneas notables. En este grupo son consideradas algunas rocas ígneas volcánicas (ignimbritas) altamente fisuradas o diaclasadas del Neógeno Superior al Cuaternario. Este tipo de acuíferos son encontrados en la macrocuenca del Océano Pacífico, a pesar de que su distribución no es muy amplia. La ocurrencia de las vertientes o manantiales en superficie está condicionada a dos factores principales: el grado de soldadura de la ignimbrita y la presencia de fracturas regionales y locales.

5. Problemática de las aguas superficiales transfronterizas

Al ser Bolivia un país de aguas arriba y aguas abajo con caudales importantes, la problemática transfronteriza de las aguas superficiales es algo compleja y es presentada en el [Mapa 10](#). Los detalles de la misma son resumidos en los párrafos siguientes.

5.1 Caso de los ríos Madera y Beni

La cuenca del río Madera (parte de la macrocuenca amazónica) es la mayor en importancia de todo el sistema hidrográfico nacional. Su área, que es una amplia extensión de 720,057 km², representa el 65,5% del territorio nacional y el 99,7% de la superficie de la vertiente amazónica. La forman numerosos ríos con importantes volúmenes de agua, lo que la constituye en la columna vertebral del nordeste boliviano.

El río Madera es un curso de agua internacional, de curso contiguo, puesto que sirve de límite entre las repúblicas de Brasil y Bolivia. En territorio boliviano, el río Madera se origina de la confluencia de los ríos Beni y Mamoré. Al ingresar en territorio brasileño, toma el nombre de río Madeira y se constituye en el principal afluente del río Amazonas. El río Madera no es navegable a lo largo de sus 98 km en territorio boliviano por las numerosas afloraciones rocosas (Escudo Brasileño) que se dan en su lecho denominadas "cachuelas". Sus afluentes por la margen derecha, en territorio brasileño, son los ríos Dos Araras y Ribera, y por la margen izquierda, en territorio boliviano, son los ríos Mamoré, Abuná, Arroyo La Gran Cruz y el río Beni.

Casi todos los ríos amazónicos del país sostienen un transporte fluvial importante y una pesca de subsistencia para las poblaciones ribereñas. Además, algunos ríos (Ichilo, Mamoré, Iténez, Beni, Madre de Dios) también sostienen una pesca comercial. Se han identificado un total de 389 especies piscícolas en la Amazonía Boliviana.

Cuadro 6. Unidades de agua subterránea

Sector	Unidad	Descripción
Agua dulce generalmente abundante	1	Pequeñas a muy grandes cantidades de agua dulce disponible de depósitos no consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo y arcilla. La profundidad de los acuíferos varía de 30 a 90 m.
	2	Pequeñas a enormes cantidades de agua dulce disponible de depósitos consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo y arcilla. La profundidad de los acuíferos varía de 70 a 200 m.
Agua dulce localmente abundante	3	Muy pequeñas a grandes cantidades de agua dulce están disponibles de acuíferos aluviales de edad Cuaternaria, acuíferos sedimentarios de edad Mesozoica y Paleozoica, compuestos de conglomerados, areniscas, limo y esquistos, y en acuíferos ígneos de edad Cuaternaria a Terciaria compuestos de basaltos, dacita, tobas e ignimbritas. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 100 m.
	4	Muy pequeña a grandes cantidades de agua dulce están disponibles en fracturas y grietas en acuíferos metamórficos a ígneos de edad Precámbrica, compuestos de granitos y gneis. Localmente, agua subterránea disponible de acuíferos aluviales a lo largo del río Paraguay. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 90 m.
Agua dulce escasa o faltante	5	Escasas a muy grandes cantidades de agua salina disponibles de materiales no consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo, arcilla y acuíferos ígneos y piroclásticos. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 90 m. Pequeñas a muy grandes cantidades de agua dulce están disponibles de acuíferos ígneos y metamórficos compuestos de tobas y areniscas.

Durante los años 2001 y 2002, con licencia del Gobierno del Brasil, las empresas brasileras Furnas Centrais Eléctricas SA y la Constructora Noberto Odebrecht SA realizaron un estudio del inventario hidroeléctrico del río Madera, en territorio boliviano, y del río Madeira, en territorio brasileño, y determinaron la ubicación de cuatro plantas hidroeléctricas.

