

# DISPONIBILIDAD, USO Y CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN BOLIVIA

Paul Van Damme

10 de Noviembre de 2002



*- El manejo del recurso agua es el primer paso  
para aliviar la pobreza -*

Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, 2002

# INDICE

LISTA DE FIGURAS .....	4
LISTA DE CUADROS .....	5
<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Hidrogeografía e hidroecología de Bolivia .....</b>	<b>9</b>
2.1. Fisiografía de Bolivia .....	9
2.2. Cuencas hidrográficas de Bolivia.....	10
2.2.1. División general .....	11
2.2.2. División del país en cuencas hidrográficas según Roche <i>et al.</i> (1992) y IGM (1998) .....	11
2.2.3. PLAMCH-BOL (1997) .....	11
2.2.4. División de cuencas según MAGDR-PRONAR (2001).....	12
2.3. Hidroecología de Bolivia .....	14
2.3.1. Mapa de hidroecoregiones (Navarro y Maldonado, 2002) .....	14
2.3.2. Mapa de ordenamiento hidroecológico de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2001) .....	16
<b>3. Disponibilidad del agua en Bolivia .....</b>	<b>17</b>
3.1. Condiciones climáticas .....	17
3.1.1. Fenómenos que explican el clima en Bolivia .....	17
3.1.2. Precipitación .....	19
3.1.3. Climas de Bolivia .....	19
3.2. Disponibilidad de Aguas superficiales .....	19
3.3. Disponibilidad de Aguas subterráneas .....	21
3.4. Balance Hídrico de Bolivia .....	23
<b>4. Usos y demandas de agua en Bolivia .....</b>	<b>25</b>
4.1. Agua para riego .....	25
4.2. Abastecimiento de agua para uso doméstico.....	27
4.3. Uso industrial, minero y petrolero .....	31
4.4. Navegación de ríos y lagos .....	31
4.4.1. Transporte fluvial .....	31
4.4.2. Transporte lacustre .....	32
4.5. Uso hidro-eléctrico .....	32
4.6. Turismo y Uso recreativo .....	34
4.7. Pesca y acuicultura.....	36
4.7.1. La pesca en los lagos del Altiplano .....	36
4.7.2. La pesca en los ríos Amazónicos .....	37
4.7.3. La pesca en el río Pilcomayo.....	37
4.7.4. La acuicultura.....	38
<b>5. La calidad del agua en Bolivia .....</b>	<b>38</b>
5.1. Concentraciones de fondo : la calidad "natural" de las aguas en Bolivia .....	38
5.1.1. Concentraciones "naturales" de metales en las aguas superficiales .....	38
5.1.2. Contaminación "natural" de las aguas subterráneas .....	40
5.2. Fuentes de contaminación de aguas superficiales.....	40
5.2.1. Uso de la tierra .....	40
5.2.2. Contaminación orgánica por residuos líquidos domésticos.....	40
5.2.3. Contaminación industrial .....	44
5.2.4. Contaminación por actividades mineras.....	45
5.2.5. Contaminación de mercurio .....	48
5.2.6. Contaminación con plaguicidas.....	49
5.2.7. Contaminación con hidrocarburos.....	52
5.3. Contaminación de los ríos y lagos receptores .....	55

5.4. Contaminación de las aguas subterráneas .....	57
<b>6. El uso múltiple y conflictos del agua en Bolivia .....</b>	<b>58</b>
6.1. Introducción.....	58
6.2. Uso múltiple del agua en zonas urbanas y peri-urbanas.....	65
6.3. Uso múltiple del agua y conflictos en zonas mineras.....	67
6.4. Construcción de represas para generación de energía hidro-eléctrica.....	70
6.5. La explotación de aguas superficiales y subterráneas en las cuencas transfronterizas.....	70
6.5. La contaminación y los recursos pesqueros .....	73
<b>7. La protección y el manejo de los recursos hídricos .....</b>	<b>74</b>
7.1. Los Planes de Uso del Suelo (PLUS).....	74
7.2. Sistema de Areas Protegidas .....	74
7.3. Humedales de Bolivia y sitios Ramsar.....	77
7.4. Ordenamiento y priorización de acciones para la gestión de los recursos hídricos.....	77
7.5. Manejo de cuencas hidrográficas.....	78
7.5.1. Experiencias .....	78
7.5.2. Limitaciones y oportunidades .....	79
8.1. Ley de Aguas y leyes sectoriales.....	80
8.2. Ley de Medio Ambiente y sus reglamentos .....	83
8.3. Organización nacional y regional .....	84
<b>9. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>86</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

Fig.1. Perfil de Bolivia, con indicación de provincias fisiográfica y cuencas hidrográficas .....	9
Fig. 2. Mapa hidrológico y de cuencas hidrográficas de Bolivia .....	13
Fig. 3. Mapa de ordenamiento hidroecológico de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2001).....	15
Fig. 4. Mapa de precipitaciones(Roche et al., 1992) y Mapa de la importancia hidro-geológica (GEOBOL 1985).....	18
Fig. 5. Mapa de caudal específico por cuenca.....	20
Fig.6. Mapa de disponibilidad de agua potable por municipio en base al Censo de Población de 2001 (INE, 2002) .....	30
Fig.7. Potencial hidro-eléctrico específico en Bolivia.....	33
Fig.8. Mapa preliminar de la contaminación de aguas superficiales en Bolivia. Sólo se consideraron 3 fuentes de contaminación : (a) contaminación de aguas superficiales con mercurio (minas auríferas) ; (b) contaminación de aguas superficiales con DAR y metales pesados (minas no-auríferas) ; (c) Contaminación doméstica y industrial originando de ciudades grandes .....	56
Fig. 9. Usos del agua en las cuencas hidrográficas de Bolivia.....	60
Fig. 10 : Potenciales conflictos entre los usuarios sectoriales de aguas superficiales en Bolivia.....	62
Fig. 11 : Potenciales conflictos entre los usuarios sectoriales de aguas subterráneas en Bolivia.....	63
Fig. 12 : Posibles conflictos indirectos entre usuarios sectoriales, causados por la contaminación de las aguas superficiales o la degradación de los habitats acuáticos .....	64
Fig. 13 : Posibles conflictos indirectos entre usuarios sectoriales, causados por la contaminación de las aguas subterráneas .....	65
Fig. 14. Superposición de usos de agua : usos mineros, usos para riego y usos domésticos.....	69
Fig. 15 : Superposición de usos indirectos de agua : Hidrocarburos, pesticidas, actividades auríferas, pesca comercial y pesca de subsistencia .....	71
Fig. 16. Areas Protegidas, sitios RAMSAR y cuencas hidrográficas.....	76
Fig. 17. Estructura del sistema administrativo del recurso hídrico (Mattos y Crespo 2000).....	85

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Provincias fisiográficas de Bolivia .....	10
Cuadro 2. Grandes cuencas hidrográficas de Bolivia (Roche <i>et al.</i> 1988) .....	11
Cuadro 3. Cuencas y subcuencas de Bolivia (MAGDR-PRONAR 2001) .....	12
Cuadro 4. Mapas básicos y productos de MAGDR-PRONAR (2001) y Navarro y Maldonado (2002).....	14
Cuadro 5. Balance hídrico de algunas cuencas de Bolivia (PHICAB, 1992).....	24
Cuadro 6. Usos consuntivos y no consuntivos del agua en Bolivia .....	25
Cuadro 7. Sistemas de riego, usuarios y área regada por departamento (MAGDR-DGSR-PRONAR 2000) .....	25
Cuadro 8. Sistemas de riego y área regada por categoría (MAGDR-DGSR-PRONAR 2000) .....	26
Cuadro 9. Sistemas de riego por fuente de agua y área regada por departamento (MAGDR-DGSR- PRONAR, 2000).....	26
Cuadro 10. Cobertura de servicio de agua potable por departamento (BM 1999 ; OPS 2001 ; INE 2002) .....	27
Cuadro 11. Cantidad de consumo de agua potable por año según departamento y tipo de consumidor, .....	27
1996-2001 (miles de metros cúbicos) (INE, 2001) .....	27
Cuadro 12. Tipo de fuente y caudal ofertado de las empresas de agua potable de las capitales de departamento (Mattos y Crespo 2000) .....	29
Cuadro 13. Cobertura por tipo de servicio de agua potable (OPS, 1998).....	29
Cuadro 14. Proyecciones de cobertura de agua potable y saneamiento a nivel nacional (VSB, 2000).....	29
Cuadro 15. Especies de peces, anfibios, reptiles y mamíferos acuáticos y su situación de conservación (Elaboración propia en base a Ergueta y De Morales, 1996 y Hilton-Taylor 2000).....	35
Cuadro 16. Consumo de carne de pescado, res y pollo según condición de pobreza (1999) (INE, 2001) .....	36
Cuadro 17. Calidad del agua de sistemas de riego de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2000).....	39
Cuadro 18. Estimaciones de los volúmenes de aguas residuales producidas a partir de los datos de población (Villarroel, 2001 ; INE 2000) .....	41
Cuadro 19. Cobertura por tipo de servicio de alcantarillado (OPS, 2000) .....	42
Cuadro 20. Distribución personal de los hogares por área geográfica según disponibilidad, uso y desagüe del baño de la vivienda en 1999 (INE, 2001) .....	42
Cuadro 21. Cobertura de saneamiento básico en los nueve departamentos de Bolivia (BM 1999 ; OPS 2001 ; INE 2002) .....	43
Cuadro 22. Sistemas de tratamiento en las distintas ciudades de Bolivia .....	44
Cuadro 23. Flujo de sulfatos y metales seleccionados en agua superficial proveniente de distritos mineros, y entrada anual al Lago Poopó en ton/año. La clasificación del daño ambiental potencial está basada en la generación total del DAR y en el flujo de metales tóxicos. ....	46
Cuadro 24. Transporte anual estimado de azufre y metales al y del lago Uru Uru y al lago Poopó (PPO, 1996).....	48
Cuadro 25. Resumen de la superficie total cultivada con uso de plaguicidas según tipo de cultivo (Rocha, 1999, en base a AGRODATA, 1995). ....	50
Cuadro 26 : Resumen de la superficie total cultivada con abono según tipo de cultivo (Rocha, 1999 ; en base a datos de AGRODATA, 1995).....	51
Cuadro 27. Impactos potenciales de las actividades hidrocarburíferas sobre el recurso agua (MDE-VEH-UMA, 2001) .....	53
Cuadro 28. Número de accidentes con hidrocarburos y causa de los accidentes reportados en el año 2000 (INE 2002, sobre la base de datos de la Superintendencia de Hidrocarburos) .....	55

Cuadro 29. Superposición de asentamientos humanos grandes (> 200 000 habitantes), actividades petroleras, mineras e industriales con cuencas hidrográficas .....	61
Cuadro 30. Características del uso de las aguas residuales en áreas peri-urbanas de las capitales de departamento y en El Alto (Villarroel, 2001).....	66
Cuadro 31 Algunos ejemplos de impactos de contaminación sobre los recursos pesqueros en las cuencas de Bolivia (Elaboración propia sobre la base de Huntington 1998) .....	73
Cuadro 32. Hidrografía y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP 2001 ; SERNAP 2002).....	75
Cuadro 33. Ciudades que dependen indirectamente de áreas protegidas (consideradas zonas de recarga de aguas subterráneas) para la provisión de agua potable o agua de riego (MDSP, 2001) .....	75
Cuadro 34: Legislación Boliviana relacionada con el tema agua (en base a Bustamante, 2001/ 2002).....	80
Cuadro 35: Contenido de la Ley 1906 y las disposiciones que la modifican (Bustamante, 2001).....	81
Cuadro 36: Ministerios y instituciones que tienen responsabilidad en la gestión del agua (Liebers, 2002) .....	84

# 1. Introducción

En años anteriores, el agua ha sido el tema central durante varias conferencias internacionales. En el año 2000 se celebró el Segundo Foro Mundial del Agua en La Haya, y un año después se organizó la Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce en Bonn. Durante la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, que se celebró en Johannesburg entre el 26 de agosto y el 4 de septiembre de 2002, se propuso el tema agua como una de las esferas que podría tener efectos mayores y amplios en la erradicación de la pobreza, realizando al mismo tiempo los objetivos del desarrollo sostenible.

En el ámbito internacional, la escasez de agua dulce ocupa el primer lugar en la lista de las amenazas que afectan a la humanidad en el siglo XXI. Según Naciones Unidas, aproximadamente 1 200 millones de personas beben agua no potable y cerca de 2 500 millones carecen de sistemas sanitarios o de sistemas de drenaje adecuados. En todo el globo, agricultores y autoridades municipales extraen agua del subsuelo más rápidamente de lo que se reabastece. En un mundo donde el agua cada vez es más escasa, ciertos sectores tienden a utilizar el agua en desmedro de otros, lo cual puede generar conflictos locales, regionales e internacionales.

En Bolivia, los recursos hídricos constituyen un elemento frágil, y esto se debe en parte a que este recurso es escaso en casi la mitad del territorio. Una mirada rápida a periódicos nacionales en cualquier período del año nos muestra que este es un país que está azotado por sequías, granizos, inundaciones y otras manifestaciones climáticas, que en muchos casos son impredecibles y además agravados por fenómenos como El Niño. El hecho que la economía rural depende del recurso hídrico hace necesaria la aplicación de estrategias de manejo tanto a nivel local como a nivel nacional.

En este momento, los problemas anteriormente mencionados están agravándose como consecuencia de una deficiente gestión del agua, resultando en la degradación de las tierras y la desertificación. El último censo del INE (2001) ha mostrado que miles de personas siguen sin acceso a agua potable y/o no tienen servicios sanitarios adecuados. Existen todavía serias deficiencias en la distribución, el uso y el manejo racional de agua de riego y de agua potable. Además, la calidad del agua está disminuyendo debido a la contaminación, un impacto humano que sólo recientemente se está estudiando en detalle y que según expertos en algunos casos puede significar una "bomba de tiempo".

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

Para abordar las cuestiones del agua, y sus conflictos de uso, el gobierno debería adoptar idealmente el principio de la gestión integrada de los recursos hídricos, que comprende las políticas, estrategias y leyes nacionales sobre el agua, un sistema de información, planes de acción, y otros. Sin embargo, Bolivia carece de la mayoría de estos instrumentos de manejo y gestión. Tampoco dispone de una ley de aguas que regule el uso de los recursos hídricos, ni existen sistemas que integren toda la información sobre el tema. Es notoria la variedad de institutos que trabajan en diferentes aspectos del tema agua, pero al mismo tiempo es llamativa la falta de coordinación entre éstos.

Recientemente, se han conformado algunas instituciones y movimientos sociales que pretenden abarcar el tema agua desde puntos de vista más globales. El CGIAB, Comité de Gestión Integral del Agua en Bolivia, ha sido creado como plataforma boliviana para discutir el tema entre todos los actores, gracias a su impulso y como parte de su estrategia el año 2002, se creó CONIAG, el Consejo Inter-Institucional del Agua, cuya finalidad es abrir un espacio de diálogo y concertación entre el gobierno y las organizaciones sociales y económicas para adecuar el actual marco relacionado con la temática del agua. El CONIAG, reconociendo la necesidad de centralizar y sistematizar la información sobre el tema agua, ha dado prioridad a la elaboración de un estudio preliminar del uso, la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos en Bolivia.

Ya se cuenta con varias descripciones del estado de los Recursos Hídricos en Bolivia. Uno de los más valiosos esfuerzos es de Rocha, quien publicó el informe "Situación de los recursos hídricos en Bolivia" en el año 1999. Esta revisión ya necesita ser actualizada, debido a que en los tres últimos años salieron a la luz varios nuevos estudios sobre el tema.

El presente informe pretende ser muy sintético y, aunque cubre varias temáticas, no es exhaustivo, debido al poco tiempo en que fue desarrollado. Se lo debe ver como una primera aproximación a una sistematización rigurosa de toda la información disponible sobre el tema agua. La cartografía y los Sistemas de Información Geográfica representan componentes esenciales de este esfuerzo.

Los objetivos del presente documento son :

- Elaborar un diagnóstico preliminar del estado de conocimiento sobre el uso, la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos, que pueda servir como guía durante el proceso de definición de las políticas hídricas de Bolivia
- Dar algunas pautas para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica sobre el agua en Bolivia, como una herramienta para la planificación de su uso

## 2. Hidrogeografía e hidroecología de Bolivia

Cuando se describe el estado de conocimiento sobre el agua es importante tener en claro los marcos geográficos referenciales utilizados. Asimismo, es importante definir bien las unidades más adecuadas para el manejo de los recursos hídricos. En Bolivia, existe una multitud de esfuerzos valiosos en este sentido. Para un mejor entendimiento, se presenta un breve resumen de los marcos hidrogeográficos e hidroecológicos existentes para Bolivia.

### 2.1. Fisiografía de Bolivia

Los Andes en Bolivia están compuestos por dos cordilleras : la Cordillera occidental (o volcánica) a lo largo de la frontera Bolivia-Chile, y la Cordillera Oriental, que se extiende entre La Paz y el extremo sur del país. Entre estas dos cordilleras, se encuentra el Altiplano, una planicie compuesta fundamentalmente por depósitos procedentes de la erosión hídrica y eólica de las montañas circundantes. Al este de la Cordillera Oriental se sitúan los Valles, en que se encuentran las ciudades de Cochabamba, Tarija y Sucre. En la zona norte y este del país se encuentran los llanos aluviales, y en el sudeste el Chaco boliviano.

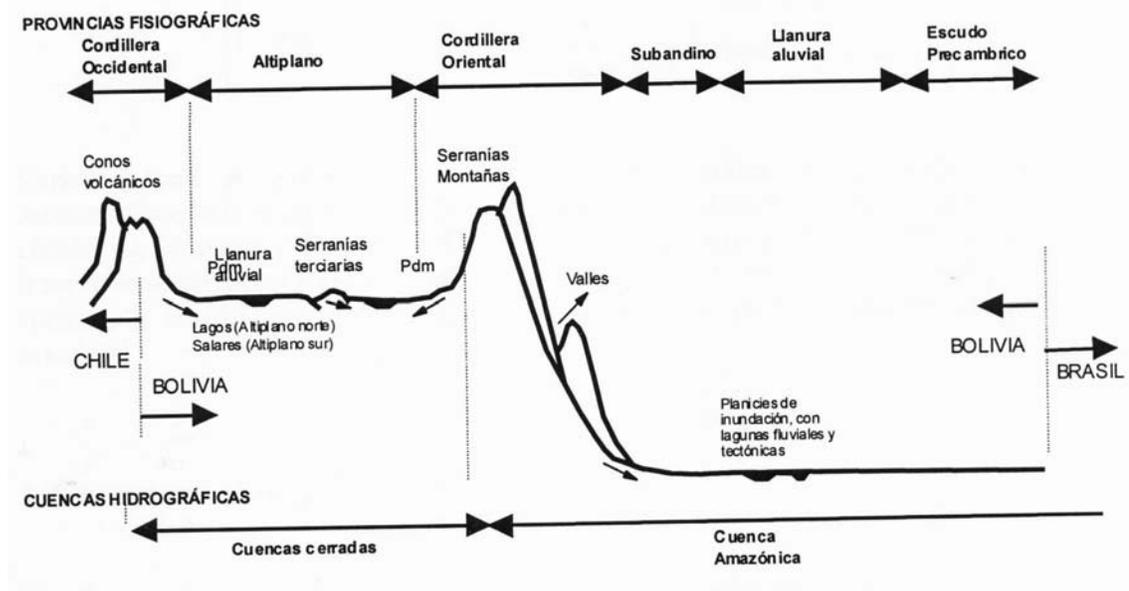


Fig.1. Perfil de Bolivia, con indicación de provincias fisiográficas y cuencas hidrográficas

Se distinguen generalmente 7 provincias fisiográficas, que pueden subdividirse en subunidades (Cuadro 1). Las unidades fisiográficas tradicionales de Bolivia son la Cordillera Occidental (o volcánica), la Cordillera Central-Oriental, el Altiplano, el Subandino, las Llanuras, el Escudo Brasileño, y las Serranías chiquitanas. El mapa de las provincias fisiográficas resume de manera generalizada las características de relieve y la naturaleza geológica del territorio.