En el año 2004 se concluyeron los estudios de factibilidad de las plantas, y en 2005 la empresa Leme Engenharia presentó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Luego de varios cuestionamientos por agencias ambientalistas brasileras y del Gobierno de Bolivia, el EIA es aprobado en el año 2007 por el Instituto Brasileiro del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA). En agosto de 2008 se otorgó la licencia para la construcción del embalse de la hidroeléctrica de San Antonio en el río Madeira.

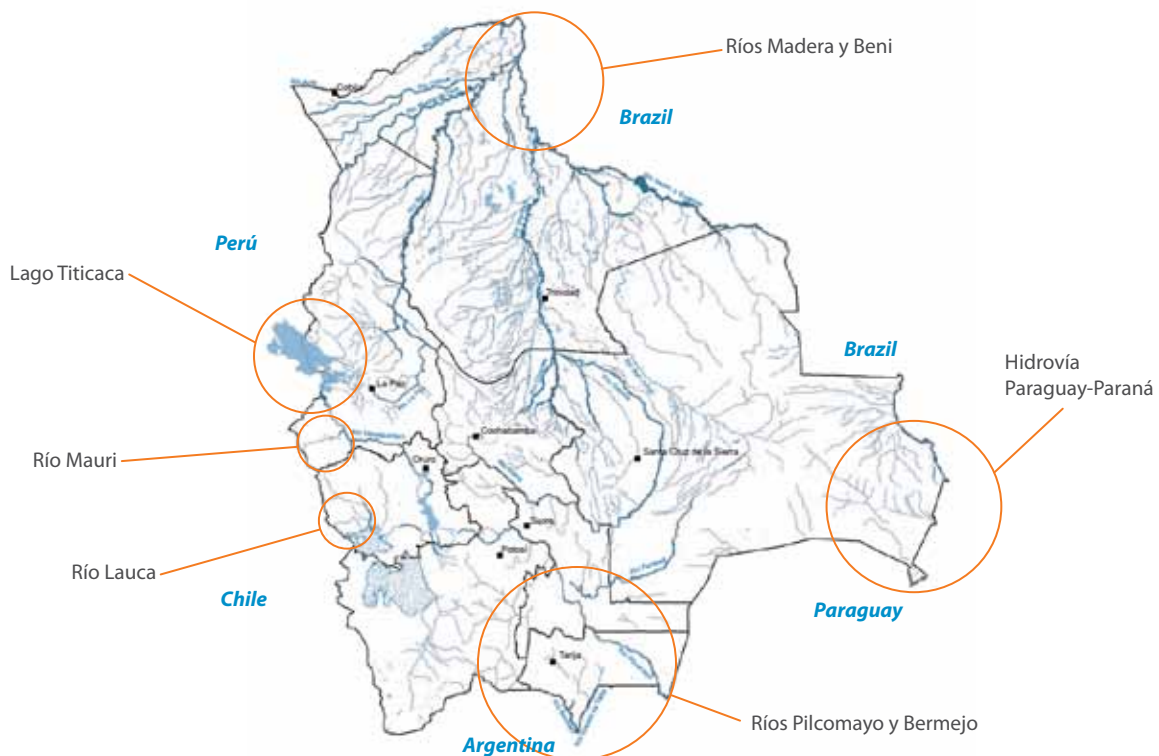
Problemática:

- Se planifica la construcción de cuatro embalses en los ríos Madeira, Madera y Beni para suministrar agua a un número similar de plantas hidroeléctricas y elevar el nivel del agua para asistir el transporte fluvial. Dos de las represas se construirían en territorio boliviano y dos en territorio brasileño. El Cuadro 7 muestra algunas características de las plantas que se tiene planeado construir.
- Estos embalses provocarían graves impactos ambientales y sociales por inundaciones extensas calculadas en más de 2.6×10^5 de km^2 .
- Se programa un devastador talado de foresta amazónica para expansión de cultivos de soya con una producción estimada de 24×10^6 TM de soya por año.
- Brasil compensaría los daños ecológicos y el uso

Cuadro 7. Plantas eléctricas proyectadas

Planta hidroeléctrica	Caída (m)	Potencia instalada (MW)	Energía anual (GWh)
Santo Antonio	18	3,580	19,000
Jirau	20	3,800	20,000
Abuna-Guayaramerín	20	4,200	25,000
Esperanza	15	3,800	20,000

Mapa 10. Problemática transfronteriza de las aguas superficiales



del agua con el necesario financiamiento para la pavimentación del Corredor Vial Norte La Paz-Guayaramerín-Cobija.

- Bolivia necesitaba insistir en la importancia de realizar un proceso de análisis y discusión técnica de los proyectos que se construirán en Bolivia y Brasil.
- Contaminación con mercurio metálico por operaciones mineras auríferas.

5.2 Caso del lago Titicaca

El lago Titicaca es compartido con la República Peruana y tiene una extensión de 8,030 km² con un espejo de agua a una altura promedio de 3,809 msnm. La profundidad media del lago mayor es de 135 m y del lago menor de 23 m. El volumen de agua calculado es de 8,966.3 x 10¹¹ m³.

La pesca en el lago Titicaca es dirigida a la trucha y a especies nativas. En la parte boliviana del lago Titicaca las tasas de capturas alcanzan un máximo de 2,600 toneladas/año. Sin embargo, existen indicaciones de sobrepesca de las especies exóticas y hay preocupación en cuanto al futuro de la trucha y la supervivencia de algunas especies nativas. Los recursos pesqueros del lago Titicaca sostienen entre 1,500 y 3,500 pescadores del lado boliviano, ya sea de tiempo completo, medio tiempo u ocasionales.

Entre Perú y Bolivia se tiene firmado el Acuerdo del Lago Titicaca (ATL) y se ha conformando el Organismo Binacional del Lago Titicaca que, a través de la Autoridad del Lago Titicaca, regula toda la actividad del lago. La Unidad Operativa Boliviana de la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (UOB-ALT) se constituye en el brazo técnico de dicho Organismo Binacional. La UOB-ALT está orientada a la realización de la cartografía temática con levantamientos

integrados; la medición de caudales en los principales cursos fluviales de la cuenca; la conservación y el manejo de los recursos naturales; la conclusión y actualización permanente de los estudios de las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca-Río Desaguadero-Lago Poopó-Salar de Coipasa (TDPS), y a la ejecución del Plan Director de construcción de a) puentes de riego, b) obras hidráulicas, c) dragado del río Desaguadero y d) construcción de compuertas para control de desagüe.

Problemática:

- La cuenca del lago Titicaca es compartida con el Perú.
- Es necesario resolver el tema de inundaciones y regulación de las aguas.
- El aporte total de los ríos es de 66.7 x 10⁹ m³ y es cuestionado por el Perú, ya que más del 80% del agua que converge en el lago proviene de ríos del Perú.
- Se ha estimado que las aguas desaguadas o pérdidas por el río Desaguadero es de un volumen de 0.66 x 10⁹ m³.
- La contaminación de las aguas del lago causada por los desechos no tratados vertidos por las poblaciones establecidas en sus orillas (Puno, Copacabana y otras) es una situación preocupante. Se tiene un componente de medio ambiente que debe ser implementado por ambos países.