Cuadro 1. Provincias fisiográficas de Bolivia

Provincias fisiográficas	Sectores
Cordillera Occidental	Conos, domos volcánicos y colinas
	Meseta de Origen volcánico
	Llanura de piedemonte
	Serranías altas
Altiplano	Meseta de origen volcánico
	Serranías bajas
	Colinas y Piedemonte
	Pedillanura
Cordillera Oriental	Montaña y Serranías
	Colinas Altas
	Valles
	Meseta de Origen volcánico
	Penillanuras
Subandino	Llanura de piedemonte fluvio-glaciar
	Serranías
	Colinas
Llanura Chaco-Beniana	Valles
	Llanura de piedemonte
	Pedillanura
	Colinas
	Cuestas
	Mesas y Buttes
Depósitos holocénicos laterizados	
Escudo Brasileño	Serranías
	Mesas y Buttes
	Penillanura con Monadnock
	Llanura aluvial

Varios autores utilizaron el concepto del control jerárquico para explicar que las características hidrológicas están condicionadas por la fisiografía y además por los factores climáticos (Wasson y Barrere, 1999 ; Navarro y Maldonado, 2002). El relieve general (conjuntos fisiográficos como cordilleras, llanuras, etc.), los conjuntos geológicos, y el clima, son los que en términos generales condicionan la estructura de los ambientes acuáticos.

## 2.2. Cuencas hidrográficas de Bolivia

Con frecuencia, se toman las *cuencas* hidrográficas como las unidades más adecuadas para la gestión de los recursos hídricos. Reconociendo que una división del país en cuencas, subcuencas y microcuencas es el primer paso hacia un ordenamiento

más racional del agua, se propusieron diversos sistemas de división de cuencas en Bolivia. La mayoría de los consultores propusieron sistemas de división de cuencas hidrográficas sólo en base al criterio biofísico-hidrológico, mostrando una incongruencia con las recomendaciones formuladas por MDSP-DGCTC (2002).

### 2.2.1. División general

Bolivia pertenece a tres grandes cuencas hidrográficas : la cuenca del Amazonas, la cuenca del río de La Plata y la cuenca Endorreica o Cerrada del Altiplano. Esta división generalmente es adoptada en la mayoría de los libros generales sobre el tema (por ejemplo, Montes de Oca, 1999). Sin embargo, esta división es demasiado general, y para fines de manejo se necesita un refinamiento de la organización espacial en cuencas.

### 2.2.2. División del país en cuencas hidrográficas según Roche *et al.* (1992) y IGM (1998)

Uno de los primeros en proponer una división del país en cuencas hidrográficas fueron Roche *et al.* (1992). Ellos distinguieron 13 grandes cuencas hidrográficas (Cuadro 2). Esta división fue adoptada con leves diferencias por IGM (1998).

Cuadro 2. Grandes cuencas hidrográficas de Bolivia (Roche *et al.* 1988).

Grandes cuencas	Cuencas hidrográficas
Amazonas	Madre de Díos
	Beni
	Orthon
	Mamoré
	Iténez-Guaporé
	Parapeti-Izozog
	Abuna
Altiplano	Titicaca
	Desaguadero-Poopó
	Coipasa-Uyuni
Río Del Plata	Pilcomayo
	Bermejo
	Paraguay

### 2.2.3. PLAMCH-BOL (1997)

Los documentos "Lineamientos metodológicos para la estructuración del Plan Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas" y "Priorización y delimitación de cuencas hidrográficas", PLAMCH-BOL (1997) elaboró una propuesta de delimitación de cuencas y una identificación de los factores que a nivel cuenca

condicionan el desarrollo nacional. Sin embargo, esta propuesta que prevee la atomización de las grandes cuencas en una multitud de cuencas, subcuencas y microcuencas, no ha sido adoptada en el país hasta ahora.

#### 2.2.4. División de cuencas según MAGDR-PRONAR (2001)

MAGDR-PRONAR (2001) recientemente propuso una división detallada de cuencas de Bolivia (Cuadro 3). Dividieron el país en 3 grandes cuencas (Amazonas, Del Plata, Endorreica), 10 cuencas y 36 subcuencas (Cuadro 3). Esta división de cuencas hidrográficas también se muestra en la Figura 2.

Cuadro 3. Cuencas y subcuencas de Bolivia (MAGDR-PRONAR 2001)

Grandes cuencas	Cuencas	Subcuencas (y Cuencas Menores*)
Amazonas	Acre (2 340 km <sup>2</sup> )	
	Abuna (25 136 km <sup>2</sup> )	Manú Madera
	Beni (169 946 km <sup>2</sup> )	Orthon Madre de Díos (*Manuripi / *Manurimi) Madidi Tuichi Kaka Boopi Biata Quiquibey Colorado
	Mamoré (261 315 km <sup>2</sup> )	Yata Rapulo Apere Isiboro Ibare Río Grande (*Yapacani)
	Iténez (265 263 km <sup>2</sup> )	Itonomas Blanco (* San Martín) Paragua San Miguelito
Del Plata	Pilcomayo-Bermejo (100 300 km <sup>2</sup> )	Bermejo Tarija Pilcomayo Pilaya-Tumusla (*San Juan del Oro / * Cotagaita)
	Ríos muertos del Chaco (32 100 km <sup>2</sup> )	
	Alto Paraguay (97 100 km <sup>2</sup> )	Bahia Caceres Pantanal (Curichi Grande) Otuquis río Negro
Endorreica	Lagos (61 220 km <sup>2</sup> )	Titicaca Desaguadero Caracollo Marquez
	Salares (83 861 km <sup>2</sup> )	Río Grande de Lipez Puca Mayu Lauca (* Turco) Barras

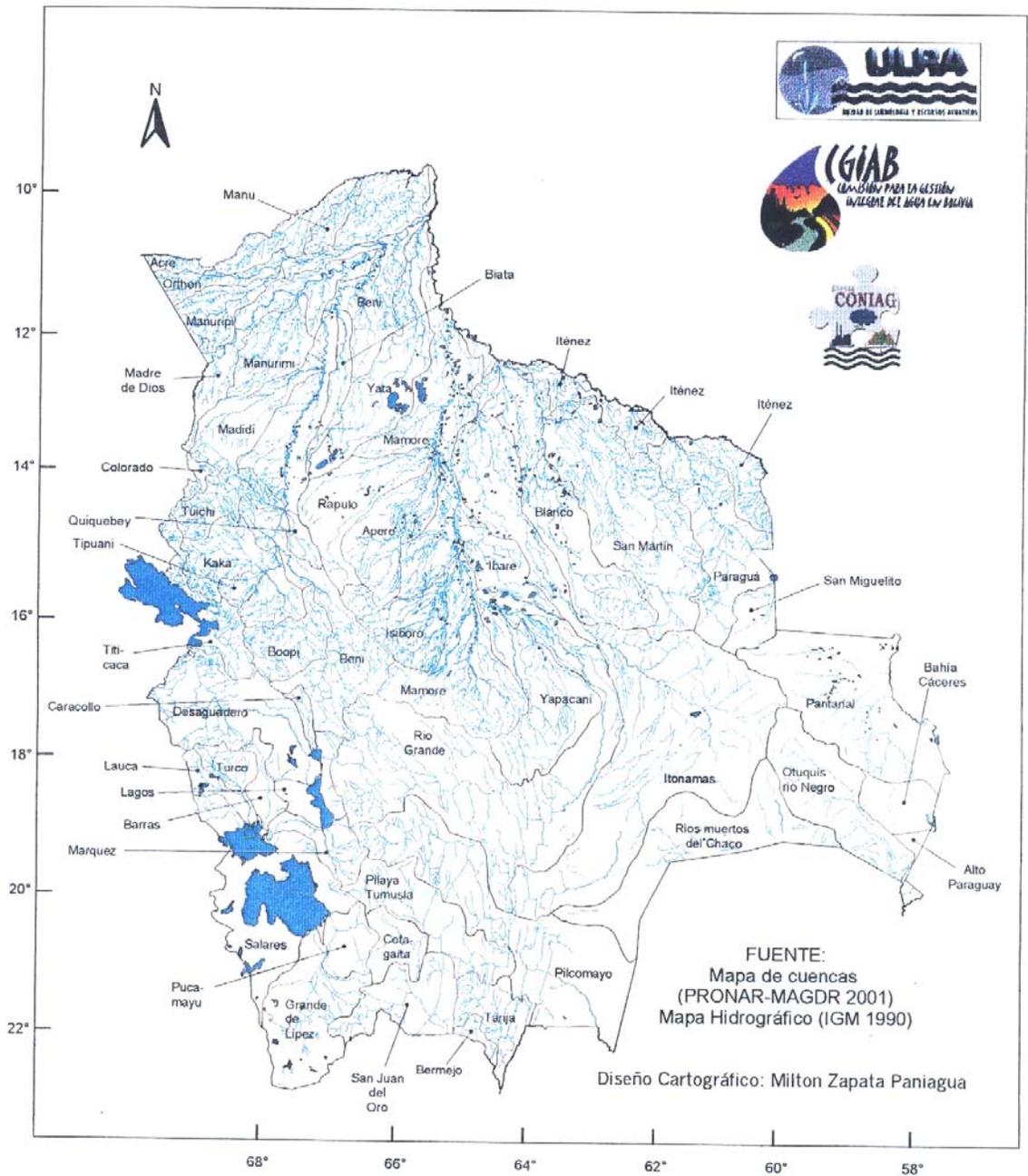


Fig. 2. Mapa hidrológico y de cuencas hidrográficas de Bolivia

## 2.3. Hidroecología de Bolivia

Diferentes autores propusieron marcos descriptivos hidroecológicos dentro un contexto geográfico. Se puede mencionar dos esfuerzos recientes: el mapa de ordenamiento hidroecológico de Bolivia de MAGDR-PRONAR (2001), y el mapa de hidroecoregiones por Navarro y Maldonado (2002). Estos mapas pueden verse como instrumentos de apoyo a la sistematización, el ordenamiento y la optimización del uso y el manejo del agua. Las unidades hidroecológicas resumen de una forma sencilla la potencialidad y las limitaciones que presentan las diferentes zonas del país respecto a la disponibilidad, el uso y la calidad natural de los recursos hídricos. En esos mapas, se sale del marco tradicional de la delimitación de cuencas para llegar a un ordenamiento sistemático no solo de los recursos hídricos sino también de todos los elementos físicos que determinan la calidad y la cantidad de éstos (geomorfología, geología, clima).

Cuadro 4. Mapas básicos y productos de MAGDR-PRONAR (2001) y Navarro y Maldonado (2002)

Fuente	Mapas básicos	Producto
MAGDR-PRONAR (2001)	* Mapa Ecológico (MACA) * Mapa Hidrográfico (IGM) * Mapa de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas	Mapa de Ordenamiento hidroecológico de las cuencas de Bolivia
Navarro y Maldonado (2002)	* Mapa de las Provincias Fisiográficas * Mapa Bioclimático de Bolivia (Navarro y Maldonado 2002)	Mapa de las Hidroecoregiones de Bolivia

### 2.3.1. Mapa de hidroecoregiones (Navarro y Maldonado, 2002)

Navarro y Maldonado (2002) desarrollaron un sistema de regionalización basado en un criterio « top-down », según el cual las características ecológicas particulares de un ambiente acuático están determinadas por factores ecológicos primarios que son el relieve, el clima y la naturaleza geológica de su substrato. Utilizando este principio, se ha elaborado el Mapa de las Hidroecoregiones de Bolivia, que es el marco geográfico mediante el cual se realizó una ilustración descriptiva de los ambientes acuáticos.

El Mapa de las hidroecoregiones de Bolivia se elaboró utilizando la siguiente información cartográfica: (a) el Mapa de las Provincias Fisiográficas de Bolivia, escala 1 :100 000, el cual resume de manera generalizada, las características del relieve y la naturaleza geológica del territorio y (b) el Mapa Bioclimático de Bolivia presentado por los mismos autores. El Mapa de las Hidroecoregiones de Bolivia ha sido jerarquizado y organizado bajo los siguientes criterios :

- El primer nivel de organización define las Hidrocoregiones (HER) y se reconocen cuatro para Bolivia: Altoandina, Cordillera Oriental, Llanuras Aluviales de Tierras Bajas y Escudo Brasileño.
- El segundo nivel representa la sectorización de las Hidrocoregiones con criterios propios para cada una.

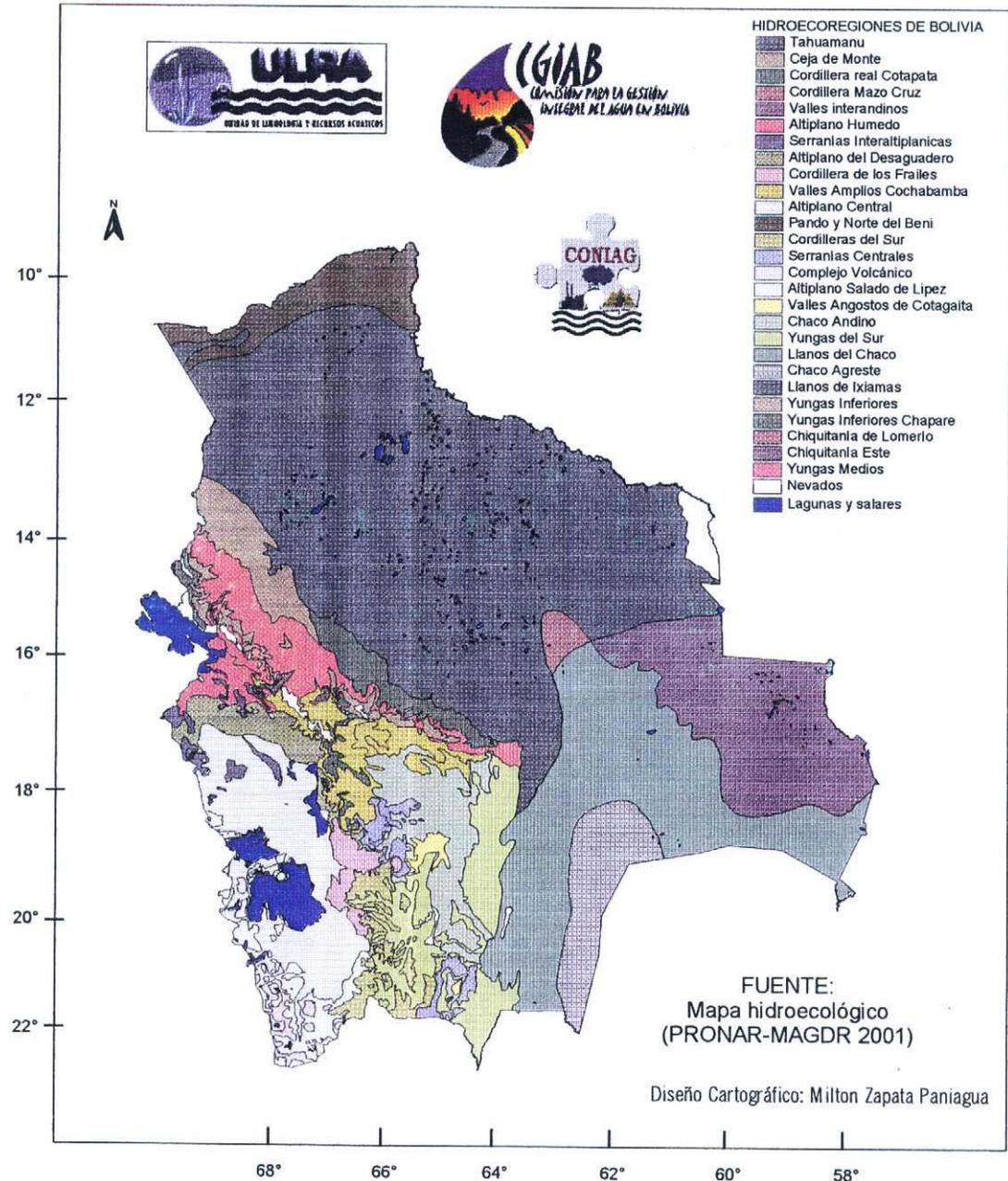


Fig. 3. Mapa de ordenamiento hidroecológico de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2001)

De esta manera, se elaboró un esquema jerarquizado de la regionalización propuesta para Bolivia.

### **2.3.2. Mapa de ordenamiento hidroecológico de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2001)**

MAGDR-PRONAR (2001) llegaron a un ordenamiento hidroecológico de las cuencas de Bolivia. Aplicaron un procedimiento sistemático que consiste básicamente en la superposición del mapa Ecológico con el mapa de cuencas, subcuencas y microcuencas. Una pequeña desventaja de su método es que el mapa ecológico de Bolivia no integra de una manera satisfactoria todos los factores que controlan las características de los recursos hídricos. Enseguida, se procedió a una correlación con los niveles de pobreza y con la degradación de los recursos naturales renovables. De este análisis, se ha obtenido el nivel de prioridad de intervención para los 28 sectores hidroecológicos. De esta manera, se ha podido utilizar el mapa de ordenamiento hidroecológico como un instrumento de la planificación estratégica, dirigido a un manejo sostenible de los recursos hídricos.

## **3. Disponibilidad del agua en Bolivia**

### **3.1. Condiciones climáticas**

#### **3.1.1. Fenómenos que explican el clima en Bolivia**

Las condiciones climáticas de Bolivia dependen fundamentalmente de fenómenos macroclimáticos y de fenómenos climáticos locales y microclimáticos (Montes de Oca, 1997 ; Navarro y Maldonado, 2002).

##### a) Fenómenos macroclimáticos

En Bolivia, las condiciones macroclimáticas se caracterizan por la marcada estacionalidad de las precipitaciones pluviales (Roche, 1993). El régimen de lluvias es de tipo tropical en todo el país y se caracteriza por un máximo de lluvias en los meses más cálidos del año. Las causas macroclimáticas de la estacionalidad de las lluvias se explican en relación al modelo general de circulación de la atmósfera, según el cual Bolivia se halla situada entre dos fajas atmosféricas zonales : la Zona de Convergencia Tropical (ZCIT) y el Cinturón subtropical de altas presiones permanentes del hemisferio sur (Navarro y Maldonado, 2002).

Superpuesto a este mecanismo climático global, existen al menos otros dos mecanismos macroclimáticos con gran influencia en el clima de Bolivia : las advecciones frontales frías (surazos) (Ronchail 1989) y las variaciones térmicas del océano Pacífico oriental : El Niño (ENSO) y La Niña (MDSP, 2000).

##### b) Fenómenos microclimáticos y locales

Los mecanismos generales del clima resultan notablemente modificados por fenómenos locales, por ejemplo la orientación de las cordilleras, la presencia de grandes lagos, y la cobertura vegetal, que afectan a las precipitaciones pluviales y a las temperaturas. Según Navarro y Maldonado (2002), los principales fenómenos microclimáticos son (a) las lluvias convectivas locales ; (b) el efecto de valle interno o "sombra de lluvia" ; (c) el efecto orográfico frontal ; (d) las inversiones térmicas ; (e) la exposición topográfica.

En la cuenca del Altiplano, uno de los eventos climáticos típicos son las heladas, las cuales producen severos efectos negativos para la agricultura en esta zona. A medida que aumenta la altitud, principalmente en dirección sudoeste desde el lago Titicaca, se incrementa el número de días con helada.