5.3 Caso del río Mauri (Maure)

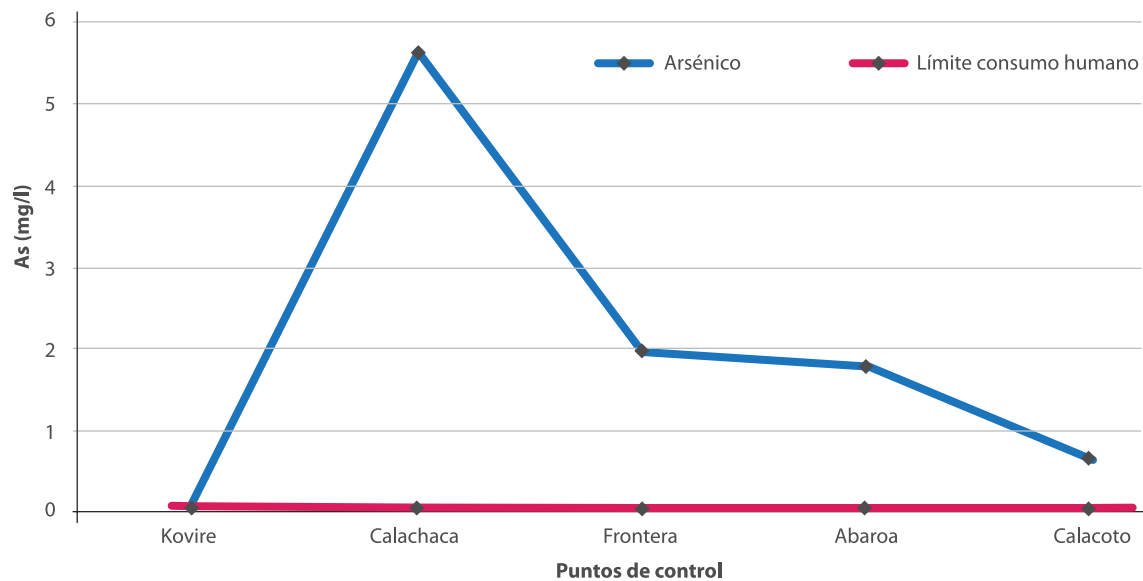
El río Maure nace en la Laguna de Vilacota en la Cordillera Occidental del Perú, para luego ingresar a Bolivia a la altura de la población de Charaña (Urquidí, 2005b) con el nombre de río Maure. Forma parte del sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salares) que drena las aguas del Altiplano Boliviano central. La cuenca del río Maure-Mauri cubre

Cuadro 8. Elementos tóxicos y aptitud de las aguas del Río Maure-Mauri

Sitio	B (mg/l)	As. (mg/l)	Uso poblacional	Uso en riego
Kovire	1.43	< 0.10	Aceptable	C1S1
Calachaca	30.5	5.63	No	C3S3
Frontera	12.5	2.0	No	C3S2
Abaroa	13.5	1.81	No	C3S2
Calacoto	10	0.69	No	C3S1
Caquena 1	8.82	0.13	No	C3S1
Caquena 2	16	0.5	No	C4S3
Blanco			No	C2S1
M. Calachaca			No	C2S1
M. Mamuta			Aceptable	C1S1

*El incremento en Calachaca se debe a las aguas contaminadas de la Quebrada Putina.

Figura 2. Variación del arsénico en el río Maure-Mauri



parte de los departamentos de Puno y Tacna (Perú), de los departamentos de La Paz y Oruro (Bolivia) y de la provincia de Parinacota de la Región I (Chile).

Para tratar la problemática del río Mauri (Maure) se conformó entre Bolivia y Perú la Comisión Binacional del Río Mauri con bases operativas en La Paz y Tacna. Se considera a la Comisión como parte del Acuerdo del Lago Titicaca (ALT).

Problemática:

- Tratar el problema de contaminación natural de boro y arsénico causada por el afloramiento de aguas termales en la Quebrada de Putina (Cuadro 8 y Figura 2).
- Solicitud del Perú para disminuir el caudal que transporta el río Maure hacia Bolivia al cortar los flujos de los afluentes al río Maure.
- Construcción de canales en el lado peruano para evitar la contaminación de las aguas de los ríos afluentes al río Maure. Se realizará un *by pass* de las aguas a través de los canales.
- Compensación monetaria del Perú a Bolivia y posible compensación de Bolivia por el uso de las aguas del lago Titicaca a través del río Desaguadero.

5.4 Caso del río Lauca

El río Lauca nace en territorio chileno en las Ciénegas de Parinacota y la Laguna Cotacotani (4,400 m) y desemboca en la Laguna de Coipasa, cerca de la población de Santa Ana de Chipaya en territorio boliviano (3,760 m). Cruza la frontera chileno-boliviana en la Portezuela de Macaya

(3,892 m), en el Hito XX, y desemboca en la Laguna de Coipasa, cerca de la población de Santa Ana de Chipaya en territorio boliviano (3,760 msnm) (Urquidi, 2005a).

Desde la década de 1930, el Gobierno de Chile considera el río Lauca como un río internacional (transfronterizo) de curso sucesivo, con derecho al uso del 50% de su caudal en territorio chileno.