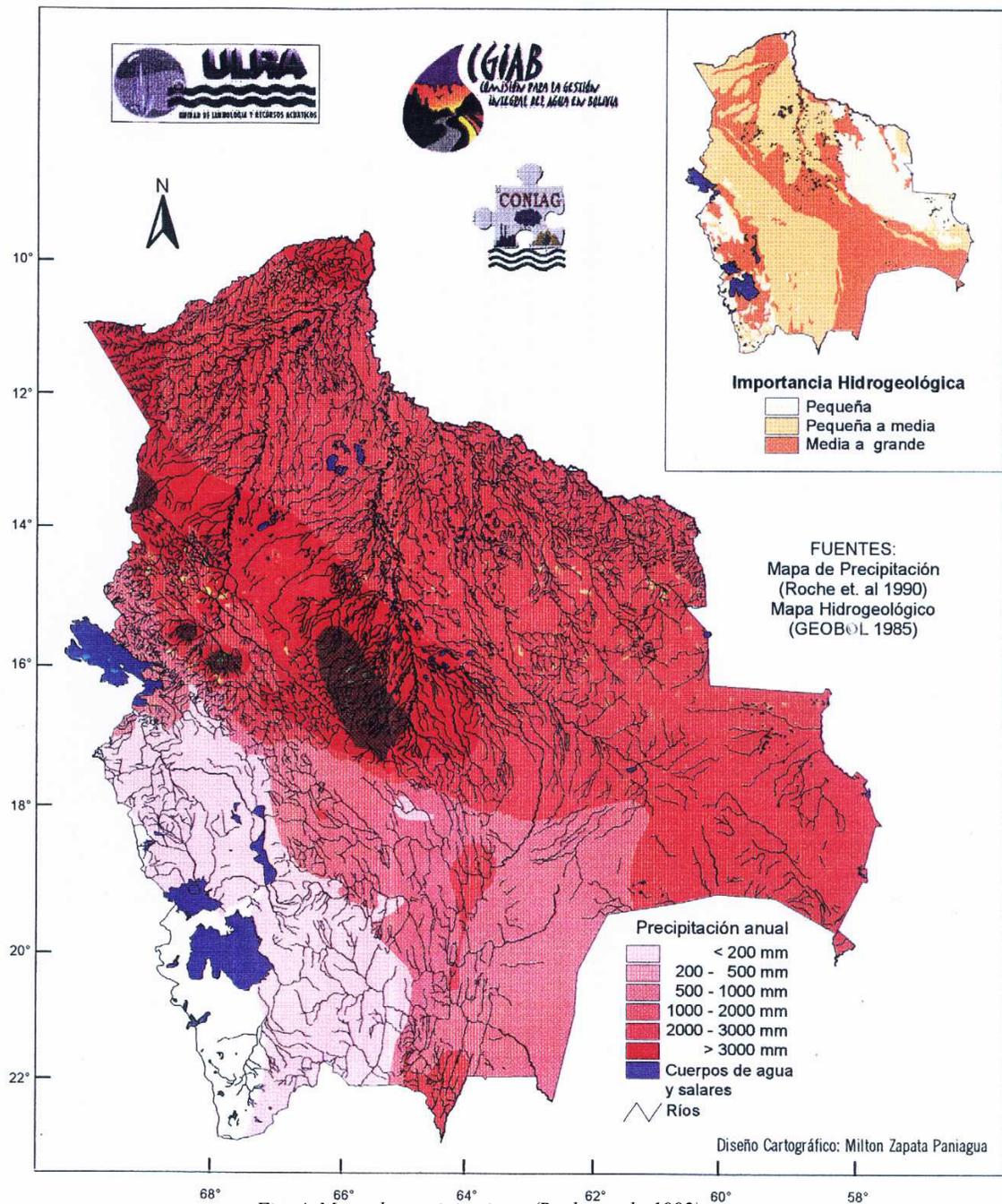


Fig. 4. Mapa de precipitaciones (Roche et al., 1992) y Mapa de la importancia hidro-geológica (GEOBOL 1985)

### **3.1.2. Precipitación**

En la Fig. 4, se muestran las isoyetas, según Rocha *et al.* (1992). Se puede observar que el sudoeste del país es la región más seca con <100 mm de lluvia al año. Gran parte del Altiplano es seco con una precipitación entre 100 y 300 mm. La cordillera volcánica recibe precipitaciones entre 300 y 500 mm/año. La zona aledaña al lago Titicaca recibe entre 500 y 700 mm/año. La cantidad de lluvia aumenta hacia el oriente del país, donde se tienen valores hasta 1700 mm/año. En el Norte del país (Pando) la precipitación alcanza valores de 2200 mm. El Chapare constituye la zona con mayor precipitación en el país (> 5000 mm).

El Altiplano está caracterizado por la ocurrencia de granizadas y de sequías locales, que son función de una variedad de condiciones atmosféricas, por lo que son muy poco predecibles. A altitudes de 4800 msnm o superiores, se presentan normalmente más de 20 días de granizo por año. Al sur del lago Titicaca, los días con granizo están por debajo de 10 días por año. Los llanos en cambio están sujetos a exceso de lluvias, resultando en inundaciones. Estas también pueden afectar a los lagos y los cursos de agua en el Altiplano, como el río Desaguadero y el lago Titicaca.

### **3.1.3. Climas de Bolivia**

Hay diversos sistemas de clasificación del clima. Según la clasificación de Köppen se distinguen climas tropicales, secos, templados, fríos. Sin embargo, esta clasificación ya no se utiliza considerando que todo Bolivia tiene un clima tropical. El método de Thornthwaite divide al país en 5 zonas según el valor de la evapotranspiración : zona muy húmeda, húmeda, seca, muy seca y desértica.

Navarro y Maldonado (2002) calcularon índices bioclimáticos, los cuales tratan de expresar de forma sintética las interrelaciones entre la temperatura y la precipitación. Por ejemplo, el índice ombrotérmico anual está definido como el cociente entre la precipitación total anual media y la temperatura media anual multiplicada por 12. Los valores calculados para las diferentes zonas han producido la cartografía bioclimática de Bolivia.

## **3.2. Disponibilidad de Aguas superficiales**

Las aguas superficiales comprenden 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 caída en su cuenca de alimentación y de los manantiales (descarga subterránea) . Las aguas superficiales de Bolivia han sido descritas en detalle por Montes de Oca (1997). Este último autor

también indica los caudales de algunos ríos. Se puede observar los caudales específicos por cuenca en la Figura 5.

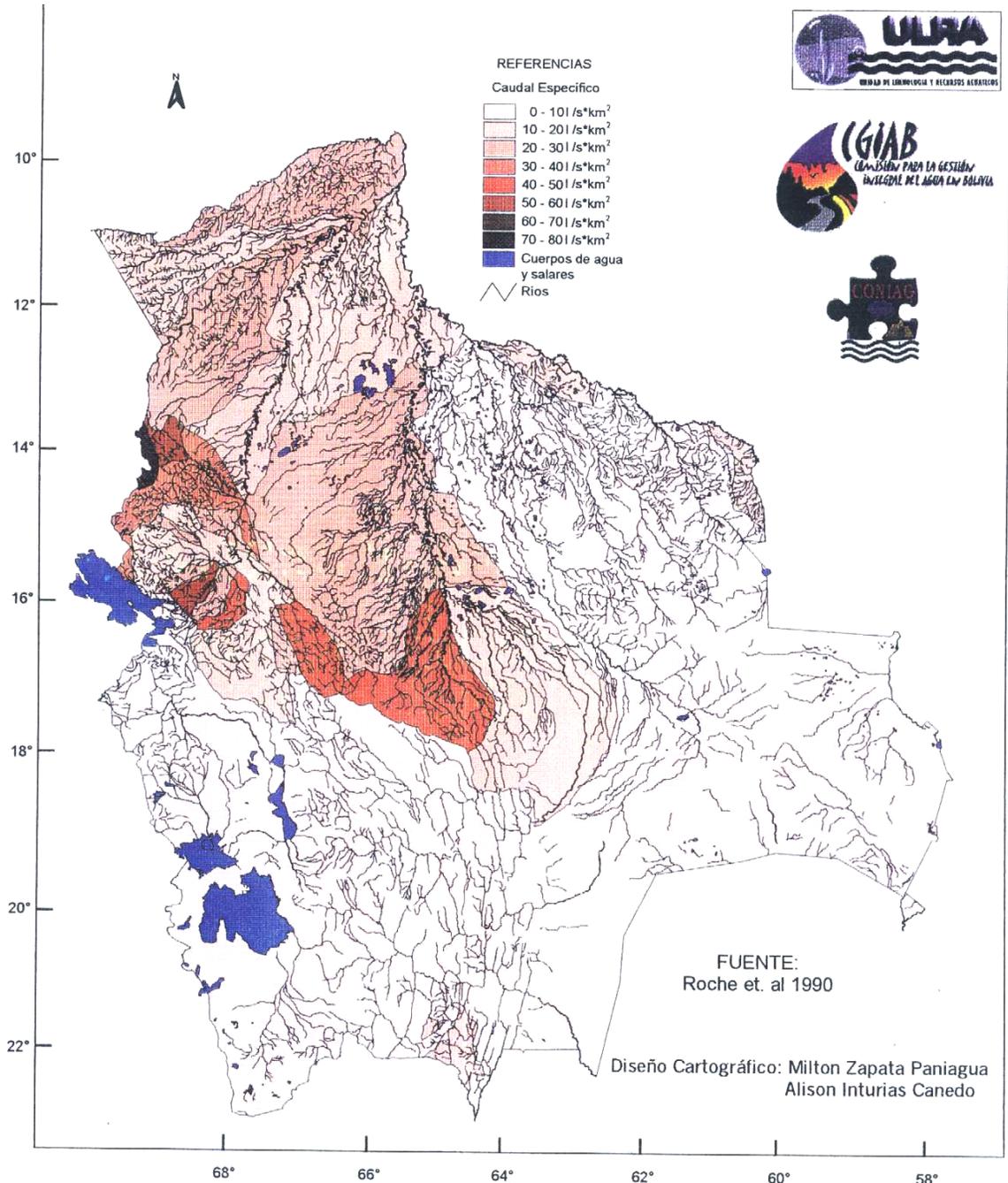


Fig. 5. Mapa de Caudales específico por cuenca (Roche et al. 1992)

Debido a la irregular distribución de las precipitaciones pluviales, y en función a la magnitud de las cuencas receptoras, se puede indicar que la cuenca del Amazonas tiene la mayor disponibilidad de aguas superficiales, y la cuenca del Altiplano la menor. De un modo preliminar, se estima que por la cuenca del Amazonas fluyen 180 000 millones de m<sup>3</sup>/año, por la cuenca del Plata 22 000 millones de m<sup>3</sup>/año y por la Cuenca Cerrada 1 650 millones de m<sup>3</sup>/año (Montes de Oca, 1997).

La cuenca Amazónica consiste de cuatro grandes 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 evapora o infiltra hacia la cuenca del río Paraguay. La cuenca del río de la Plata consiste de tres grandes subcuencas en el sur del país (ríos Paraguay, Bermejo y Pilcomayo).

Aparte de los ríos, el país cuenta con un alto número de lagos y lagunas. Si se asume la denominación de lago para una masa de agua con un área mayor a 200 km<sup>2</sup>, existen 6 lagos en Bolivia. Titicaca, Poopó, Uru Uru, Coipasa, Rogagua y Rogaguado. En las cuencas del Altiplano y del Plata existen innumerables lagunas de altura, en la cuenca del Amazonas, se tienen lagunas de origen fluvial (lagunas de várzea) y de origen tectónico.

El nivel del agua del lago Titicaca está determinado en primera instancia por la precipitación en la cuenca, que varía mucho de año tras año. El régimen hidrológico del lago Poopó, por otra parte, depende altamente de los aportes del río Desaguadero, que a su turno depende de la variación del nivel del agua en el lago Titicaca. Las fluctuaciones grandes en los aportes al lago Poopó, hacen que el nivel del agua de este último fluctúe drásticamente. En 1983 y en 1995, el lago estaba casi completamente seco. Entre 1983 y 1992, el lago presentó una expansión, y alcanzó una superficie de 3 500 km<sup>2</sup> en 1986.

Existen importantes variaciones anuales en el caudal de los ríos principales, dependiendo de las variaciones en los parámetros climatológicos. Además, cambios climáticos pueden influir en los niveles de evapotranspiración y escurrimiento (MDSP 2001).

### **3.3. Disponibilidad de Aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas no siempre son tomadas en cuenta en los planes de manejo de cuencas, lo cual es extraño cuando consideramos que un gran porcentaje del abastecimiento de agua potable y agua de riego en las zonas rurales y urbanas proviene de acuíferos subterráneos. Por ejemplo, el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SEMAPA) de Cochabamba alcanzaba en 1999 un caudal de aproximado de 740 l/s de los cuales cerca a 470 l/s provenía de los recursos

subterráneos extraídos mediante la explotación de pozos. Santa Cruz se abastece casi exclusivamente de pozos profundos ubicados en el norte de la ciudad.

Se puede mencionar varias otras razones por las que es importante considerar las aguas subterráneas. Una de estas 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 el Valle de Cochabamba, la recarga se realiza principalmente por la infiltración en los cursos de los ríos y las quebradas (Renner y Velasco, 2000). En algunas cuencas, como en la cuenca alta del río Del Plata, estas infiltraciones parecen ser muy importantes (Roche *et al.* 1992). En períodos de torrenceras, el río alimenta el acuífero, mientras que el acuífero exfiltra al río en épocas de estiaje. En el territorio nacional, las zonas de descarga son cada vez más escasas, debido a que los niveles freáticos están descendiendo.

Los recursos hídricos subterráneos no han sido cuantificados a nivel nacional, únicamente se cuenta con estudios locales. GEOBOL en 1985 desarrolló el mapa hidrogeológico de Bolivia, y definieron 5 provincias hidrogeológicas que presentan diferencias fundamentales en la conformación litológica y estructural. Estas provincias son las siguientes :

- Provincia Hidrogeológica de la cuenca endorréica del Altiplano Andino y de la Cordillera Occidental
- Provincia Hidrogeológica de la Cordillera Andina, Vertiente Andina
- Provincia Hidrogeológica de la Vertiente Amazonas
- Provincia Hidrogeológica de la cuenca Pantanal-Chaco Pampeano
- Provincia Hidrogeológica del escudo Proterozoico

El mapa hidrogeológico de Bolivia contiene una descripción detallada de los acuíferos (Fig. 4). Se puede observar que los acuíferos con más potencial se encuentran en las provincias hidrogeológicas Vertiente Amazonas, Pantanal-Chaco Pampeano y Altiplano. Generalmente, las formaciones de baja o nula permeabilidad dan lugar a pozos de bajo rendimiento. La cordillera occidental, por ejemplo, está caracterizada por numerosos manantiales, que son caudales subterráneos que surgen a la superficie terrestre. Los manantiales alimentan en muchos casos humedales de altura (bofedales) y abastecen la mayoría de las lagunas y ríos.

La superposición de los Mapas de precipitación, potencial hidrogeológico (Fig. 4) y caudal de aguas superficiales ilustra de una manera contundente el potencial hídrico en las respectivas cuencas hidrográficas. Por ejemplo, el Escudo Precámbrico (el noreste del país) está caracterizado por niveles de precipitación medianos, disminuyéndose en frecuencia y en intensidad hacia el sur. Esta misma zona, caracterizada en las cuencas altas por un bosque semidesiduo muy frágil, cuenta con muy pocos recursos hídricos subterráneos. El Altiplano Sur en cambio, la zona más

seca del país y azotada por sequías estacionales, cuenta con recursos subterráneos medios a grandes no renovables. Se debe indicar que el potencial productivo de una zona depende de la combinación de las ofertas de agua superficial y subterránea y además de factores como el grado de escurrimiento e infiltración, las características de los suelos y de la temperatura ambiental promedio.

Recientemente se ha iniciado la publicación de mapas temáticos hidrogeológicos de Bolivia a escala 1 :250 000 con las hojas de Cochabamba (Renner y Velasco, 2000), de Uncía (Huaranca Olivera y Neumann-Redlin, 2000) y de Tarija. Se cuenta también con evaluaciones regionales en Oruro, el Altiplano norte y Santa Cruz.

Para ilustrar el impacto que tiene la explotación de aguas subterráneas mencionamos el caso del valle de Cochabamba. Los acuíferos del Valle Central son un enorme reservorio de aguas subterráneas que seguirán siendo la fuente principal de agua hasta que se ponga en funcionamiento el proyecto Misicuni, que consiste en el transvase de las aguas de la vertiente norte de la Cordillera del Tunari. Las aguas subterráneas están siendo explotadas mediante pozos excavados y perforados. Los acuíferos reciben su recarga natural principalmente por infiltración directa de la lluvia y por la percolación del agua que llega de la cordillera por medio de los ríos y arroyos y también por la infiltración del agua de riego. Renner y Velasco (2000) indican que el recurso subterráneo es limitado y no puede satisfacer toda la demanda, lo que ya en el pasado ha llevado a intereses incompatibles y conflictos entre usuarios. Los conflictos típicos se producen a raíz del descenso del nivel freático ocasionado por la explotación intensa de pozos.

Varias ciudades grandes dependen de las aguas subterráneas para abastecer la demanda por agua potable (Cuadro 12). Es el caso de las ciudades de El Alto, Oruro y Santa Cruz.

En muchas otras regiones del país, los gobiernos locales han orientado su atención a las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades básicas de agua, debido a la escasez de aguas superficiales como consecuencia de sequías prolongadas o debido a contaminación minera de estas. Es el caso para las poblaciones que viven en el área de Uncía (Oruro) donde se utilizan fuentes de agua subterránea para consumo doméstico y riego (Huaranca Olivera y Neumann-Redlin, 2000).

### **3.4. Balance Hídrico de Bolivia**

En una cuenca hidrográfica la oferta de agua compuesta por las precipitaciones y los escurrimientos aguas arriba es en parte evaporada y evapotranspirada, y el remanente escurre aguas abajo. El cuadro 5 muestra un resumen del balance hídrico de Bolivia, según Roche et al. (1990). Recientemente, la FAO desarrolló un resumen con

estadísticas sobre los recursos hídricos de Bolivia en el marco del programa AQUASTAT (FAO-AQUASTAT, 2000).

En el sur de la cuenca endorréica, la evapotranspiración es mayor a la precipitación, lo cual implica que al final las aguas se evaporan totalmente, dando lugar a los vastos depósitos de sal en las zonas inferiores de esta cuenca (Cuadro 5). Generalmente, el Altiplano es una zona con poca disponibilidad de agua superficial con relación a las otras cuencas.

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

Cuadro 5. Balance hídrico de algunas cuencas de Bolivia (PHICAB, 1992)

Cuenca	Estación	Area (km <sup>2</sup> )	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Escurecimiento (mm)	Infiltración (mm)
Cuenca del Amazonas						
Parapeti	Andes bolivianos	7 500	920	600	320	-
Izozog	Llanura	45 000	887	875	7	57
Parapeti + Izozog	Total	52 500	892	836	7	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	Salida de Bolivia	887 990	1 818	1 170	648	-
Cuenca cerrada del Altiplano						
Lago Titicaca	Orilla del Lago	48 590	653	470	182	-
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	Chuquina	29 475	414	361	52	-
Altiplano total	Cerrada	191 293	421	408	83	9
Cuenca del Plata						
Pilcomayo	Misión La Paz	92 971	506	439	67	-
Bermejo	Juntas de San Antonio	16 048	1 070	714	356	-
TOTAL REGIÓN		1 366 431	1 419	958	436	19

## 4. Usos y demandas de agua en Bolivia

Frecuentemente se hace una distinción entre los usos consuntivos y los usos no consuntivos de agua. En el cuadro 6, se muestran los usos más importantes en Bolivia.

Cuadro 6. Usos consuntivos y no consuntivos del agua en Bolivia

Usos consuntivos	Usos no consuntivos
Uso doméstico	Uso hidroeléctrico
Agua para riego	Uso recreativo y ecoturismo
Uso industrial	Pesca
Uso minero	Navegación
Uso petrolero	Uso medioambiental

### 4.1. Agua para riego

El mayor consumidor de agua en Bolivia es la agricultura bajo riego. El riego es una actividad de alto consumo de agua (>80%), más importante que los usos urbanos (incluso el uso industrial urbano).

MAGDR-DGSR-PRONAR (2000) inventariaron los sistemas de riego en las zonas áridas y semi-áridas de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz. Estas zonas se caracterizan por las bajas precipitaciones fluviales y una producción agrícola orientada principalmente a los productos básicos.

Se ha logrado inventariar 5 459 sistemas de riego en funcionamiento, del cual 5 350 son sistemas de uso agrícola y 109 de uso pecuario (bofedales). En la primera categoría se distinguieron sistemas de riego familiares (< 2 ha), micro (2-10 ha), pequeños (10-100 ha), medianos (100-500 ha) y grandes (> 500 ha). En los 7 departamentos donde se realizó el levantamiento de información, el inventario ha registrado 4 724 sistemas de riego, 217 975 usuarios y un área regada de 226 564 ha (Cuadro 7).