El desvío unilateral y trasvase de 50% de las aguas en el año 1962 hacia el valle de Azapa, Arica, sin compensación, dio lugar al rompimiento de relaciones diplomáticas por parte de Bolivia.

Los caudales medidos en territorio boliviano son los siguientes:

- Río Lauca (frontera): 2.60 m³/s
- Río Sajama: 4.99 m³/s
- Río Cosapa: 3.00 m³/s
- Río Turco: 2.45 m³/s
- Desembocadura Laguna Coipasa: 13.0 a 15.0 m³/s

Problemática:

- Bolivia necesita conocer el caudal real del río en territorio chileno para así poder solicitar la compensación necesaria y asegurar que reciba el 50% del caudal que le corresponde. No se tiene información sobre el caudal en cabecera ni al final del túnel de trasvase al Valle de Azapa.
- Reanudación de relaciones diplomáticas entre ambos países.

5.5 Caso de los ríos Pilcomayo y Bermejo

La Cuenca del Pilcomayo es trinacional (Bolivia-Argentina-Paraguay) con 1.5 millones de habitantes, de los cuales 1 millón viven en territorio boliviano. La Cuenca del Bermejo es binacional (Bolivia-Argentina) con una población de 1.12 millones de habitantes, de los cuales 243,000 son ciudadanos bolivianos.

La vertiente del Plata se encuentra situada al sudeste del país; ocupa una superficie de 224,918 km² aproximadamente, y constituye geográficamente la segunda en extensión. Comparten la vertiente los departamentos de Tarija, Santa Cruz, Chuquisaca, Potosí y Oruro.

Para el manejo de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo se han conformado las siguientes organizaciones en acuerdos firmados por Bolivia, Paraguay y Argentina:

- Comité Interamericano de la Cuenca del Plata.
- En 1989 se creó la Comisión Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo para concertar y coordinar políticas y acciones de negociación internacional de ambas cuencas. Este órgano colegiado tiene una Oficina Técnica Nacional (OTNPB), con sede en Tarija, que es el órgano operativo y de aporte técnico.
- En 1995 se crearon las Comisiones Trinacional y Binacional para el desarrollo de cada una de las cuencas.
- La OTNPB tiene los siguientes programas:
 - Programa Estratégico de Acción (PEA) para la Cuenca Binacional del Río Bermejo.
 - Programa de Construcción de las Presas de Las Pavas, Arrazayal y Cambarí.
 - Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Problemática:

- Bolivia es cabecera de cuenca (cuenca vertiente).
- Maximizar el uso de sus aguas en el país (caudal regulado).
- No causar perjuicios sensibles a los países aguas abajo.
- Se deberán reconsiderar proyectos de presas (financiamientos y usos).
- Continuar con los proyectos de restauración ambiental y deposición de sedimentos.

5.6 Caso de la Hidrovía Paraguay-Paraná

La Hidrovía Paraguay-Paraná cuenta con Puerto Aguirre y el puerto Gravelal que reciben carga tanto nacional como internacional. Esta hidrovía se constituye en la más im-

portante de las vías que provee a Bolivia acceso al Océano Atlántico. El sistema hidrográfico Paraguay-Paraná tiene una extensión de 3,442 km desde sus cabeceras en el Estado de Mato Grosso hasta el delta de los ríos Paraná. La superficie del área de influencia directa de la hidrovía es de aproximadamente 1,750,000 km², con una población que sobrepasa los 17,000,000 habitantes. En Bolivia, el área de influencia cubre 370,000 km² (departamento de Santa Cruz y parcialmente Tarija y Chuquisaca). Hoy, la hidrovía ya tiene una gran importancia para el comercio de soya y minerales de hierro.

Para el manejo de la hidrovía se han conformado las siguientes organizaciones:

- Comité Intergubernamental de la Hidrovía Paraguay-Paraná (CIH).
- Tratado de la Cuenca del Plata.
- Acuerdo de Transporte Fluvial por la Hidrovía Paraguay-Paraná (Puerto Cáceres-Puerto de Nueva Palmira).
- Siete protocolos adicionales y sus reglamentos sobre: a) navegación y seguridad, b) seguros, c) condiciones de igualdad de oportunidades para una mayor competitividad, d) asuntos aduaneros, e) cese provisorio de bandera y f) solución de controversias. El séptimo protocolo es la prórroga del acuerdo por 15 años.