Cuadro 7. Sistemas de riego, usuarios y área regada por departamento (MAGDR-DGSR-PRONAR 2000)

Departamento	Sistemas		Usuarios		Área regada	
	Número	%	Familias	%	Hectáreas	%
Chuquisaca	678	14.5	17 718	8.1	21 168	9.4
Cochabamba	1 035	21.9	81 925	37.6	87 534	38.6
La Paz	961	20.3	54 618	25.1	35 993	15.9
Oruro	312	6.6	9 934	4.6	14 039	6.2
Potosí	956	20.2	31 940	14.7	16 240	7.2
Santa Cruz	232	4.9	5 865	2.6	15 239	6.7
Tarija	550	11.6	15 975	7.3	36 351	16.0
<b>Total</b>	<b>4 724</b>	<b>100.0</b>	<b>217 975</b>	<b>100.0</b>	<b>226 564</b>	<b>100.0</b>

En el cuadro 8, se pueden observar los sistemas de riego y área regada por categoría. Los sistemas medianos y grandes representan el 8% del total y 57% del área regada. Estos últimos sistemas también presentan la relación más alta ha/usuario. Si comparamos los departamentos, vemos que la relación ha/usuario es mayor en Santa Cruz (2.6) y Tarija (2.3) y menor en La Paz (0.7) y Potosí (0.5).

Cuadro 8. Sistemas de riego y área regada por categoría (MAGDR-DGSR-PRONAR 2000)

Departamento	Micro		Pequeños		Medianos		Grandes		Total	
	Sistemas (N°)	Área (ha)								
Chuquisaca	275	1 653	373	11 370	26	4 261	4	3 884	678	21 168
Cochabamba	303	1 938	577	22 225	128	27 403	27	35 968	1 035	87 534
La Paz	263	1 703	665	21 047	28	6 052	5	7 192	961	35 994
Oruro	172	940	134	3 638	3	440	3	9 021	312	14 039
Potosí	549	3 240	392	10 146	14	2 254	1	600	956	16 240
Santa Cruz	42	269	144	5 456	44	8 434	2	1 080	232	15 239
Tarija	129	785	331	12 755	83	17 101	7	5 710	550	36 351
<b>Total</b>	<b>1 733</b>	<b>10 528</b>	<b>2 616</b>	<b>86 638</b>	<b>326</b>	<b>65 944</b>	<b>49</b>	<b>63 454</b>	<b>4 724</b>	<b>226 564</b>

El cuadro 9 muestra los sistemas de riego organizados según fuente de agua. El mayor número de sistemas de riego tiene como fuente al río. Existen, sin embargo, diferencias grandes entre los departamentos. El departamento de Cochabamba, por ejemplo, riega principalmente con agua proveniente de pozos, aunque el río y embalses son también importantes fuentes. El riego con aguas de vertiente es muy característico en La Paz y Potosí.

Cuadro 9. Sistemas de riego por fuente de agua y área regada por departamento (MAGDR-DGSR-PRONAR 2000)

Departamento	Ríos		Vertientes		Pozos		Embalses		Total
	Sistemas (N°)	Área (ha)	Sistemas (N°)	Área (ha)	Sistemas (N°)	Área (ha)	Sistemas (N°)	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
<b>Totales</b>	<b>3 428</b>	<b>154 582</b>	<b>702</b>	<b>13 869</b>	<b>496</b>	<b>14 160</b>	<b>103</b>	<b>43 470</b>	<b>226 031</b>

En la Fig. 15, se puede observar que la mayoría de los sistemas de riego se encuentra en las cuencas de Bermejo, Tarija, San Juan del Oro, Cotagaita, Pilaya-Tumusla,

Salares, Marquez, Pilcomayo, río Grande, Turco, Lauca, Desaguadero, Boopi, Beni, Caracollo y Titicaca.

## 4.2. Abastecimiento de agua para uso doméstico

Se ha observado un notable incremento en la cobertura de servicios de agua potable entre 1976 y 2002, sin embargo no se ha distribuido equitativamente observándose diferencias principalmente entre el sector urbano y rural, además de diferencias entre los departamentos (Cuadros 10 y 11). En el cuadro 11, se puede apreciar que el mayor consumo en las zonas urbanas es doméstico. Para un correcto análisis de las cifras de cobertura presentadas en los cuadros es importante considerar que solo están referidas a la creación de infraestructura. Solo cinco de las nueve ciudades capitales de departamento cuentan con servicio permanente las 24 horas. La ciudad de Cochabamba enfrenta los mayores problemas de abastecimiento de agua potable, seguida de las ciudades de Potosí, Sucre y Cobija.

Cuadro 10. Cobertura de servicio de agua potable por departamento (BM 1999 ; OPS 2001 ; INE 2002)

Departamento	% de cobertura total	% de cobertura total en área urbana <sup>1</sup>	% de cobertura total en área urbana	% de cobertura en área rural	% de cobertura total
<i>Fuente</i>	<i>BM (1999)</i>	<i>OPS (2001)</i>	<i>INE (2002)</i>		
Chuquisaca	52	86.6 <sup>a</sup>	87.0	30.2	53.9
Cochabamba	66	70.5 <sup>a</sup>	68.6	34.2	53.9
La Paz	80	99.9 <sup>c</sup>	85.6	30.8	65.5
Oruro	74	90.3 <sup>a</sup>	85.6	21.2	57.5
Potosí	52	81.3 <sup>a</sup>	86.5	23.1	44.0
Tarija	73	90.3 <sup>a</sup>	90.8	45.9	75.5
Santa Cruz	83	94.2 <sup>b</sup>	90.4	32.5	77.7
Beni	57	-	47.6	6.3	35.1
Pando	31	-	73.5	11.6	38.6
Total	72	-	-	-	-

<sup>1</sup> Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento (2001) en base a datos obtenidos de :

<sup>a</sup> ANESAPA al año 1997

<sup>b</sup> SAGUAPAC y ANESAPA para el año 1999

<sup>c</sup> la empresa Aguas del Illimani para el año 1999

Cuadro 11. Cantidad de consumo de agua potable por año según departamento y tipo de consumidor, 1996-2001 (miles de metros cúbicos) (INE, 2001)

Departamento	1997	1998	1999	2000	2001
Chuquisaca	4 947	5 414	5 193	5 135	5 162
Doméstico	3 785	4 204	4 078	4 100	4 150
Comercial	319	331	281	253	246
Industrial	289	257	200	131	93
Oficial	554	623	634	651	673

La Paz	40 196	41 004	41 556	42 764	41 447
Doméstico	29 037	29 909	31 482	33 211	32 063
Comercial	5 531	5 404	5 281	5 129	5 030
Industrial	2 001	1 977	1 762	1 716	1 829
Oficial	3 627	3 713	3 030	2 708	2 525
Santa Cruz	30 493	33 043	35 554	36 706	36 643
Doméstico	21 450	23 930	26 403	26 308	27 198
Comercial	7 697	7 754	7 699	8 802	7 794
Industrial	387	402	403	390	347
Oficial	959	957	1 049	1 205	1 303

Tabla 11 continuación

Cochabamba	11 184	10 914	11 259	11 840	12 314
Doméstico	9 260	9 138	9 291	9 854	10 344
Comercial	1 409	1 280	1 421	1 407	1 365
Industrial	157	158	165	165	162
Oficial	358	338	383	414	443
Oruro	4 155	5 023	3 444	4 231	4 617
Doméstico	2 838	3 527	2 152	2 632	2 892
Comercial	458	550	578	778	763
Industrial	529	514	249	216	256
Oficial	330	432	465	606	706
Potosí	1 189	1 282	1 338	1 318	1 382
Doméstico	803	996	1 095	1 047	1 128
Comercial	179	144	111	113	118
Industrial	178	122	116	147	68
Oficial	29	20	16	11	68
Tarija		3 214	3 101	2 943	2 952
Doméstico		2 788	2 648	2 532	2 565
Comercial		374	415	385	361
Industrial		32	16	14	13
Oficial		21	21	11	12
TOTAL	92 163	99 893	101 444	104 937	104 516

En el cuadro 12, se tienen datos de las empresas de servicio de agua potable de las capitales de departamento, los caudales de oferta y tipos de fuente de abastecimiento. En la mayoría de las ciudades del país, se disponen de fuentes superficiales y subterráneas. En varias ciudades los acuíferos subterráneos están siendo sobreutilizados (i.e. Oruro). Algunas ciudades (i.e. Potosí, Cochabamba) enfrentan serios problemas de abastecimiento de agua potable. En Cochabamba, se prevé que el proyecto MISICUNI abastecerá la demanda de agua potable y de riego desde el año 2004.

En el área rural (Cuadro 13), se tienen muchas dificultades de abastecimiento de agua potable como son la dispersión de la población, poca capacidad municipal para generar y canalizar proyectos, y poco interés para la inversión por parte del sector privado. En el área rural, además de tener bajos porcentajes de cobertura, en la mayoría de los casos el abastecimiento es a través de fuentes públicas y no de conexiones domiciliarias como ocurre mayormente en el área urbana.

La baja cobertura en el abastecimiento de agua potable a la población ha provocado que las principales enfermedades y la alta mortalidad infantil estén relacionadas con la baja calidad del agua (malaria, diarreas, fiebre tifoidea, etc.).

En cuanto a las proyecciones a futuro, existe un Plan Nacional del Viceministerio de Servicios Básicos con estimaciones para el 2000-2010 (Cuadro 14).

Cuadro 12. Tipo de fuente y caudal ofertado de las empresas de agua potable de las capitales de departamento (Mattos y Crespo 2000)

Ciudad	Empresa	Fuente	Q (l/s)
La Paz / El Alto	Aguas del Illimani (Concesionario privado)	8 fuentes superficiales (Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapu, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo)	Entre 2 011 y 4 525
Santa Cruz	SAGUAPAC (cooperativa)	Acuíferos subterráneos (Tilala) (30 pozos)	347 – 2 067
	9 cooperativas pequeñas		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	Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado SELA (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (ríos Sepulturas y Huayña Porto)	34
		Fuentes subterráneas (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

Cuadro 13. Cobertura por tipo de servicio de agua potable (OPS, 1998)

Tipo de servicio	Área urbana		Área rural	
	Población en miles	%	Población en miles	%
Conexión domiciliaria	4 169	87.4	967	30.4
Acceso a fuente pública	227	5.7	432	13.6
Total con servicio	4 441	93.1	1 399	44.0
Total sin servicio	329	6.9	1 781	56.0

Cuadro 14. Proyecciones de cobertura de agua potable y saneamiento a nivel nacional (VSB, 2000)

Tipo de servicio	Meta para fines del 2010 (población en miles)
Urbano : agua por conexión privada	5 529
Urbano : agua por otro medio (fuente pública, pozo, etc.)	307
Rural : agua con acceso cercano (fuente pública, pozo, etc.)	2 457
Saneamiento urbano : conexión domiciliaria a red de alcantarillado o por otro medio (tanques sépticos, letrinas, etc.)	4 607
Saneamiento rural : instalaciones adecuadas	2 048

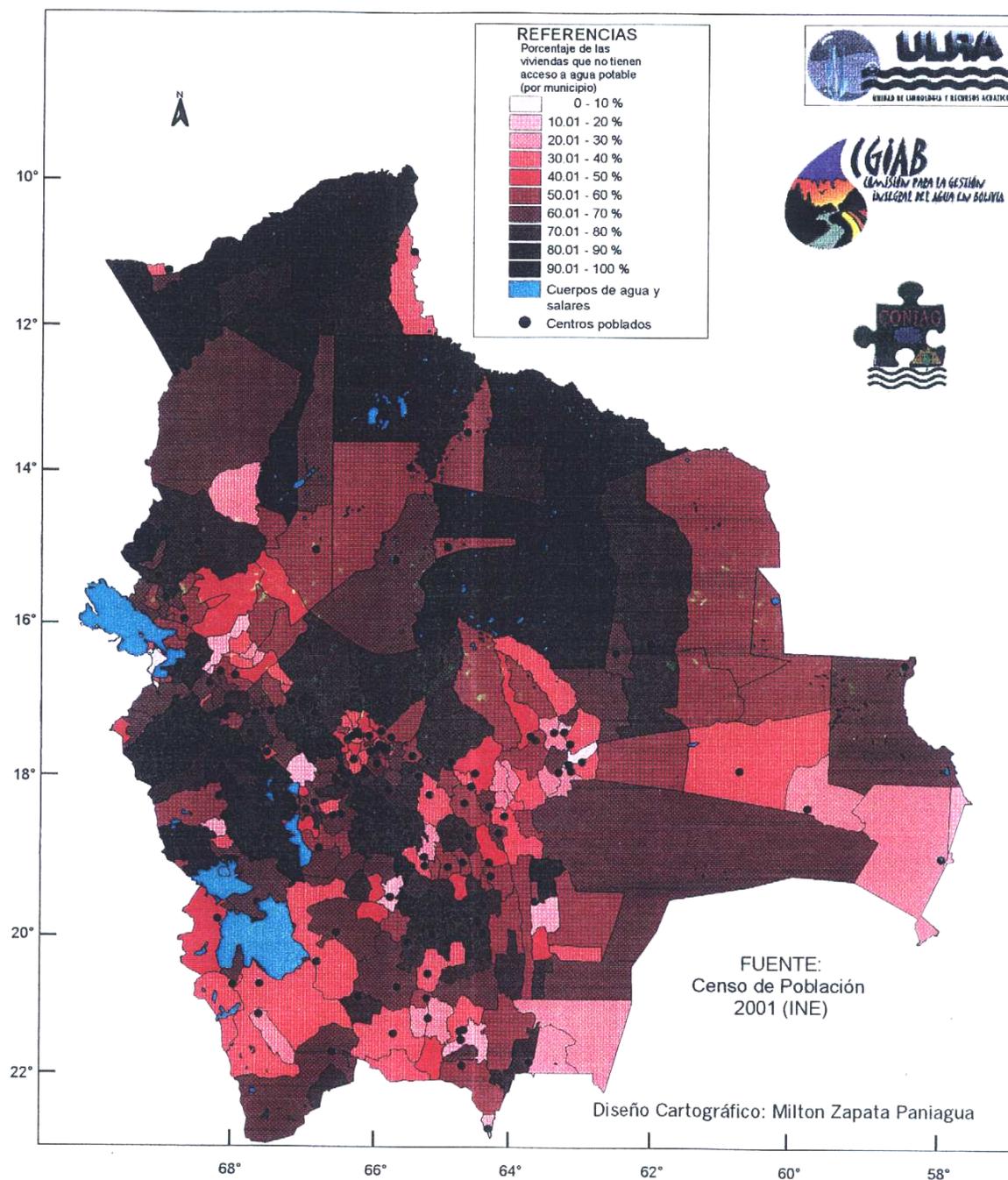


Fig.6. Mapa de disponibilidad de agua potable por municipio en base al Censo de Población de 2001 (INE, 2002)

### **4.3. Uso industrial, minero y petrolero**

La mayor parte de las industrias en Bolivia está ubicada dentro de las ciudades y en la mayoría de los casos utilizan el agua potable de los sistemas de distribución (Cuadro 11). El parque industrial de Santa Cruz es la única zona industrial en Bolivia que cuenta con servicios básicos y que se encuentra lejos de las zonas residenciales.

La demanda de agua para consumo manufacturero varía según la industria. Las mayores industrias consumidoras de agua en La Paz pertenecen al ramo de los textiles, curtiembres, producción de levadura y cerveza. En Cochabamba, los usuarios más importantes son las curtiembres, fábricas de detergentes y aceites y fábricas de papel.

Según la bibliografía, el consumo de agua en la industria minera, ubicada mayormente en el área rural, es de aproximadamente 31.5 millones de m<sup>3</sup> de agua por año (1 m<sup>3</sup>/s). Sin embargo, es difícil determinar en forma exacta el consumo de agua por la industria minera ya que depende de muchos factores, como el proceso utilizado, maquinaria, metal extraído, etc. Por ejemplo, MDSMA-SNRNMA (1996) y Rocha (1999) indicaron que la mina Huanuni-Ingenio Santa Elena utiliza alrededor de 240 litros de agua por segundo derivados del río Huanuni, de los cuales 66% es reciclado.

Las actividades hidrocarburíferas también demandan el uso de agua, principalmente de fuentes superficiales. Este requerimiento varía sustancialmente de acuerdo al tipo y magnitud del proyecto, no existiendo a la fecha una referencia documentada del volumen de agua utilizado para cada actividad (MDE-VEH, 2001).

### **4.4. Navegación de ríos y lagos**

#### **4.4.1. Transporte fluvial**

Bolivia cuenta con aproximadamente 8 000 km de ríos navegables, en su mayoría ubicados en el sistema amazónico boliviano.

Los ríos amazónicos son importantes para el transporte de carga. Se está dando mucha importancia al transporte ínter modal, que es el transporte combinado entre la carretera y los ríos. Esto sin duda transformará los puertos actuales en polos de crecimiento económico donde se concentrarán empresas de carga, instituciones de control naval, instituciones de desarrollo científico, comandancias navales y pequeños comerciantes (Rocha 1999).

Los puertos más importantes en la amazonía boliviana son Puerto Villarroel (río Ichilo), Trinidad y Guayaramarín (río Mamoré), que juntos representan el eje Ichilo-

Mamoré. El Programa de mejoramiento de la infraestructura en el eje Ichilo-Mamoré fue desarrollado por el Servicio de Mejoramiento de la Navegación (SEMENA). Otros ejes de navegación importantes son la hidrovía Canal Tamengo-Paraguay-Paraná, el eje Iténez-Madeira, y el sistema Beni-Madre de Díos. Estas dos últimas vías de navegación tienen algunas limitaciones para la navegación de embarcaciones grandes.

La mayoría de las rutas navales tiene importancia nacional, pero además forman parte de corredores bio-oceánicos. Es el caso para el eje Ichilo-Mamoré que en su concepción formaría parte del corredor bio-oceánico Pacífico-Atlántico. Puerto Aguirre, en la ruta de la hidrovía Paraguay-Paraná, cuenta con un puerto que recibe carga tanto nacional como internacional. La hidrovía se constituye en la más importante de las vías que provee 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 km<sup>2</sup>, con una población que sobrepasa los 17 000 000 habitantes. A Bolivia le corresponde 370 000 km<sup>2</sup> (el departamento de Santa Cruz y parcialmente Tarija y Chuquisaca). En este momento, la hidrovía ya tiene gran importancia para el comercio de soya y minerales.

Además de los ríos principales, existe una multitud de ríos secundarios utilizados por los múltiples asentamientos humanos de población dispersa a lo largo de sus orillas. Estos ríos son utilizados como medio de transporte y de comercio entre las poblaciones y mercados de abastecimiento e intercambio, formando lo que podría llamarse una red vecinal de transporte fluvial (Rocha, 1999).

#### **4.4.2. Transporte lacustre**

Bolivia además del transporte fluvial cuenta con un importante transporte lacustre en el lago Titicaca. Embarcaciones transportan carga y pasajeros. Bolivia dispone de tres puertos importantes en el lago : Guaqui (conectado a la ciudad de La Paz mediante ferrocarril y carretera), Chaquaya (carga de minerales) y Crillon Tours (turismo).

#### **4.5. Uso hidro-eléctrico**

El potencial hidro-eléctrico está poco explotado en Bolivia. Esto ocurre porque los costos de su desarrollo por lo menos a corto plazo son superiores a los costos de generación con base en el gas natural. La existencia de reservas grandes de gas natural en territorio nacional hace poco probable la expansión rápida de la generación hidro-eléctrica.

En Bolivia, las zonas con mayor potencial hidroenergético se encuentran en las laderas del este de la Cordillera de los Andes, por las condiciones hidrológicas y topográficas que presentan, cubriendo una extensión aproximada al 14% de la superficie total del país (Fig. 7).

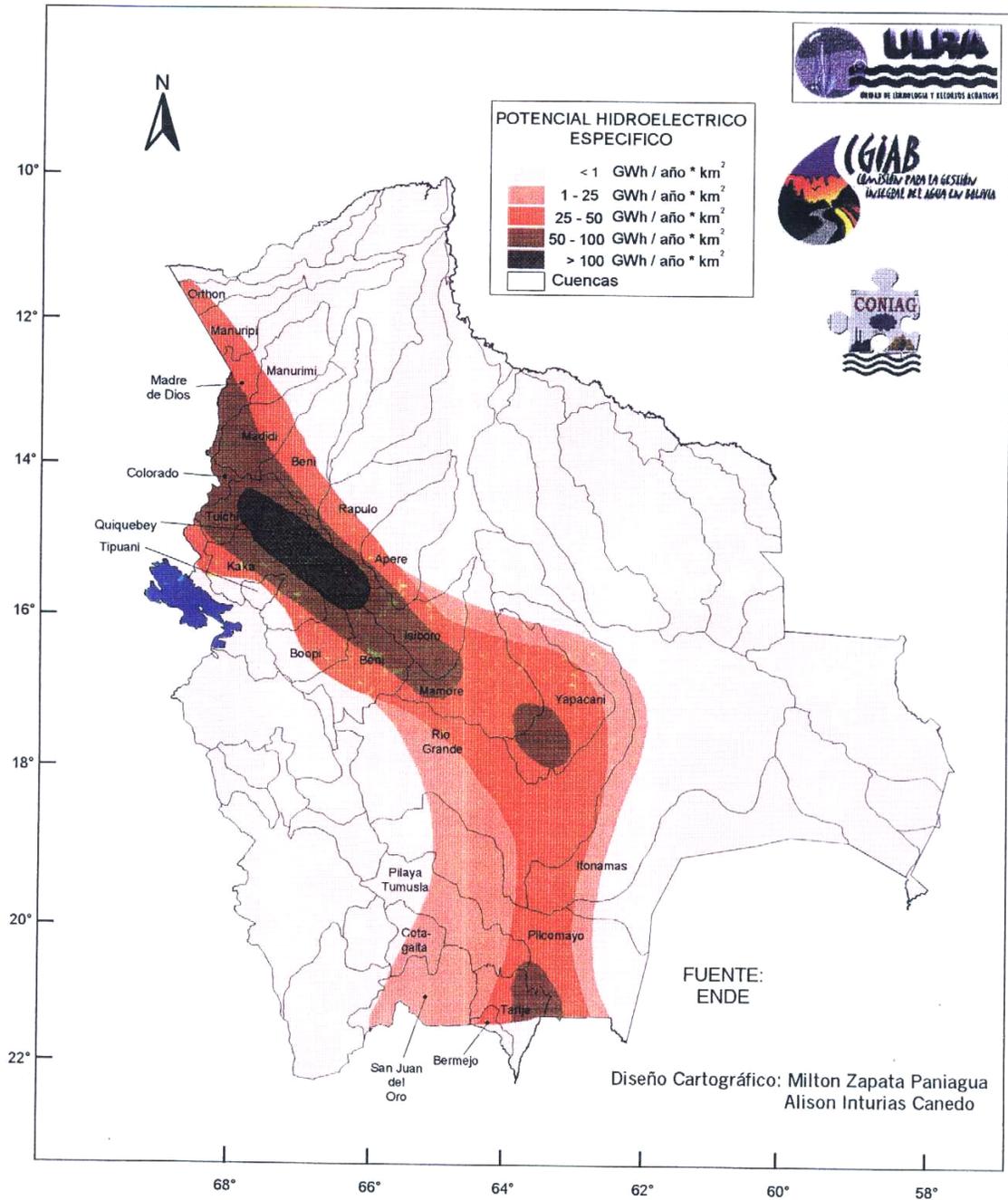


Fig. 7. Potencial hidro-eléctrico específico en Bolivia

Como resultado de los trabajos de inventariación de proyectos hidroeléctricos por parte de ENDE (1993) se han identificado 81 aprovechamientos, con una capacidad total instalable de 11 000 MW, situados en todo el territorio nacional. De acuerdo a este inventario, ENDE (1993) ha realizado un mapeo de zonas con potencial de generación de energía eléctrica (Fig. 7). Los ríos con el potencial hidro-eléctrico más alto pertenecen en su mayoría a la cuenca Amazónica. Actualmente existen varios proyectos identificados y estudios a nivel de preinversión para proyectos eléctricos orientados al suministro energético interno y externo : el proyecto El Bala (río Beni), el proyecto Cachuela Esperanza (río Beni), los proyectos Las Pavas, Arrazayal y Cambarí (río Bermejo), entre otros. Como se ha mencionado anteriormente, varios de los proyectos están paralizados debido a su alto costo.

#### **4.6. Turismo y Uso recreativo**

El uso medioambiental puede ser considerado como la preocupación para proteger los recursos hídricos y la flora y fauna acuática, dentro un marco de integralidad. El uso medioambiental atribuye valores intrínsecos a los hábitats acuáticos y a las especies que los habitan. Generalmente, este uso es compatible con usos no consuntivos de los recursos hídricos, como son el turismo, la navegación o la pesca deportiva.

Bolivia cuenta con una alta diversidad de especies acuáticas y ribereñas. Porque los ecosistemas acuáticos son muy vulnerables a impactos antropogénicos, un gran porcentaje de su fauna ha sido diezmada en un amplio rango de su distribución. En el Cuadro 15, se pueden observar las especies acuáticas que están en peligro de extinción en Bolivia. Para conservar poblaciones viables de estas especies, se ha creado el Sistema de Areas Protegidas de Bolivia.

El uso recreativo y el turismo dependen de un gran porcentaje de la calidad ambiental y del nivel de protección de las zonas de interés. El aporte directo del turismo en Bolivia está calculado entre 5.5% y 8.0% del PIB global. Los ingresos calculados en 2002 se estiman en 20 millones de dólares, los empleos directos e indirectos en 75 000.

El etno-ecoturismo en la Amazonía y los Andes está estrechamente ligado a los ríos y lagos. Los Complejos de Desarrollo Turístico Integral (CDTI's) y rutas turísticas, identificados por el viceministerio de Turismo por su potencial para desarrollar el turismo a mediano plazo, se sitúan cerca de zonas con importantes recursos hídricos. Los más importantes son :

- El circuito de las Joyas Alto andinas en el Altiplano Sur (Salar de Uyuni-Reserva Nacional de Eduardo Avaroa)
- Lago Titicaca, los Yungas y la cordillera Real
- Rutas ecológicas por parques nacionales (Manuripi-Heath, Madidi)

- Eje Ichilo-Mamoré, Trinidad, Riberalta, Chapare, parque nacional Carrasco
- Las misiones Jesuíticas, Parque Amboró, el Parque Nacional Noel Kempff Mercado y el Pantanal Boliviano

Cuadro 15. Especies de peces, anfibios, reptiles y mamíferos acuáticos y su situación de conservación (Elaboración propia en base a Ergueta y De Morales 1996 y Hilton-Taylor 2000).

Nombre científico	Nombre vernacular	Cazada por su piel (años 40-70)	Caza actual por su carne y/o huevos	Caza actual por otras razones	Estado actual UICN (2000)	Inclusión en Apéndices CITES	Estado actual en Bolivia
<b>Cuenca Amazónica y cuenca del Plata</b>							
<i>Pteronura brasiliensis</i>	Londra	++++	-	++ (Competencia con pescadores)	En peligro	I	Sigue siendo rara. En recuperación en algunas zonas remotas
<i>Lontra longicaudis</i>	Lobito de río	+++	-	+ (competencia con pescadores)	Datos insuficientes	I	Datos insuficientes ; Distribución amplia pero poco abundante
<i>Inia boliviensis</i>	Bufo	-	-	+ (mortandad en redes de pesca)	Vulnerable, dependiente de acciones de conservación	-	Reducido por pérdida de hábitat
<i>Melanosuchus niger</i>	Caiman negro	++++	+	+ (mortandad en redes de pesca, y cazada por extracción de aceite)	Menor riesgo	I	En recuperación
<i>Caiman yacare</i>	Lagarto	+++	+	+ (mortandad en redes de pesca)	-	II	En recuperación, fuera de peligro
<i>Eunectes murinus</i>	Sicuri	-	-	+ (caza por peligro que representa)	-	II	Datos insuficientes
<i>Podocnemis unifilis</i>	Tortuga	-	++++	+ (mortandad en redes de pesca)	Vulnerable	II	Distribución amplia, pero poco abundante
<i>Podocnemis expansa</i>	Tortuga	-	+++	+ (mortandad en redes de pesca)	Menor Riesgo	II	En peligro

En la "Encuesta gasto del Turismo" (VMT-BCB-INE, 2001), el 24.5%, 12.3%, 4.2% y 4.0% de los encuestados afirmó haber visitado respectivamente Copacabana, el Salar de Uyuni, Lago Titicaca e Isla del Sol durante su estadía en Bolivia. Otros destinos populares son Rurenabaque (4.8%) y Chapare (1.5%), lugares donde la mayoría de los turistas buscan una experiencia ecoturística.

Es interesante notar que se indica en la misma "Encuesta gasto del Turismo" (VMT-BCB-INE, 2001) que entre 5% (turistas de América del Sur) y 17% (turistas asiáticos) de los entrevistados afirman haber realizado la actividad "Navegar en ríos", actividad que sigue a las más mencionadas como recreación (45.9%), actividades culturales (40.3%) que involucra a fiestas populares, festividades folclóricas y religiosas, mercados y sitios tradicionales, y visitas a ruinas arqueológicas (38.7%). "Navegar los ríos" se menciona más frecuentemente que actividades como "caminatas", "escalar montañas", "visitas a sitio turísticos" y "visitas a poblaciones específicas".

#### 4.7. Pesca y acuicultura

A pesar de existir una producción pesquera tanto en la Amazonía como en el Altiplano, el consumo de pescado en Bolivia esta entre los más bajos en América Latina y en el mundo (1 kg/persona/año, muy inferior a lo recomendado por la FAO, 12 kg/persona/año).

En el cuadro 16, se compara el consumo de pescado con el consumo de carne de res y carne de pollo, según la Encuesta de Hogares de 1999 (INE, 2001). Se puede observar que el consumo de pescado es generalmente más bajo que el consumo de otras carnes, y que el consumo es aun más bajo en los estratos más pobres del país.

Cuadro 16. Consumo de carne de pescado, res y pollo según condición de pobreza (1999) (INE, 2001)

Condición de pobreza	Alimento	Cantidad per cápita /día (g)	% de gasto mensual en alimentos del hogar	% de hogares que consumen el alimento
No pobres	Carne de pollo	75.3	6.3	79.0
	Carne de res	89.5	11.4	79.8
	Carne de pescado	23.7	2.2	42.0
Pobres moderados	Carne de pollo	40.5	6.0	69.0
	Carne de res	53.2	11.3	75.6
	Carne de pescado	14.6	2.1	37.3
Pobres indigentes	Carne de pollo	17.2	4.3	40.7
	Carne de res	28.0	10.2	45.0
	Carne de pescado	10.2	2.2	31.6

##### 4.7.1. La pesca en los lagos del Altiplano

En el Altiplano, actividades pesqueras importantes se realizan en el lago Titicaca y en el lago Poopó.

La pesca en los lagos del Altiplano es dirigida a especies exóticas, la trucha y el pejerrey, y a especies nativas. En la parte boliviana del lago Titicaca las tasas de

capturas alcanzan un máximo de 2 600 toneladas/año (Alisson 1998). Sin embargo, existen indicaciones de sobre-pesca de las especies exóticas y existe preocupación en cuanto al futuro de la trucha y la supervivencia de algunas especies nativas del género *Orestias*. Los recursos pesqueros del lago Titicaca sostienen entre 1 500 y 3 200 pescadores del lado boliviano, ya sea de tiempo completo, medio tiempo u ocasionales.

Las capturas en el lago Poopó llegaron a un máximo de 2 437 toneladas/año, entre pejerrey y karache, en el período 1989-1991. En 1992, el lago se secó y desde entonces la pesca está recuperando paulatinamente. Aparte de la sequía, la contaminación con desechos mineros dificulta la recuperación del recurso pesquero. La desaparición de la actividad pesquera en el lago Poopó ha tenido fuertes efectos socio-económicos para las 4.000 personas que dependían directamente de dicha actividad.

#### **4.7.2. La pesca en los ríos Amazónicos**

Casi todos los ríos Amazónicos sostienen una pesca de subsistencia importante. Además, algunos ríos (río Ichilo, río Mamoré, río Iténez, río Beni, río Madre de Dios) también sostienen una pesca comercial.

Se han identificado un total de 389 especies en la Amazonía Boliviana. Peces de tipo Siluriformes y Characoidei son los predominantes. Las especies más grandes de estos grupos constituyen la mayor parte de las capturas comerciales de la cuenca Amazónica. Las capturas de subsistencia son más variadas (Allison, 1998). Los recursos pesqueros explotables pueden dividirse tentativamente en los peces que realizan largas migraciones de desove (por ejemplo, el plateado *Brachyplatystoma fasciatum*) y aquellos que se trasladen lateralmente a las llanuras inundadas adyacentes para desovar y alimentarse (por ejemplo, el pacú *Colossoma macropomum*).

Se supone que el recurso pesquero está subexplotado (Alisson, 1998, Reinert y Winter, 2002), aunque algunas especies (como pacú) en algunas áreas específicas (por ejemplo en la cuenca del río Mamoré) muestran los primeros signos de sobre-explotación.

#### **4.7.3. La pesca en el río Pilcomayo**

La pesca comercial en el río Pilcomayo (Villamontes) se concentra en el sábalo (*Prochilodus lineatus*). Los rendimientos en estas pesquerías han sido por encima de las 2 000 toneladas en algunos años y promediaron 1 400 toneladas durante los años 1970 y 1980. En años recientes, la pesca ha disminuido en importancia, probablemente debido a factores hidrológicos, y no tanto es resultado de la

contaminación minera como fue sugerido anteriormente (Allison, 1998; Smolders, 2001).

#### **4.7.4. La acuicultura**

El cultivo de peces en Bolivia está en su infancia. La única forma de acuicultura intensiva que se practica en el país es el cultivo de truchas en el Altiplano. En la cuenca del Amazonas, se cultivan especies nativas (pacú y tambaqui) y especies exóticas (tilapia) en sistemas extensivos. Se puede esperar que la demanda de agua para esta actividad incrementará en el futuro.

Densidades altas de peces cultivados en jaulas flotantes pueden teóricamente alterar las condiciones químicas y biológicas de la laguna en que se encuentran las jaulas. En algunos casos, la presencia de peces-planctívoros puede impulsar un cambio en la calidad del agua, lo cual puede imposibilitar que el agua sea utilizada para recreación o para abastecimiento de redes de agua potable.

## **5. La calidad del agua en Bolivia**

### **5.1. Concentraciones de fondo : la calidad "natural" de las aguas en Bolivia**

Navarro y Maldonado (2002) hicieron un primer esfuerzo para clasificar las aguas superficiales de Bolivia. Utilizaron tres criterios complementarios, basados respectivamente en (a) el grado de mineralización (medida por la concentración de sólidos totales disueltos o, alternativamente, por la conductividad eléctrica), (b) la presencia de los iones mayores, (c) la acidez (medida por el pH). Utilizaron estos criterios para predecir la presencia de comunidades de organismos acuáticos. De su descripción generalizada es aparente que algunas de las características hidroquímicas naturales pueden restringir o limitar localmente el uso del agua. Es por ejemplo el caso para las aguas superficiales en las zonas mineras de Oruro y Potosí.

#### **5.1.1. Concentraciones "naturales" de metales en las aguas superficiales**

PPO (1996) estimaron que el 10% de los sulfatos (que causan la formación de Drenaje Ácido de Rocas) representan transporte natural de fondo. En el área municipal de Oruro, el transporte de fondo natural de metales varía entre un 10% (para el arsénico) y 50% (para el cobre). PPO (1996) afirman que casi todos los ríos en los alrededores del lago Poopó (también éstos que no reciben contaminación) tienen niveles naturales de metales mayores a los valores considerados límites en el

mundo. Algunos de los metales, principalmente el antimonio y el arsénico, alcanzan altos niveles de concentración de fondo. 75% del aporte de Pb al lago es de origen natural. Asimismo, 85% del arsénico transportado por el agua superficial al lago Poopó tiene origen natural, del intemperismo de vulcanitas en las cuencas colectoras de los ríos Mauri, Márquez y Sevaruyo (PPO, 1996). Los mismos autores indican que la “contaminación natural” de arsénico puede ser un problema mayor y un riesgo para la salud humana. Se asume que las altas concentraciones naturales de arsénico crean una fuerte presión sobre el ecosistema acuático.

Muchas aguas superficiales no son aptas para riego o presentan riesgos de salinización. Por ejemplo, el agua del río Desaguadero tiene una conductividad de 1.9 mS/cm, la cual significa que presenta riesgos para ciertos cultivos y disminución de la productividad de otros (ZONISIG 1998). Las aguas del río Mauri y del lago Titicaca presentan alto riesgo de salinidad y bajo riesgo de alcalinización. El mismo fenómeno fue reportado para las aguas superficiales en la cordillera occidental (volcánica) que generalmente no pueden ser usadas para riego o para consumo humano debido a sus alto grado de mineralización (altas concentraciones de sólidos disueltos) (ZONISIG, 2000). Asimismo, varios ríos en la cuenca del Plata tienen una salinidad alta a muy alta y alta alcalinidad lo cual los hace no aptos para usos consuntivos.

MAGDR-PRONAR (2000) analizaron muestras de las aguas utilizadas en los sistemas de riego en Bolivia. Generalmente, la salinidad y/o sodicidad forman problemas serios en gran parte del país. Se puede observar que el departamento de Potosí reporta la mayor área regada con riesgo de salinización. Se puede suponer que la mayoría de las aguas muestreadas no recibió contaminación de fuentes antrópicas, entonces los datos presentados reflejarían el nivel de contaminación “natural”. También, se debe indicar que las aguas muestreadas provienen de diferentes fuentes (pozos, manantiales, ríos, atajados).

Cuadro 17. Calidad del agua de sistemas de riego de Bolivia (MAGDR-PRONAR, 2000)

Departamento	Nº de muestras	Acidez de agua			Conductividad eléctrica		
		pH<6.5	6.5<pH<8.4	pH>8.4	Ninguna restricción	Ligera restricción	Severa restricción (salinización)
		Uso con riesgo	Amplitud normal	Uso con riesgo			
Cochabamba	439	2%	72%	26%	67%	32%	1%
Chuquisaca	678	18 %	44 %	38 %	43 %	56%	1 %
La Paz	946	2%	73 %	25%	59%	40%	1%
Oruro	302	4%	59%	37%	47%	50%	4%
Potosí	956	2%	47%	51%	31%	67%	2%
Santa Cruz	232	9%	69%	23%	78%	22%	0%
Tarija	550	1%	80%	19%	47%	53%	0%

### **5.1.2. Contaminación “natural” de las aguas subterráneas**

Varios acuíferos subterráneos tienen aguas no aptas para consumo humano o para riego. En el departamento de Oruro, el agua subterránea de los pozos poco profundos utilizado para uso doméstico y para el riego en las comunidades rurales contiene altos niveles de antimonio y arsénico de origen natural. Varias comunidades en esta zona carecen de una fuente de agua subterránea adecuada para el suministro de agua potable con calidad química aceptable.

## **5.2. Fuentes de contaminación de aguas superficiales**

### **5.2.1. Uso de la tierra**

Varias acciones antrópicas pueden provocar cambios en los caudales de los ríos. Uno de los impactos más grandes es causado por los cambios en el uso de la tierra. Los suelos más susceptibles a la erosión son aquellos que tienen escasa cobertura vegetal y escasa materia orgánica en el Altiplano. La erosión está agravada por el sobre pastoreo de los suelos. El aumento de la erosión causada por la deforestación de los bosques ribereños puede resultar en cambios en el caudal del río y/o en la cantidad de sedimentos en suspensión, lo cual puede conducir a su turno a una rápida colmatación de los ríos. Es el caso para el cauce inferior del río Pilcomayo, por el cual grandes cantidades de sedimentos están transportados. La cuenca de este río tiene una tasa de erosión muy alta, agravada por la deforestación y la introducción de animales domésticos. El material en suspensión sedimenta en la zona inferior, causando una colmatación del cauce natural, provocando cambios del cauce. Como consecuencia, los humedales ya no reciben agua del río. La colmatación del cauce inferior es uno de los problemas más serios en el río Pilcomayo (Smolders 2001). Problemas similares han sido reportados para el río Desaguadero (ALT, 1996 ; Molina 2001).

La erosión de suelos ocasionada por la deforestación, la sequía y la sobreexplotación afecta a un porcentaje mayor a 30% del territorio nacional. Estos impactos tienen una gran importancia en Bolivia pero son generalmente pobremente documentados.

### **5.2.2. Contaminación orgánica por residuos líquidos domésticos**

#### **a) Aguas residuales producidas en las ciudades**

JICA-HAM (1993) estimaron que 403 000 personas descargan aguas residuales al río Choqueyapu (La Paz), lo cual significaría una descarga a este río de  $3 \cdot 10^6 \text{m}^3/\text{año}$ . En los centros urbanos de Santa Cruz y Cochabamba, las cargas de contaminantes se encuentran en el mismo orden. En el cuadro 18, se hace una proyección de los

volúmenes de aguas residuales producidas y proyectadas, a partir de los datos poblacionales actuales.