Problemática:

- Existen limitaciones en el número de barcazas que pueden ser transportadas hasta los puertos bolivianos por la infraestructura brasilera cerca del canal.
- Por el tramo Puerto Cáceres-Corumbá navegan convoyes menores de 2 x 2 (2,500 a 3,000 TM).
- Por el canal Corumbá-Canal Tamengo navegan convoyes de cuatro barcazas con remolcador de popa y un secundario de proa.
- Radios de curvatura demasiado restringidas.
- Puertos nacionales de Central Aguirre y de Gravelal.

6. Problemática de las aguas subterráneas transfronterizas

Las aguas subterráneas se deben considerar en todo análisis de gestión de aguas. En muchos casos, las aguas subterráneas y superficiales están interconectadas. Como ya se

señaló, las principales zonas de recarga de los acuíferos son los humedales (bofedales), los abanicos aluviales u otras zonas con suelos permeables. En períodos de torrenceras, el río alimenta el acuífero, mientras que el acuífero descarga al río en épocas de estiaje. En el territorio nacional, las zonas de descarga superficiales son cada vez más escasas, debido a que los niveles freáticos están descendiendo y las zonas de recarga están sufriendo alta contaminación.

Los recursos hídricos subterráneos en el país no han sido aún cuantificados. Únicamente se cuenta con estudios locales muy limitados y con información técnica sistematizada de pozos perforados en el Valle Alto de Cochabamba y en el Norte del Altiplano. En 1985, el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) desarrolló y publicó el Mapa Hidrogeológico de Bolivia.

En la actualidad, las prefecturas departamentales, con asistencia de financiamiento internacional, tienen varios programas de perforación de pozos para proveer agua a poblaciones rurales. Sin embargo, estas instituciones no están registrando la información de los pozos perforados ni sus características hidrogeológicas, lo que significa que la información será una pérdida y que no podrá ser utilizada en el futuro para ubicar, calificar y cuantificar las numerosas cuencas subterráneas que se encuentran ubicadas en todo el territorio nacional.

Por obvias circunstancias, la problemática transfronteriza de las aguas subterráneas es más complicada que la problemática de las aguas superficiales.

6.1 Caso de las aguas subterráneas en el sudoeste de Bolivia: manantiales del Silala

La manifestación de agua en superficie de los manantiales del Silala proviene de un acuífero transfronterizo ubicado en la frontera de Bolivia-Chile con un gradiente hidráulico que determina el movimiento de las aguas de este a oeste. El acuífero transfronterizo en el área del Silala está emplazado en las Ignimbritas Silala (7.8 ± 0.3 Ma, Mioceno Sup.) y probablemente en formaciones geológicas infrayacentes que no afloran en el área. Las Ignimbritas Silala están altamente fracturadas y afloran en el área debido a una erosión diferenciada de las rocas volcánicas y a fallas que han dado lugar a la formación de quebradas ensanchadas por procesos fluvio-glaciales. Las ignimbritas (rocas ígneas volcánicas), por su relativo bajo grado de soldadura y su alta fracturación, permiten una buena transmisividad y permeabilidad del acuífero.

La totalidad de los manantiales que afloran en el área del Silala, tanto en el lado boliviano como en el chileno, son descargas del acuífero de las Ignimbritas Silala. En muchos casos se observan manantiales que surgen directamente de las diaclasas y fisuras (mayormente en el lado chileno). Los bofedales saturados del área (mayormente en el lado boliviano), conformados por sedimentos finos Cuaternarios y Recientes y que cubren las ignimbritas, son alimentados y saturados por el agua que surge del acuífero de origen ígneo subyacente.

Mediante la Escritura Pública No. 48 del 23 de septiembre de 1908, la Prefectura del Departamento de Potosí dio en concesión el uso de las aguas de las vertientes del Silala a la empresa ferroviaria The Antofagasta (Chili) and Bolivian Railway Company Limited. Desde entonces hasta hoy día, empresas chilenas aprovechan el agua que se produce en los Manantiales del Silala. Estas aguas fueron concedidas para su uso en las locomotoras de vapor de la empresa ferroviaria. Desde principios del año 1960, estas locomotoras fueron cambiadas a locomotoras de diesel, mucho más eficientes. A partir de entonces, el uso del agua concesionada ha sido cambiado para satisfacer las demandas de recursos hídricos de las ciudades de Antofagasta, Calama y otras, así como la demanda de la industria cuprífera chilena.