Cuadro 18. Estimaciones de los volúmenes de aguas residuales producidas a partir de los datos de población (Villarroel, 2001 ; INE 2000)

Ciudad	% crecimiento	Población urbana		Caudal Aguas residuales (l/s)		(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
		2001	2020	2001	2020	2001	2020
Cochabamba	4.19	855 277	1 865 527	712.7	1 554.6	22.5	49.0
Sucre	4.18	217 019	472 499	180.8	393.7	5.7	12.4
La Paz	2.82	1 549 759	2 628 685	1 291.5	2190.6	40.7	69.1
Oruro	0.72	237 286	271 939	197.7	226.6	6.2	7.1
Potosí	0.99	237 576	286 478	198.0	238.7	6.2	7.5
Tarija	4.76	247 690	599 270	206.4	499.4	6.5	15.7
Santa Cruz	4.88	1 543 429	3 816 344	1 286.2	3 180.3	40.6	100.3
Beni	3.13	244 207	438 605	203.5	365.5	6.4	11.5
Pando	8.01	20 987	90 733	17.5	75.6	0.6	2.4
Bolivia		5 153 230	10 470 080	4 294.4	8 725.1	135.4	275.2

#### b) Sistemas de alcantarillado

Casi todos los sistemas de alcantarillado en Bolivia tienen sistemas separados para alcantarillado sanitario y pluvial. Sin embargo, muchos sistemas sanitarios reciben conexiones pluviales ilícitas y también descargas líquidas de las industrias, la mayor parte de las veces sin tratamiento previo.

Existen tres situaciones respecto a los sistemas de alcantarillado :

- Lugares donde puede haber agua potable, pero no hay ningún tipo de recolección para las aguas servidas ni tratamiento de las mismas. La disposición de las aguas grises se realiza hacia patios, ríos, etc. en forma directa, de la misma manera la disposición de excretas es al aire libre o en letrinas. En zonas urbanas que no cuentan con un sistema de evacuación de aguas residuales (p.e. La Paz), éstas son vertidas a las vías públicas, las cuales se convierten en colectores que las conducen superficialmente hacia quebradas cercanas, infiltrándose en el trayecto en las superficies permeables causando problemas de estabilidad de suelos (Bustillos, 2000). Una gran parte de las áreas peri-urbanas y poblaciones rurales pequeñas y alejadas del país se encuentran en esta situación.
- Disposición hacia tratamientos primarios como tanques sépticos y tanques Imhoff, para luego ser descargados al alcantarillado municipal o hacia algún río. En esta situación se encuentran barrios cuyo suministro de agua potable y alcantarillado es administrado por una cooperativa o comité independiente de las empresas de agua potable y alcantarillado. También utilizan este sistema de tratamiento las ciudades intermedias.
- Descarga al alcantarillado sanitario, que conduce las aguas hacia una planta de tratamiento (que generalmente son lagunas de estabilización) o hacia un río sin

tratamiento previo. Este tipo de recolección se dispone en la mayoría de las ciudades importantes del país.

Cuadro 19. Cobertura por tipo de servicio de alcantarillado (OPS, 2000)

Tipo de servicio	Área urbana		Área rural	
	Población en miles	%	Población en miles	%
Conexión domiciliaria	2 151	45.1	76	2.4
Otro sistema "in situ"	1 774	37.2	1 046	32.9
Total con servicio	3 925	82.3	1 122	35.3
Total sin servicio	845	17.7	2 058	64.7

El servicio de saneamiento básico en la zona urbana comprende mayormente conexiones domiciliarias al alcantarillado (45.1% de la población urbana rural) (Cuadro 19). El resto de la población servida (37.2%) comprende sistemas como cámaras sépticas y letrinas. En el área rural apenas el 2.4% de la población rural tiene servicio con conexión al alcantarillado. El 32.9% cuenta con los otros tipos de servicio (OPS 2000).

La Encuesta de Hogares del año 1999 (INE, 2001) indica que las diferencias en la disponibilidad, el uso y el desagüe del baño de la vivienda entre el área urbana y el área rural (Cuadro 20). Se puede observar que en la zona rural, sólo 32% de las viviendas dispone de un baño, mientras en el área urbana este porcentaje sube a 87%.

Cuadro 20. Distribución personal de los hogares por área geográfica según disponibilidad, uso y desagüe del baño de la vivienda en 1999 (INE, 2001)

Clasificación	Área urbana	Área rural	Total
<b>Disponibilidad de servicio sanitario (baño)</b>			
Sí tiene	87.02	32.47	66.68
No tiene	12.98	67.53	33.32
<b>Desagüe del baño</b>			
Alcantarillado	51.34	0.76	32.47
Cámara séptica	14.02	3.55	10.12
Pozo ciego	21.09	26.72	23.19
Superficie (calle/río)	0.57	1.45	0.89
No tiene baño	12.98	67.53	33.32

Como ocurre con el caso del servicio de agua potable, la información de la cobertura de saneamiento básico presenta grandes variaciones según la fuente. En el cuadro 21 se pueden observar las estimaciones según OPS (2000), BM (1999) y INE (2002).

Cuadro 21. Cobertura de saneamiento básico en los nueve departamentos de Bolivia (BM 1999 ; OPS 2001 ; INE 2002)

Departamento	Total (Urbana+rural) (%) <sup>1</sup>	Área urbana (%) <sup>2</sup>	Área urbana (%)	Área rural (%)	Total (urbana + rural) (%)
<i>Fuente</i>	<i>BM, 1999</i>	<i>OPS, 2001</i>	<i>INE, 2002</i>		
Chuquisaca	37	78 a	82.5	20.9	47.1
Cochabamba	66	63 a	92.2	36.0	68.1
La Paz	57	76 c	72.6	30.0	57.0
Oruro	34	-	58.6	11.2	37.9
Potosí	24	71 a	73.2	15.3	34.4
Tarija	70	75 a	92.0	40.0	73.6
Santa Cruz	88	41 b	94.5	61.8	87.3
Beni	82	-	90.9	61.6	82.0
Pando	69	-	90.7	58.3	72.4
Total	61	-	-	-	-

<sup>2</sup> Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento (2001) en base a datos obtenidos de :

<sup>a</sup> ANESAPA al año 1997

<sup>b</sup> SAGUAPAC y ANESAPA para el año 1999

<sup>c</sup> la empresa Aguas del Illimani para el año 1999

#### c) Sistemas de tratamiento de aguas residuales

En Bolivia, la mayor parte de los poblados rurales, e incluso muchas poblaciones intermedias y grandes que cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario, no tienen ningún tipo de tratamiento para sus aguas residuales. En la mayoría de los casos, vierten el agua a cuerpos receptores naturales como son los ríos o lagos.

El panorama general respecto al tratamiento de las aguas residuales en Bolivia puede resumirse en tres situaciones :

- Sin tratamiento alguno, se descarga directamente hacia un río, o tienen letrinas
- Con tratamiento primario (tanques séptico e Imhoff)
- Con tratamiento a través de lagunas de estabilización secundarias o terciarias

El cuadro 22 muestra un resumen de los tipos de tratamientos existentes en las capitales de departamento del país.

Cuadro 22. Sistemas de tratamiento en las distintas ciudades de Bolivia

Sistema de tratamiento	Tipo de tratamiento	Capacidad de tratamiento (en diseño) Q (l/s)	Tratamiento actual Afluente Q (l/s)	Efluente Q (l/s)
Alba Rancho (Cochabamba) (1986)	12 estanques de estabilización (8 para tratamiento secundario, 4 para tratamiento secundario)	400	568	290.0
Lagunas del Parque Industrial, Santa Cruz (1980)	6 estanques de estabilización (5 en operación) en serie con tratamiento terciaria	27.2	27.1	26.7
Lagunas Norte Viejas, Santa Cruz (1970)	4 estanques de estabilización que operan en un sistema anaerobico-facultatio	102.8	102.9	102.7
Lagunas Norte Nuevas, Santa Cruz (1989)	4 estanques de estabilización que operan en serie como un sistema facultativo-pulimento	251.7	254.9	247.0
La Tabladita, Tarija (1992)	2 estanques de estabilización (tratamiento anaerobico primario), 1 estanque de estabilización (tratamiento secundario), 1 estanque de estabilización (tratamiento terciario)	63.4	133	108.1
Puchuckollo, El Alto	12 tanques de estabilización en 2 series, cada uno con 6 estanques	446	267	248

La mayor parte de estos sistemas de tratamiento no está funcionando muy bien debido a diversos factores :

- Condiciones climáticas : en toda la región del Altiplano las temperaturas del aire y del agua son bajas
- Sobrecarga hidráulica y orgánica debida a malos diseños o crecimientos poblacionales no previstos
- Falta de mantenimiento y operación debido a la insuficiencia de recursos económicos

Para la ciudad de La Paz, Aguas del Illimani presentó en 2001 un estudio de factibilidad de saneamiento del río Choqueyapu mediante una planta de tratamiento que se ubicaría en Lipari, los altos costos de instalación y sobre todo de mantenimiento repercutirían significativamente en las tarifas actuales de agua potable en la ciudad de La Paz.

### 5.2.3. Contaminación industrial

Las industrias, en su mayoría asentadas en los centros urbanos de Cochabamba, La Paz, Santa Cruz y Oruro, generan una gran cantidad de efluentes líquidos que se suman a la contaminación orgánica que proviene de los alcantarillados de las áreas urbanas. Generalmente, las aguas residuales industriales y las aguas servidas urbanas se mezclan en los ríos y ambos se descargan sobre los ríos. Esto dificulta conocer el aporte a la contaminación que le corresponde a la industria.

En La Paz, la industria textil, las industrias de alimentos instantáneos, bebidas sin alcohol, pulpa de papel, cerveza y el matadero son algunos de las industrias más contaminantes que generan grandes cantidades de aguas residuales y altas concentraciones de DBO. En esta ciudad, 29% de las descargas industriales llegan directamente a los ríos, y 71% llega al alcantarillado. Las aguas residuales industriales recolectadas por el sistema público de alcantarillado son conducidas directamente a los ríos sin ningún tratamiento previo.

En la ciudad de El Alto, los cuerpos receptores de las descargas industriales son el río Seco (5%), el río San Juan (5%), Cámaras sépticas (7%), la calle (12%) y el alcantarillado (71%) (Alvarez, 2000).

En Santa Cruz, los ingenios azucareros no cuentan con ningún tipo de tratamiento de sus efluentes líquidos y afectan la calidad del agua en el río Pirai. En la ciudad de Cochabamba, las curtiembres se han constituido en el problema ambiental más grande, aunque se está haciendo esfuerzos para aliviar este problema.

#### **5.2.4. Contaminación por actividades mineras**

Los ríos más afectados por la contaminación minera en Bolivia se encuentran en las cuencas del río Pilcomayo (ríos Tupiza, Cotagaita, Tumusla, Pilcomayo), del río Caine-Grande (río Chayanta), y del lago Poopó (ríos Huanuni, Santa Fe, entre otros) (Fig. 14). Las actividades mineras conducen a los siguientes problemas ambientales (PPO 1996):

- Generación de Drenaje Ácido de Rocas (DAR)
- Contaminación por metales de los ríos, y degradación de los ecosistemas acuáticos
- Contaminación de los reservorios de agua subterránea
- Contaminación de suelos y cultivos regados con agua contaminada
- Acumulación de metales en lagos cerrados

La contaminación minera genera Drenaje Acido de Rocas (DAR), el cual ha sido reconocida como uno de los factores principales de la degradación de ríos en zonas mineras (PPO, 1996). El DAR se produce como un resultado de la exposición de rocas sulfurosas al aire y al agua y es la causa de los pH ácidos ( $< 4$ ) en las aguas receptoras. Esta acidez inhibe o limita la presencia de flora y fauna acuática (PPO, 1996 ; Hamel *et al.*, 1999), contamina las aguas subterráneas y suelos, provoca daños a viviendas e infraestructura, y limita el uso de esta agua para consumo humano y para riego (PPO, 1996 ; Rojas, 2000). En la ciudad de Oruro provoca daños a la infraestructura sanitaria y la red de distribución de agua potable (Mendizabal de Finot, 1994 ; PPO, 1996).

Las fuentes de DAR incluyen el drenaje de trabajos subterráneos, las colas de ingenio, desmontes de roca estéril de las actividades mineras, desmontes de escoria y residuos metalúrgicos (PPO, 1996). La intensidad de DAR está determinada y medida por la cantidad de sulfatos y metales transportados. En el Cuadro 23, se presenta un resumen del flujo en el agua superficial para diferentes subcuencas, según PPO (1996). El flujo de sulfatos es el mejor indicador para la generación total de DAR. Se puede apreciar que el área municipal de Oruro es la que enfrenta más problemas ambientales causados por DAR, seguido por el área de Huanuni. En la cuenca del río Pilcomayo, varios ríos también registran valores de pH muy bajos (menos que pH 4), debido a los drenajes ácidos de las minas.

Cuadro 23. Flujo de sulfatos y metales seleccionados en agua superficial proveniente de distritos mineros, y entrada anual al Lago Poopó en ton/año. La clasificación del daño ambiental potencial está basada en la generación total del DAR y en el flujo de metales tóxicos.

	Toneladas por año							Potencial para causar daño	
	Sulfato	Zn	Cd	Cu	Pb	As	Sb	Clasificación por DAR	Clasificación por flujo de metales
Flujo de subcuencas que abarcan distritos mineros									
Oruro	49 800	27	0.7	9.8	6.1	41	2.4	1	2
Huanuni	20 000	530	12	44	2	0.2	5	2	1
Santa Fe	20 000	1 300	12	13	0.3	0.8	2	3	3
Antequera	10 000	2 000	6.8	6	0.6	0.1	0.1	4	4
Poopó	900	2	0.2	1.8	0.1	0.1	0.1	5	5

Las actividades mineras en los departamentos de Potosí y Oruro llevan a la acumulación de metales pesados en las aguas superficiales y en los sedimentos de los ríos. Además, estos contaminantes pueden afectar directamente a la sobrevivencia de la fauna acuática (Grosser *et al.*, 1994 ; Solis *et al.*, 1998 ; Hamel *et al.*, 1999) o pueden acumularse en los organismos acuáticos (Beverdige *et al.*, 1985 ; PPO 1996 ; Solis *et al.*, 1998 ; Bervoets *et al.*, 1999 ; Romero *et al.* 2001 ; Smolders, 2001).

Aparte del DAR, los metales pesados mismos tienen una toxicidad probada para los organismos acuáticos. El análisis de las aguas de los ríos en la cuenca del río Pilcomayo reporta niveles altos de varios elementos pesados, que frecuentemente repasan las normas para agua potable de la OMS y las normas vigentes para agua de riego (Cuadro 24) (MDSP/JICA 1999). Es el caso para los siguientes parámetros : Sólidos en suspensión, Cadmio, Mercurio, Plomo y Zinc. Estos elementos pesados son arrastrados en forma de sedimentos que pueden ser depositados en las terrazas mediante riego o durante inundaciones. La contaminación conlleva a la disminución de la actividad agrícola y repercute en la salud.

La biodisponibilidad de estos metales depende mucho de la forma en que se encuentran (Luoma, 1983 ; Bervoets *et al.*, 1998 ; Smolders 2001). Por ejemplo, las

concentraciones de los metales en los tejidos de los sábalos (*Prochilodus nigricans*) del río Pilcomayo se encuentran debajo de las normas existentes (500 ppb para Pb ; 50 Pb para Cd) (Smolders 2001), y esto se debe principalmente a que estos metales no son biodisponibles para esta especie.

En Oruro, el DAR generado en las zonas mineras contamina fuertemente el sistema de agua potable administrado por SELA. La calidad del agua subterránea de Challa Pampa es generalmente muy buena, aunque en el pasado algunos pozos han sido clausurados debido a la calidad pobre de agua (altas concentraciones de arsénico). Sin embargo, la corrosiva acción del DAR y del agua de mina han afectado fuertemente el sistema de tuberías para la distribución de agua potable, la cual muestra contenidos de metales arriba de los valores recomendados por la WHO. Reconociendo estos riesgos, la ciudad de Oruro, ha estado reconstruyendo el sistema de distribución de agua potable.

En la zona rural de Oruro, PPO (1996) encontró que una buena cantidad de los pozos utilizados para riego o para riego potable no satisfacen las normas vigentes debido a sus altas concentraciones de arsénico y/o antimonio. Algunos de estos pozos (área de Vinto-Sepultaras) están contaminados por descargas líquidas de la fundición de Vinto. Los metales se pueden acumular en los suelos y en los cultivos después de estar regados con agua contaminada (Rojas, 2000 ; PPO 1996).

La contaminación de metales pesados es considerada como el principal problema ambiental para el lago Poopó (PPO, 1996 ; Franken & Gonzales 2000), que recientemente ha sido declarado sitio RAMSAR. Estos últimos autores indican que los lagos Poopó y Uru Uru funcionan como sumideros para arsénico, zinc, plomo, antimonio y cadmio. Estos metales son tanto de origen natural (PPO, 1996) como de origen antropogénico, de las actividades mineras en el noreste del lago Poopó y la fundición de Vinto. PPO (1996) estimó que anualmente 40 000 toneladas de fosfatos, 1 800 toneladas de Zn, 2.3 toneladas de Pb, 24 toneladas de Cd y 57 toneladas de Cu se transportan por los ríos Huanuni y Santa Fe. Por ser una cuenca endorreica, todos estos contaminantes se acumulan en el agua, los sedimentos, las plantas acuáticas y en todos los componentes de la cadena trófica del lago Poopó (PPO, 1996 ; Franken & Gonzales 2000), representando un peligro para los recursos pesqueros y la salud humana. Probablemente, el lago Poopó sólo alberga especies que han desarrollado resistencia frente a estos tóxicos, y a factores de estrés natural como la salinidad alta y el pH alto. El cuadro 24 muestra que la fracción antropogénica de la cantidad total de metales está dominada por zinc, cadmio, cobre y antimonio.

A modo de ilustración, se muestra en el cuadro 24 el transporte anual estimado de azufre y metales al y del Lago Uru Uru. Los sedimentos del fondo de la parte norte de este lago están muy contaminados. Gran parte de los metales que entran el lago Uru Uru están incorporados en plantas acuáticas, que están utilizadas como alimento para animales.

Cuadro 24. Transporte anual estimado de azufre y metales al y del lago Uru Uru y al lago Poopó (PPO, 1996)

	Fe	S	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
<b>Entrada al lago Uru Uru</b>									
Aporte mínimo toneladas/año	780	18 600	45	0.09	5.2	2.3	2.2	1	7.2
Aporte máximo Toneladas/año	3 470	75 000	185	0.91	26.1	9.5	13	5.4	48.0
<b>Salida del lago Uru Uru</b>									
Aporte mínimo toneladas/año	16	53 500	10	0.07	1.1	1.8	1.3	3.2	0.96
Aporte máximo toneladas/año	70	230 000	44	0.27	4.7	7.4	5.4	13.5	4
<b>Entrada al lago Poopó</b>									
Aporte total Toneladas/año	1 300	102 000	66	29.2	62	-	8	8	3 420
% Antropogénico	62	62	15	99	89	-	25	88	99

### 5.2.5. Contaminación de mercurio

El mercurio se encuentra en casi cada compartimiento ambiental incluyendo aire, gases volcánicos, agua dulce, suelos, rocas, sedimentos de ríos y lagos, y en organismos vivos (Maurice-Bourgoin, 2001). El mercurio en el medio ambiente tiene orígenes naturales como las emisiones volcánicas, la disolución de rocas o la erosión de suelos. Prácticas agrícolas, como el chaqueo, que favorecen el proceso natural de erosión de los suelos, y otras actividades como la construcción de carreteras, pueden inducir la introducción de mercurio en el ambiente acuático.