Bolivia considera que las aguas que escurren del Silala hacia Chile, a través de canales abiertos, provienen de los manantiales o vertientes que afloran en la superficie formando bofedales andinos. Por su parte, Chile considera las aguas que escurren del Silala como un río de curso continuo transfronterizo. Ambas posiciones diplomáticas han sido expresadas en cartas reversales cursadas en el año 1999 y no han cambiado en su contexto hasta el presente.

A principios de 1908, los manantiales fueron canalizados mediante canales recolectores abiertos de piedra construidos por la empresa The Antofagasta (Chili) and Bolivian Railway Company Limited. En la actualidad, el agua escurre hacia Chile a través de estos canales abiertos.

De acuerdo con análisis por métodos del C^{14} realizados a fines del año 2006, las aguas del Silala son antiguas (fósiles), de 9,300 a 10,000 años de edad.

En un resumen de la hidrogeoquímica y características físicas del agua que aflora en los manantiales del Silala, tanto en los bofedales como en las paredes de las ignimbritas, es del tipo bicarbonato de sodio. Geoquímicamente se encontró una relación de los cationes de $rNa > rCa > rMg$ y de los aniones $rHCO_3 > rCl > rSO_4$.

El RAS determinado es de la clase C1S1, o sea, de baja salinidad y baja relación de Na. El TSD está entre 111 mg/l y 192 mg/l, y el pH es de 7.40 a 8.35. La conductividad eléctrica muestra dos tipos de agua, una localizada en el bofedal sur de 209 a 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la otra en el bofedal norte, coincidente con el agua que aflora de los manantiales del lado chileno, de 95 a 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura del agua que aflora es de 13°C a 16°C.

Los caudales medidos en ambos lados de la frontera son los siguientes:

- **Lado boliviano**
 - Caudal promedio: 200 l/s
 - Nivel piezométrico: 0.40 a 0.67 m
 - Número de manantiales: más de 70
- **Lado chileno**
 - Caudal promedio: 300 l/s
 - Número de manantiales: más de 30

Problemática:

- En los últimos 100 años, Chile ha recibido agua proveniente de los Manantiales del Silala que afloran en el lado boliviano.
- Desde 1997, el Gobierno de Chile ha ofrecido comprar el 50% de la producción de agua en el lado boliviano, o sea 100 l/s, a un precio aún no determinado. Esta oferta ha sido reiterada recientemente por el Gobierno de Chile y, de acuerdo con publicaciones en los medios de comunicación nacionales, el gobierno del presidente Evo Morales la está considerando.

6.2 Caso del acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño

El acuífero denominado Yrendá-Toba-Tarijeño por los tres países Paraguay, Argentina y Bolivia tiene una superficie aproximada de 300,000 km² y se encuentra alojado en sedimentos multicapas no consolidados del Cuaternario y del Terciario. No es un acuífero confinado, sino un sistema acuífero en muchas capas permeables que tienen contenidos variables de agua. El sector boliviano del acuífero tiene un área que comprende el sector del Chaco tarijeño, del Chaco de Chuquisaca y también de Santa Cruz de la Sierra. El límite oeste es el subandino, es decir, la serranía de Aguaragüe, y el límite este todavía no está definido, pero es aproximadamente en el sector de Mariscal Estigarribia, en el sector del Chaco Central de Paraguay. Tampoco se han definido los límites norte y sur (Pasig, 2005).

Para estudiar este acuífero se ha creado la Comisión Binacional en la Gestión del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño, que será la encargada de estudiar y recolectar la información técnica que deberá obtenerse.

Problemática:

- Es un acuífero multicapa sobreexplotado por usuarios en territorio paraguayo.
- Paraguay cuestiona el uso de aguas en zonas de recarga (serranías de Aguaragüe).
- El potencial hidrogeológico del acuífero es aún poco conocido.
- La necesidad de uso sustentable del recurso.