Sin embargo, las principales fuentes actuales de Hg son de origen antropogénico. En Bolivia, la mayor fuente de este elemento es su uso y desecho en la explotación de oro en los departamentos de Beni y Pando. En la cuenca alta del río Iténez, alrededor de 500 pequeños mineros emiten aproximadamente 15 toneladas de mercurio por año (Hentschel *et al.* 2000). Maurice-Bourgoin (2001a) estimó que sólo en el departamento de Pando, 300 toneladas de Hg fueron desechados en el período 1979-1997. Nriagu *et al.* (1992) estimaron que entre 1550 y 1880 cerca de 200 000 toneladas de mercurio fueron desechadas al ambiente en toda la América colonial hispana.

La contaminación del medio ambiente por mercurio es un problema muy grande en la cuenca Amazónica Boliviana, afectando tanto las aguas, los suelos como el hombre y la fauna acuática. Bajo condiciones favorables, el mercurio puede ser metilado en los sedimentos y/o por plantas acuáticas, incorporarse en la cadena trófica acuática, y biomagnificarse hasta contaminar los peces carnívoros, y finalmente el hombre que consume el pescado contaminado. Maurice-Bourgoin *et al.* (1999) y Maurice-Bourgoin

(2001a) determinaron las concentraciones de mercurio en agua, sedimentos y peces y evaluaron el impacto sobre las poblaciones humanas ribereñas, llegando a los siguientes resultados :

- La contaminación por mercurio de los arroyos y ríos localizados al pie de las minas auríferas localizadas en las faldas de los Andes es extrema. Las concentraciones de mercurio analizado en estas aguas superficiales superan hasta más de 500 veces el valor promedio mundial.
- Los sedimentos de los ríos de las cabeceras andinas están muy contaminados al pie de las minas. Las concentraciones sobrepasan hasta 44 veces el límite permisible en Bolivia
- El 72% de los peces piscívoros y carnívoros colectados en los tributarios del río Beni están altamente contaminados ya que sobrepasaron, hasta cinco veces, el valor límite de la OMS (1976) de 0.5 µg Hg/g. Las especies contaminadas fueron el surubí y pintado (*Pseudoplatystoma spp.*), la palometa (*Pygocentrus nattereri*), el muturu (*Paulicea lutkeni*) y el dorado de piel o plateado (*Brachyplatystoma flavicans*), todas las especies de valor comercial.
- El impacto del mercurio se manifiesta sobre la salud de la población que se alimenta regularmente de pescado, particularmente las comunidades indígenas.

El mercurio en forma de vapor puede viajar largas distancias por la atmósfera y volver a la superficie terrestre mediante las precipitaciones, contaminando suelos y ríos de otras cuencas que las de origen (Maurice-Bourgoin, 2001a). Además, acumulado y biomagnificado en los peces migratorios, puede viajar largas distancias. Estos dos factores sugieren que la contaminación del mercurio no es un problema aislado de las zonas auríferas, sino un problema global que puede afectar toda la cuenca Amazónica Boliviana, incluyendo zonas donde nunca hubo explotación de oro. Maurice-Bourgoin (2001) presenta una cartografía de zonas en riesgo de contaminación. Esta autora indica que el área con mayor impacto por la contaminación de mercurio es Rurrenabaque, al límite entre el piedemonte andino y la llanura amazónica. No se tiene registros detallados de la contaminación de mercurio en otras zonas del país.

### **5.2.6. Contaminación con plaguicidas**

El uso de plaguicidas en los cultivos tradicionales en Bolivia no es tan común como en los países vecinos, principalmente por su alto precio y la todavía mantención de los cultivos tradicionales biológicos (Rocha, 1999) (Cuadro 25). Su uso es más común en el Altiplano norte y en los valles (Mattos y Crespo, 2000).

Cuadro 25. Resumen de la superficie total cultivada con uso de plaguicidas según tipo de cultivo (Rocha, 1999, en base a AGRODATA, 1995).

Cultivos	Sin plaguicida (%)	Con plaguicida (%)	Superficie total cultivado (ha)
Cereales	84.4	15.6	565 469
Estimulantes	85.9	14.1	33 225
Frutales	93.1	6.9	70 191
Hortalizas	76.0	24.0	75 801
Industriales	45.3	54.7	365 768
Tubérculos	76.9	23.1	183 856
Otros	83.0	17.0	16 078
TOTAL	72.4	27.6	1 309 388

Sin embargo, los datos presentados en el cuadro 25 parecen ser muy desactualizados. El uso de plaguicidas ha estado aumentando aceleradamente en los cultivos intensificados, como por ejemplo la soja en el departamento en Santa Cruz o el plátano en el departamento de Cochabamba. Hoy en día, los agroquímicos son considerados insumos comunes en estos cultivos.

Pacett, (1999) mediante un estudio demostró que anualmente por cada kilómetro cuadrado cultivado en Santa Cruz se depositan en el ambiente más de 526 kg de plaguicidas. En total, se aplican anualmente 6 763 toneladas métricas a 1 217 145 hectáreas de cultivos de soja, arroz, trigo, algodón, maíz, girasol, caña, tomate y papa. Se demostró además que los agricultores de Santa Cruz gastaron durante 1997/1998 más de 92 millones de dólares en plaguicidas sintéticos

Los plaguicidas asperjados en los cultivos de Santa Cruz son de difícil descomposición. Según Pacett (1999), es muy posible que estos químicos contaminen estanques, atajados y acequias que sirven de bebederos a vacunos, caprinos y otros animales domésticos, existiendo casos de mortalidad de la fauna ictícola y al mismo tiempo intoxicaciones crónicas en las poblaciones cuando se utilizan estas aguas para consumo.

Los efectos de pesticidas sobre la flora y fauna no han sido estudiados en detalle en Bolivia, debido al alto costo de su análisis y debido a que sólo recién se reconoce el posible impacto de este tipo de contaminación sobre las aguas superficiales y subterráneas, sobre la fauna acuática y terrestre y sobre el hombre. Generalmente, en Bolivia los pesticidas organoclorinas son de mayor preocupación que los PCBs (bifenilos policlorinados). Los primeros tienen un alto riesgo por su capacidad de bioacumularse en organismos acuáticos y bio-magnificarse en los organismos que se encuentran al tope de la cadena trófica, particularmente las aves y los mamíferos acuáticos (Mason, 1996).

Los estudios hasta ahora existentes en Bolivia se han limitado a diagnósticos del uso de pesticidas en diferentes cultivos, como por ejemplo la floricultura en Bolivia

(Santivañez *et al.*, 2001) y el cultivo de soya, algodón, arroz y trigo en Santa Cruz (Pacett, 1999), y a posibles impactos sobre la salud humana. Poco son los estudios sobre los impactos sobre los recursos hídricos e hidrobiológicos.

Quizás, la zona para la cual se dispone de mayor información sobre el impacto ambiental de pesticidas es la provincia Chapare (departamento de Cochabamba), donde en el marco del Desarrollo Alternativo se ha intensificado la producción de palmito, plátano y piña, dando lugar al uso muy intensivo de pesticidas, inclusive desde avionetas (Romanoff *et al.*, 1997).

Se tienen algunos registros sobre el impacto de los pesticidas que están utilizados en el control de la Sigatoka Negra, una enfermedad del plátano (Romanoff *et al.*, 1997) sobre larvas de peces (Brun y Camacho 2001). Estos últimos autores demostraron la alta toxicidad de algunos fungicidas ampliamente aplicados, como Benomyl (Benlate), mancozeb (Manazate 200, Manconzin), propinconazole (Tilt) y Tridemorph (Calixin) para dos especies de peces nativos. Además, se dispone de datos sobre el impacto de estos pesticidas sobre la asimetría fluctuante, un indicador de estrés ambiental, en camarones de agua dulce (*Macrobrachium sp.*) (Campero, 2002). En base a estos resultados, es muy probable que estos mismos pesticidas influyan en diversos procesos metabólicos de los organismos acuáticos, impactando su comportamiento, su reproducción y/o su crecimiento.

### **5.2.7. Uso de fertilizantes**

En el Altiplano, se practica una agricultura tradicional. El uso de abono natural es generalizado en esta zona, mientras los fertilizantes químicos son escasamente usados, debido al alto costo de éstos (ZONISIG, 1998 ; Rocha, 1999). Los agricultores industriales en Santa Cruz, en cambio, emplean cantidades apreciables de fertilizantes químicos (Pacett, 1999).

Rocha (1999), en base a datos de AGRODATA publicados en 1995, menciona la superficie total cultivada con abono para diferentes tipos de cultivo (Cuadro 26). No se dispone de datos actualizados.

No se tienen datos sobre la contribución de abono orgánico y/o fertilizantes químicos en el enriquecimiento de ríos y lagunas con nutrientes (eutrofización). El ingreso de nutrientes a sistemas acuáticos cerrados (atajados, lagunas, estanques) puede inducir la hiper-eutrofización de sus aguas, como es el caso para las lagunas del valle central (Cochabamba) (Van Damme *et al.* 1998).

Cuadro 26 : Resumen de la superficie total cultivada con abono según tipo de cultivo (Rocha, 1999 ; en base a datos de AGRODATA, 1995)

Cultivos	Abono químico (%)	Abono químico y/o orgánico (%)	Abono orgánico (%)	Sin Abono (%)	Superficie total cultivado (ha)
Cereales	5.9	2.4	13.8	77.9	565 469
Estimulantes	58.7	0.2	0.5	40.6	33 225
Frutales	0.6	2.0	2.6	94.8	70 416
Hortalizas	9.4	11.1	30.5	49.0	75 801
Industriales	7.9	0.0	0.2	91.9	365 768
Tubérculos	5.0	20.4	45.2	29.4	183 906
Otros	5.8	6.4	18.6	69.2	16 406
Total	7.6	4.7	14.5	73.2	1 310 991

### 5.2.7. Contaminación con hidrocarburos

Las actividades hidrocarburíferas pueden impactar negativamente al medio ambiente acuático (Cuadro 27). MDEVEH (2001) indicaron que los impactos sobre el recurso agua más frecuentemente identificados en los EEIAs son la contaminación de aguas superficiales, la contaminación de aguas subterráneas, modificaciones en las redes de drenaje, alteraciones del régimen hídrico, y el incremento de sólidos en cuerpos de agua.

Se puede distinguir tres actividades en función al impacto ambiental que generan éstas: la exploración, la explotación y el transporte de hidrocarburos.

- Exploración de hidrocarburos

La exploración de hidrocarburos consiste en cualquier trabajo tendiente a determinar la existencia de hidrocarburos en un área geográfica. Según algunos autores, la exploración sísmica puede causar cambios en los flujos de aguas subterráneas, y a pesar que en Bolivia no existen estudios al respecto, existen diversas denuncias de pobladores de la región del Chaco al respecto.

- Explotación de hidrocarburos

La explotación de hidrocarburos consiste en la perforación de pozos de desarrollo, tendido de líneas de recolección, construcción de plantas de almacenaje, plantas de procesamiento e instalaciones de separación de fluidos, y toda otra actividad en el suelo o en el subsuelo dedicada a la producción, recuperación mejorada, recolección, separación, procesamiento, compresión y almacenaje de hidrocarburos (Ley de Hidrocarburos). Varias de estas actividades pueden causar impactos ambientales.

Cuando consideramos el efecto de derrames de petróleo sobre sistemas acuáticos, es recomendable discriminar entre contaminación directa y contaminación difusa (Green & Trett, 1989). En el primer caso, los desechos ingresan directamente a los ríos desde una fuente puntual y el comportamiento del contaminante río abajo depende de la concentración inicial del residuo líquido, la dinámica hidrológica del río (que

determina el grado de dilución), el grado de sedimentación y la tasa de biodegradación.

Cuadro 27. Impactos potenciales de las actividades hidrocarburíferas sobre el recurso agua (MDE-VEH-UMA, 2001)

Proyectos	Actividades	Impactos potenciales
Actividades comunes	Apertura y/o mejoramiento de caminos	Alteración de la red de drenaje
		Alteración del régimen hídrico
		Contaminación de agua
	Mantenimiento y presencia de maquinaria, equipo y personal	Deterioro de la calidad de agua
		Alteración del régimen hídrico
	Instalación y operación de campamentos	Alteración de la calidad del agua
Exploración sísmica	Perforación de los puntos de disparo, colocación y detonación de la carga de explosivos, registros sísmico y retiro de cables	Alteración de la calidad del agua superficial y subterránea
		Interrupción del drenaje natural
		Contaminación de agua subterránea
Perforación e intervención	Perforación de pozos	Contaminación del agua superficial y subterránea
Transporte	Apertura y nivelación del derecho de vía	Disminución del caudal de agua en cuerpos superficiales
		Alteración del régimen hídrico
	Apertura y relleno de zanjas	Deterioro de la calidad de agua
	Prueba hidrostática	Alteración del régimen hídrico
	Operación y mantenimiento	Contaminación de los cuerpos de agua
Desarrollo	Construcción y operación de plantas y de instalaciones de producción	Contaminación de agua por fugas de hidrocarburos
		Contaminación por efluentes líquidos y derrames
	Explotación de pozos	Alteración del régimen hídrico (pozos de inyección)
		Contaminación de agua por fluidos salinos

Un caso de derrame continuo ha sido descrita por Maldonado *et al.* (2000) para el río Hondo (provincia Chapare, departamento de Cochabamba) el cual recibía desechos líquidos de hidrocarburos, provenientes de un estanque de almacenamiento que producía derrames debido a una deficiente construcción y mantenimiento. Estos autores describieron como este derrame continuo afectó la calidad de las aguas superficiales y la fauna acuática. También, indicaron como el impacto sobre el agua y la diversidad de insectos acuáticos disminuyó río abajo, principalmente por efecto de dilución de los contaminantes. Similares impactos leves han sido descritos para el río Pilcomayo, que recibe desechos líquidos de hidrocarburos por parte de las empresas petroleras asentadas en esta cuenca (Oller, 2001).

La empresa nacional YPFB fue particularmente descuidada en la protección del medio ambiente. Se estima que en el pasado millones de litros de residuos líquidos fueron derramados a los ríos de la cuenca Amazónica. Un porcentaje de los residuos fue almacenado en estanques con deficiencias en su construcción y su mantenimiento (Maldonado *et al.* 2000). Hasta hoy en día, estos residuos representan un pasivo ambiental para el cual falta una solución adecuada. Algunas de las empresas

capitalizadas utilizan técnicas más avanzadas (por ejemplo, re-inyección de residuos líquidos), pero siguen ocurriendo derrames esporádicos.

Los efluentes líquidos más significativos de la industria petrolera corresponden a las aguas de formación. El agua separada del petróleo y del gas arrastra hidrocarburos, siendo necesario su tratamiento antes de su descarga a los cuerpos receptores, a fin de cumplir con los límites permisibles para descargas líquidas y evitar la contaminación de ríos.

La contaminación difusa, por otra parte, afecta a los ríos de una manera diferente que en los anteriores casos. Hidrocarburos pueden ser transportados hacia los ríos por el agua de escurrimiento. Además, los contaminantes en muchos casos infiltran en los suelos y son transportados a través de aguas subterráneas (Mariscal y Salinas, 2000a; 2000b). Estos últimos autores describieron la acumulación de hidrocarburos en suelos contaminados con los desechos líquidos de la planta Carrasco (Provincia Chapare, departamento de Cochabamba). El hecho que los contaminantes entran en los ríos de una manera difusa, hace muy difícil estudiar los impactos sobre las aguas superficiales.

Aunque los derrames continuos pueden afectar el agua, la fauna acuática y el hombre, estos efectos podrían ser evitados con un adecuado manejo por parte de las empresas petroleras (Smith *et al.* 1995).

- Transporte de hidrocarburos

Se entiende por transporte de hidrocarburos toda actividad para trasladar o conducir de un lugar a otro hidrocarburos o sus derivados por medio de tuberías (definición según la ley de Hidrocarburos). El transporte de hidrocarburos además se realiza por vía fluvial, vía férrea y vía terrestre.

El incipiente riesgo de derrames catastróficos como resultado de la ruptura de oleoductos es el problema más grande que enfrenta el sector petrolero. El primer caso bien documentado en Bolivia es el derrame accidental de petróleo en el río Desaguadero, hecho que se produjo el 30 de enero del año 2000 (Montoya *et al.*, 2002). Este problema fue causado por el derrame del oleoducto (OSSA II) Santa Cruz-Sicasica-Arica, mantenido por la empresa TRANSREDES, en la altura del río Desaguadero. El derrame ha causado impactos moderados sobre la flora y fauna en la cuenca del río Desaguadero y el lago Poopó, pero causó impactos negativos para la agricultura en la zona, incidiendo en un impacto negativo al medio socio-económico y cultural (ENSR, 2001; Montoya *et al.* 2002).

Otro importante impacto de las actividades de exploración y explotación petrolera son los efectos secundarios que causan estos: apertura de selvas vírgenes, construcción de caminos de acceso, caza y pesca no controlada por parte de los trabajadores de las empresas, erosión de suelos y desestabilización de culturas indígenas locales (Smith

*et al.* 1995; Gavalda, 1999; MDE-VEH-UMA, 2001). Estos impactos secundarios afectan también las condiciones ambientales de los ríos.

En el cuadro 28, se indica el número de accidentes con hidrocarburos en el año 2000 y la causa de los accidentes.

Cuadro 28. Número de accidentes con hidrocarburos y causa de los accidentes reportados en el año 2000 (INE 2002, sobre la base de datos de la Superintendencia de Hidrocarburos)

Tipo de accidente	Orificio Producido por terceros	Mantenimiento
Fuga de gas	6	6
Fuga de GLP	3	3
Filtración de Diesel Oil	11	3
Filtración de Petróleo Crudo	7	6
Filtración de Jet fuel	2	
Filtración de condensado	2	1
Filtración de gas especial	2	2
Filtración de kerosén	1	
Derrame de Diesel Oil		1
Derrame de crudo	3	4
Manchas de diesel oil	1	
Perdida de gasolina especial		1
TOTAL	38	27

Definitivamente, se necesitan más estudios sobre los impactos ambientales que pueden causar las actividades petroleras y los derrames de residuos líquidos causados por estas. También, se necesitan planes de acción a nivel nacional para diagnosticar y remediar las consecuencias de derrames petroleros catastróficos. Cabe anotar que la Unidad de Medio Ambiente del Viceministerio de Energía e Hidrocarburos presentó en 2001 un Plan de Acción Ambiental para el Sector Hidrocarburos.

### 5.3. Contaminación de los ríos y lagos receptores

Los ríos que atraviesan las ciudades de Cochabamba, Santa Cruz, El Alto y La Paz reciben descargas de desechos domésticos e industriales, producto de la actividad antropogénica. El río Rocha (Cochabamba), por ejemplo, recibe desechos líquidos de curtiembres, fábricas de detergentes y aceites, faenadreas de pollos, estaciones de servicio de limpieza, etc., lo cual origina una degradación del mismo (Romero *et al.* 1998). Estos últimos autores y Goitia *et al.* (2001) determinaron que la fauna acuática se ha empobrecido en el río Rocha y el agua está muy contaminada. Los peces en el río Rocha son ausentes o raros como consecuencia de la contaminación (datos no publicados). En este mismo río, Romero *et al.* (2000) encontraron concentraciones elevadas de Cr, Pb y Zn acumuladas en la fauna acuática.

Similares resultados fueron encontrados en ríos en La Paz (Franken y Marín, 1992) y Santa Cruz. La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en el río Choqueyapu alcanzó entre 100-300 mg/l en la zona urbanizada, similar a aguas negras (JICA-HAM 1993).

Generalmente, la dilución y la auto-purificación llevan a un mejoramiento en la calidad del agua río abajo.

La contaminación con aguas servidas puede causar eutroficación (enriquecimiento de nutrientes) de las lagunas y ríos receptores. En Bolivia, donde el uso de fertilizantes es todavía restringido, la fuente más importante de nutrientes (fósforo y nitrógeno) es urbana. Es por eso que los ejemplos de lagunas eutrofizadas se encuentran mayormente en zonas urbanas (p.e. en el valle de Cochabamba), y no tanto así en zonas rurales.