6.3 Caso de los acuíferos Jacy-Paraná y Parecis

Bolivia carece de información técnica de estos acuíferos transfronterizos que se alojan en rocas alteradas del basamento del Escudo Central (edad Arqueana). Están ubicados en la frontera noroeste entre Bolivia y Brasil en áreas denominadas de reconocimiento. Sin embargo, no se conocen los límites occidentales en territorio boliviano.

Problemática:

- Existe poca información en ambos lados de la frontera y no se tiene claro el grado de acuífero "transfronterizo".
- Las zonas de descarga y recarga son desconocidas en territorio boliviano.
- El potencial hidrogeológico de los acuíferos no son conocidos.
- El área tiene un alto potencial hidroeléctrico.
- Se tiene un uso intensivo de sus aguas para riego agrícola en el lado brasileño.
- Se tiene la necesidad de una proyección de uso sustentable del recurso en ambos acuíferos.

6.4 Caso del acuífero Pantanal

Este acuífero transfronterizo cenozoico está ubicado en la frontera sureste de Bolivia con Brasil. Desde el punto de vista ecológico, económico y social, es uno de los sistemas continentales más importantes. En Brasil, en el Estado de Rondonia, tiene una extensión mayor a los 160,000 km²; sin embargo, no se conoce su extensión hacia el oeste donde ingresa hacia Bolivia. Se manifiesta en territorio boliviano formando extensos "curiches" e inundaciones en

una extensión mayor a los 150 km paralelo a la frontera. La información técnica del acuífero es inexistente en territorio boliviano.

Problemática:

- Se tiene muy poca información disponible sobre el acuífero del lado boliviano.
- Las zonas de descarga son desconocidas en territorio boliviano.

- En el lado brasilero la variación de nivel de agua en superficie es de 6 a 8 metros.
- Se encuentra dentro de una región ecológica importante, el Pantanal.
- Se presenta como una frontera agrícola conflictiva, especialmente en el lado brasilero.
- Es una zona con un futuro desarrollo minero importante, especialmente de minerales de hierro, el Mutun en el lado boliviano y el Urucum en el lado brasilero.

7. Referencias

1. Baldivieso Manrique, G. (2005). Bolivia es una Potencia Hídrica Amenazada por la Desertificación. La Razón. La Paz, Bolivia.
2. Constitución Política del Estado. Promulgada el 7 de febrero de 2009. Impresión Oficial, Gaceta Oficial.
3. INE (2001). Encuesta de Hogares, 1999. La Paz, Bolivia. 235 p.
4. Liebers Baldivieso, A. (2002). Agua: de elemento de conflicto a fuente de integración (El caso boliviano). La Paz, Bolivia. 38 p.
5. MAGDR-PRONAR (2001). Mapa de Ordenamiento Hidroecológico de Bolivia, Correlación con niveles de pobreza y degradación de recursos naturales renovables. La Paz, Bolivia.
6. Mattos, R. y Crespo, A. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia.
7. Maurice-Bourgoin, L. (2001). El mercurio en la Amazonía Boliviana. La Paz, Bolivia. 75 p.
8. MDSP-JICA (1999). Estudio de evaluación del impacto ambiental del sector minero en el departamento de Potosí. Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd., Unico International Corporation.
9. MDSP (2001). Estrategia nacional de biodiversidad. 193 p.
10. Montes de Oca P., I. (2005). Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Editorial Offset Boliviana Ltda. La Paz, Bolivia.
11. Pasig, R. (2005). Aguas Subterráneas en el Sudeste de Bolivia. Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.
12. Quiroga B., R., Salamanca, L. A., Espinosa, J. C., Torrico, G. (2008). Atlas de amenazas, vulnerabilidad y riesgos de Bolivia. Plural Editorial. La Paz, Bolivia.
13. Rebouças, A. da C. (2006). Águas Subterrâneas. Águas Doces no Brasil. Escrituras. 3ra. Edic. São Paulo, Brasil.
14. Roche, M. A. *et al.* (1992). Balance Hídrico Superficial. Publicación PHICAB. La Paz, Bolivia.
15. Urquidi Barrau, F. (2005a). Recursos hídricos en la frontera boliviano-chilena (Silala y Lauca). Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.
16. Urquidi Barrau, F. (2005b). Recursos hídricos en la frontera boliviano-peruana (Mauri). Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.