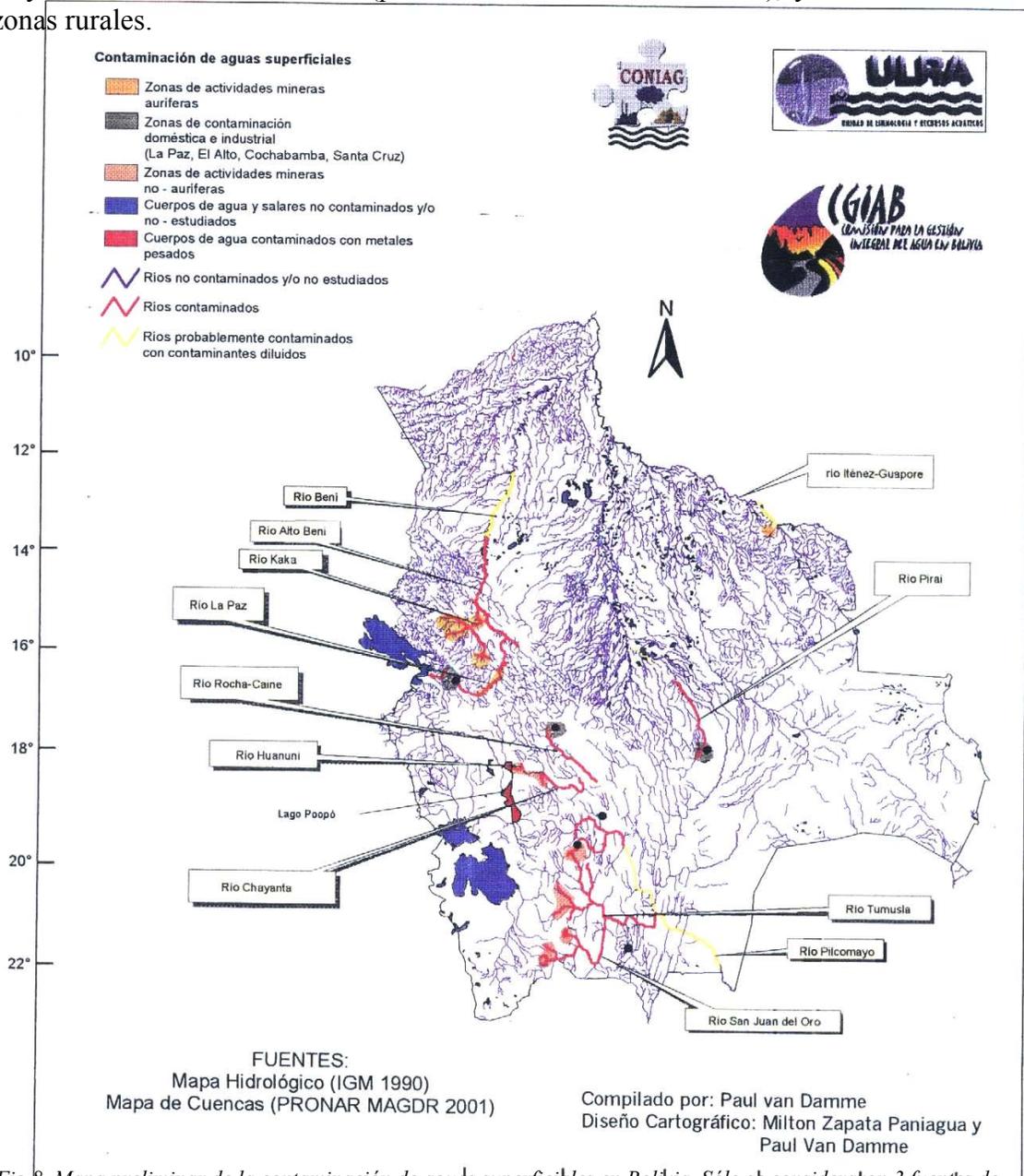


Fig.8. Mapa preliminar de la contaminación de aguas superficiales en Bolivia. Sólo se consideraron 3 fuentes de contaminación : (a) contaminación de aguas superficiales con mercurio (minas auríferas) ; (b) contaminación de

*aguas superficiales con DAR y metales pesados (minas no-auríferas) ; (c) Contaminación doméstica e industrial originada en ciudades grandes*

Lagunas eutrofizadas están caracterizadas por un empobrecimiento de flora y fauna, el florecimiento de algas tóxicas, la producción de olores desagradables, la incidencia de parásitos y bacterias, la baja calidad del agua, y generalmente una degradación del sistema.

Algunos tipos de contaminación están relativamente bien documentados (por ejemplo, la contaminación causada por actividades mineras), pero en general no se dispone de datos actualizados. En Bolivia, se necesita urgentemente un seguimiento de los niveles de contaminación química de los ríos y lagunas. La implementación de redes de monitoreo y la sistematización de la información obtenida son algunas de las estrategias más prioritarias.

En la Figura 8, se muestra un mapa preliminar de la contaminación de aguas superficiales en Bolivia. Es un ejemplo de una herramienta que permite sistematizar, ordenar y hacer accesible la información.

#### **5.4. Contaminación de las aguas subterráneas**

El nivel de contaminación de las aguas superficiales en Bolivia es relativamente bien documentado. Las aguas subterráneas, sin embargo, son más sensibles a todo tipo de contaminación debido a que las velocidades de los flujos son más bajas. Estas aguas en zonas urbanizadas están amenazadas por contaminación industrial, agropecuaria y doméstica. En las zonas urbanas de la mayoría de las ciudades grandes, la infiltración de líquidos lixiviados provenientes de los llenados sanitarios es un problema incipiente (i.e., Mallasa en La Paz, K'ara K'ara en Cochabamba).

Sobre la contaminación de aguas subterráneas existen datos aislados en el valle de Cochabamba (Renner y Velasco, 2000), Oruro (PPO, 1996 ; Huaranca Olivera y Neumann-Redlin, 2000), y el Altiplano Norte (ZONISIG, 2000). Otros datos se encuentran en varios informes dispersos.

Generalmente, se utilizan los valores límites para agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1992). Para riego, se utiliza generalmente la clasificación de Richards, que toma en cuenta la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio.

En Bolivia, varias aguas subterráneas no son aptas para consumo humano o para riego, debido a factores naturales. En el siguiente párrafo, se presentan algunos

ejemplos de estudios cuyo primer propósito fue de clasificar las aguas, y/o determinar su potencial para riego. Además, se presentan algunos ejemplos que muestran el rango de amenazas que afectan la calidad de los acuíferos subterráneos.

En el Valle de Cochabamba, la concentración de unidades fecales contadas (UFS) en las aguas subterráneas es preocupante, debido a que estas concentraciones se encuentran arriba de los límites establecidos para agua potable (OMS, 1992). Los otros parámetros analizados por lo general están dentro del rango de los valores límites de la OMS. Generalmente, son aguas de baja hasta mediana salinidad y aguas bajas con sodio, que se pueden usar para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, excepto en la cuenca del río Viloma donde las aguas llegan a ser altamente salinas (Renner y Velasco, 2000).

## **6. El uso múltiple y conflictos del agua en Bolivia**

### **6.1. Introducción**

Debido a la demanda creciente por usuarios tanto en zonas urbanas como en zonas rurales, existe un incremento de la competencia entre sectores por el recurso agua. El **múltiple uso del agua** puede traer beneficios mutuos para todos los usuarios, y en realidad en algunos países o regiones donde el recurso es escaso, las políticas hídricas vigentes pueden estimular el múltiple uso. Muchos proyectos grandes tienen como una de sus metas la de satisfacer las necesidades múltiples de los diferentes usuarios.

Sin embargo, en algunos casos el uso simultáneo o secuencial por parte de diferentes sectores no es compatible, y puede generar verdaderos **conflictos**. Según Crespo (1999), la mayoría de los conflictos surgen de la existencia de diferentes visiones del agua. El gobierno, concibe el agua como un potencial factor de producción, y un elemento esencial que puede ser utilizado y "canalizado" para promover el desarrollo regional. En cambio, los pobladores de las zonas rurales tienen una visión más integral del agua, la cual se percibe como fuente de vida, coherente con la visión andina. Estos últimos no desvinculan el agua del resto del entorno natural y se resisten a que el agua sea manejada con un enfoque demasiado tecnicista y mercantil.

En las zonas urbanas de Bolivia, el agua originalmente destinada al riego, se utiliza cada vez más para abastecer a la población urbana, ésta puede pagar mucho más por cada unidad de volumen de agua y es favorecida políticamente en desmedro de los sectores productivos tradicionales. La "guerra de los pozos" en el valle de Cochabamba demostró que frecuentemente las demandas urbanas prevalecen sobre las demandas de campesinos y regantes. En otras ciudades como El Alto la demanda de agua potable ha significado la reducción de agua para riego. El incremento

poblacional en las zonas urbanas también ha incrementado la demanda por alimentos lo cual incentiva a campesinos de las zonas peri-urbanas a incrementar su producción. Esto último hace aumentar la demanda de agua para riego y acentúa todavía más los conflictos sobre el uso de ésta.

En las zonas rurales, hay una manifiesta competencia entre el uso minero y el uso del agua para riego. Generalmente, el sector minero es más poderoso y recibe más apoyo político en la definición de los respectivos derechos sobre el agua. Este ejemplo es ilustrativo en indicar que la mayoría de los conflictos entre usuarios son conflictos por los **derechos** sobre el uso del agua. La ausencia de una Ley de Aguas adecuada a la realidad actual, y las regulaciones contradictorias que se encuentran en diversas leyes sectoriales tiende a crear una confusión en el aspecto legislativo, lo cual está aprovechado generalmente por los sectores con más influencia política, en desmedro de los sectores rurales.

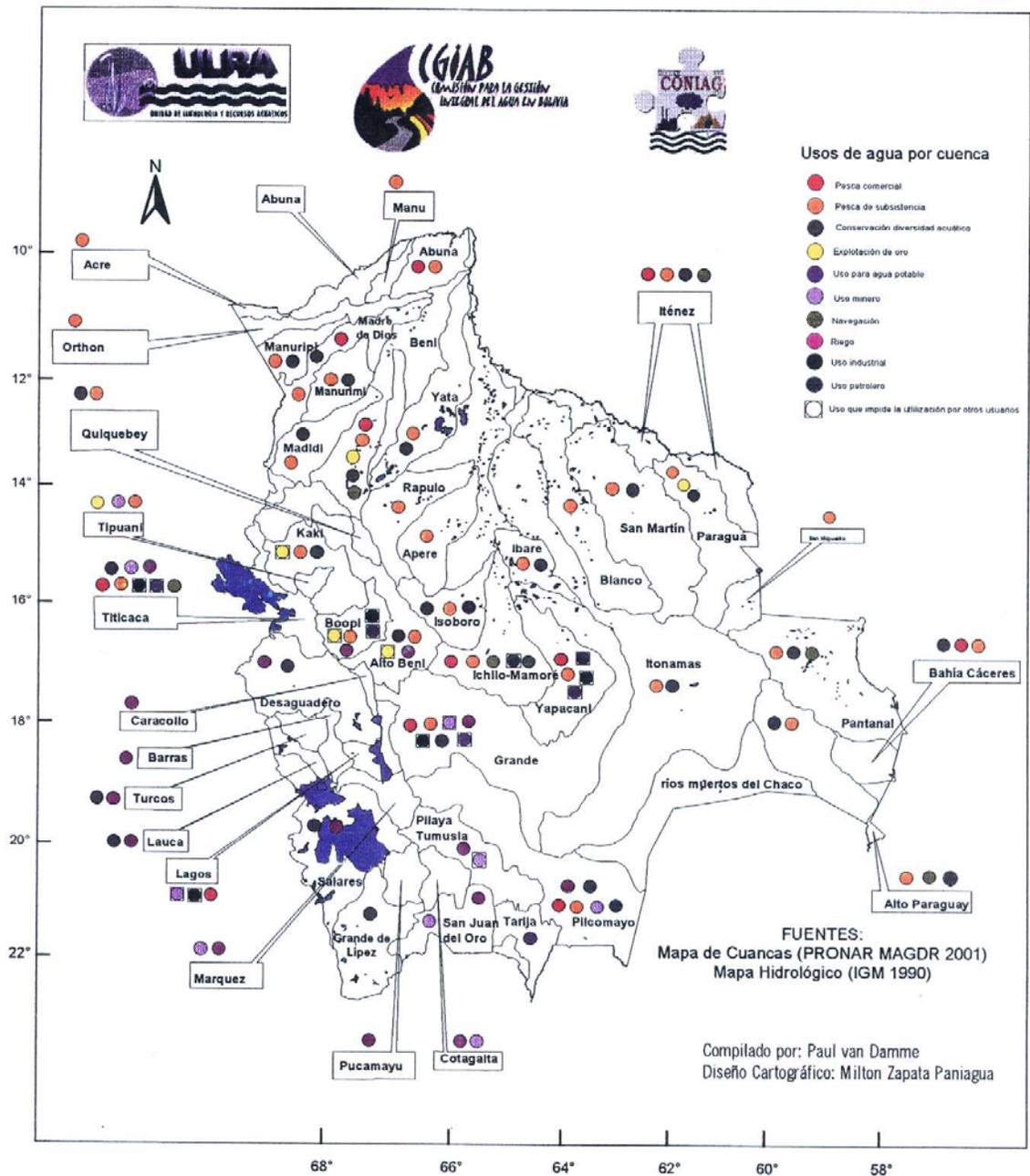


Fig. 9. Usos del agua en las cuencas hidrográficas de Bolivia

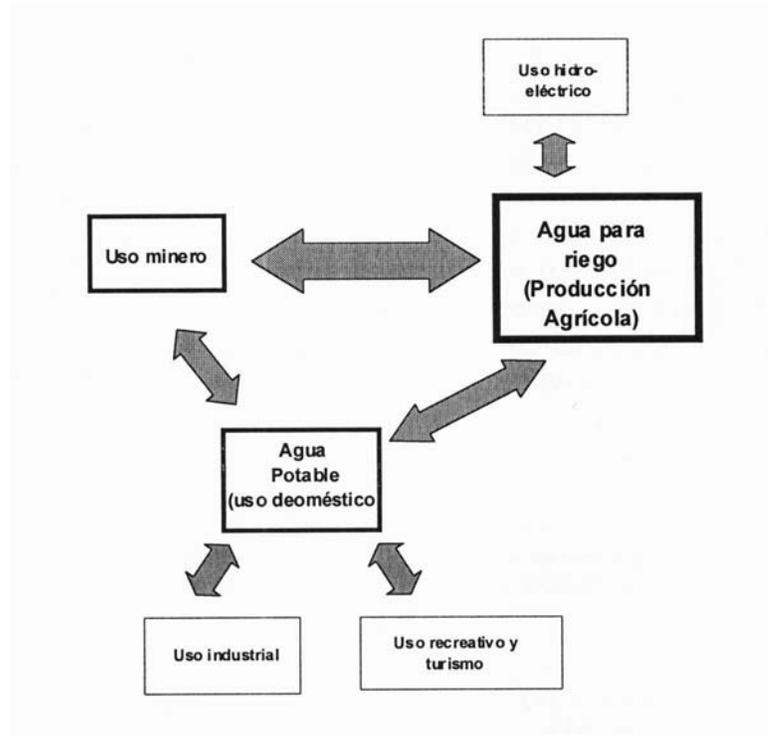
Varios de los conflictos que surgen a nivel local y nacional son la consecuencia indirecta de la carencia de políticas hídricas nacionales claras. Hasta hace algunos años, exclusivamente el sector público se preocupó por aumentar la cobertura de agua potable en el país. Sin embargo, recientemente existe la tendencia de tomar en cuenta las recomendaciones de instancias internacionales como el Banco Mundial en sentido de reducir la inversión pública en el sector e incentivar la participación del sector privado. Estos cambios han generado incertidumbre en el sector, agravado por una deficiente regulación del uso del agua. El conflicto de la “Guerra del Agua” en la ciudad de Cochabamba, por ejemplo surgió porque una empresa privada (Aguas del Tunari) subió las tarifas del agua a niveles más altos que el 5% del ingreso familiar, en un intento de cubrir el costo total del servicio, siguiendo las recomendaciones internacionales.

Cuadro 29. Superposición de asentamientos humanos grandes (> 200 000 habitantes), actividades petroleras, mineras e industriales con cuencas hidrográficas

Actividad	Grandes cuencas	Cuencas
Actividades industriales	Altiplano	Titicaca, Lagos
	Amazonas	Boopi, río Grande, Yapacani
	Del Plata	-
Asentamientos > 200 000 habitantes	Altiplano	Titicaca, Lagos
	Amazonas	Boopi, río Grande, Yapacani
	Del Plata	-
Explotación de Petróleo	Altiplano	-
	Amazonas	Madidi, Tuichi, Beni, Quiquebey, Isoboro, Mamore, Yapacani, río Grande, Itonamas,
	Del Plata	Pilcomayo, Tarija
Oleoductos y Poliductos	Altiplano	Desaguadero, Titicaca, Boopi, Caracollo
	Amazonas	Río Grande, Mamore, Yapacani, Pilcomayo, Itonomas
	Del Plata	Pilcomayo
Actividad minera (excluyendo minería aurífera)	Altiplano	Lauca, Turco, Desaguadero, Titicaca, Barras, Salares, Grande de Lípez, Marquez, Lagos, Caracollo
	Amazonas	Boopi, Beni, Tipuani, Kaka, río Grande, Itonamas, Blanco
	Del Plata	San Juan del Oro, Cotagaita, Pilaya-Tumusla, Pantanal
Minería aurífera	Altiplano	Grande de Lípez,
	Amazonas	Madre de Dios, Titicaca, Tuichi, Boopi, Kaka, Beni, Iténez, Banco
	Del Plata	San Juan del Oro, Pilaya-Tumusla

En las figuras 10-13, se indica de una manera esquemática los potenciales conflictos que pueden surgir entre diferentes usuarios en Bolivia. Esta competencia entre diferentes usos hace necesario definir las estrategias de gestión de aguas, que toman en cuenta la cantidad de agua disponible, y que contemplan los derechos al agua de

diferentes sectores, utilizando como marco orientador la calidad de vida y el uso sostenible de los recursos hídricos.



*Fig. 10 : Potenciales conflictos entre los usuarios sectoriales de aguas superficiales en Bolivia*

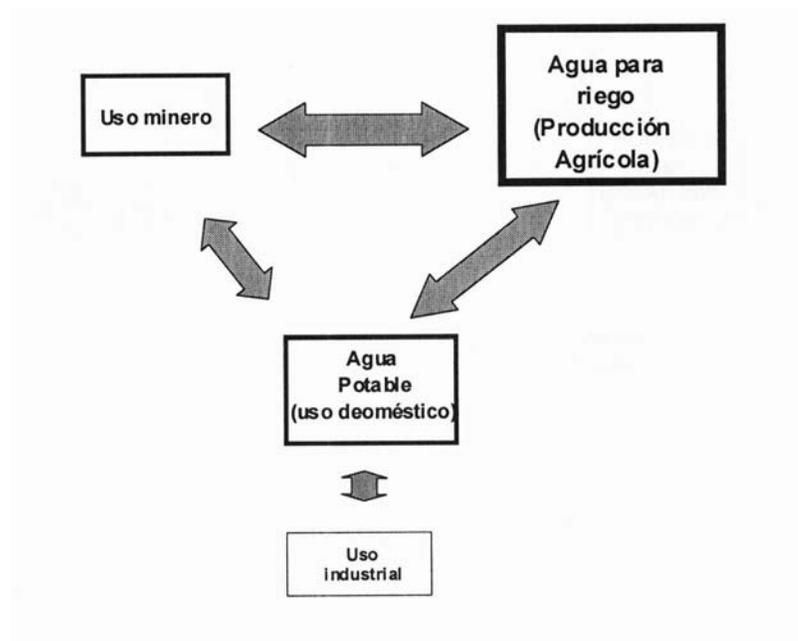


Fig. 11 : Potenciales conflictos entre los usuarios sectoriales de aguas subterráneas en Bolivia

Los conflictos sobre las fuentes de agua pueden agravarse cuando surgen conflictos indirectos entre usuarios, causados por contaminación de algunos de éstos. Los mayores tipos de contaminación que pueden afectar otros usos en Bolivia son Drenaje de Minas (DAR), metales pesados (afectando el consumo humano y el riego), mercurio (afectando aguas, peces y poblaciones ribereñas), materia orgánica (generado en centros urbanos), plaguicidas (que pueden acumularse en la cadena trófica), hidrocarburos (que pueden afectar todo el sistema acuático) y varios tóxicos producidos por industrias. Los cambios en los cursos de agua, o la deforestación de las zonas ribereñas, y la navegación pueden causar impactos negativos sobre la calidad ambiental acuática. En la Figura 12, se presenta un sinopsis de los posibles impactos de estas actividades en Bolivia.

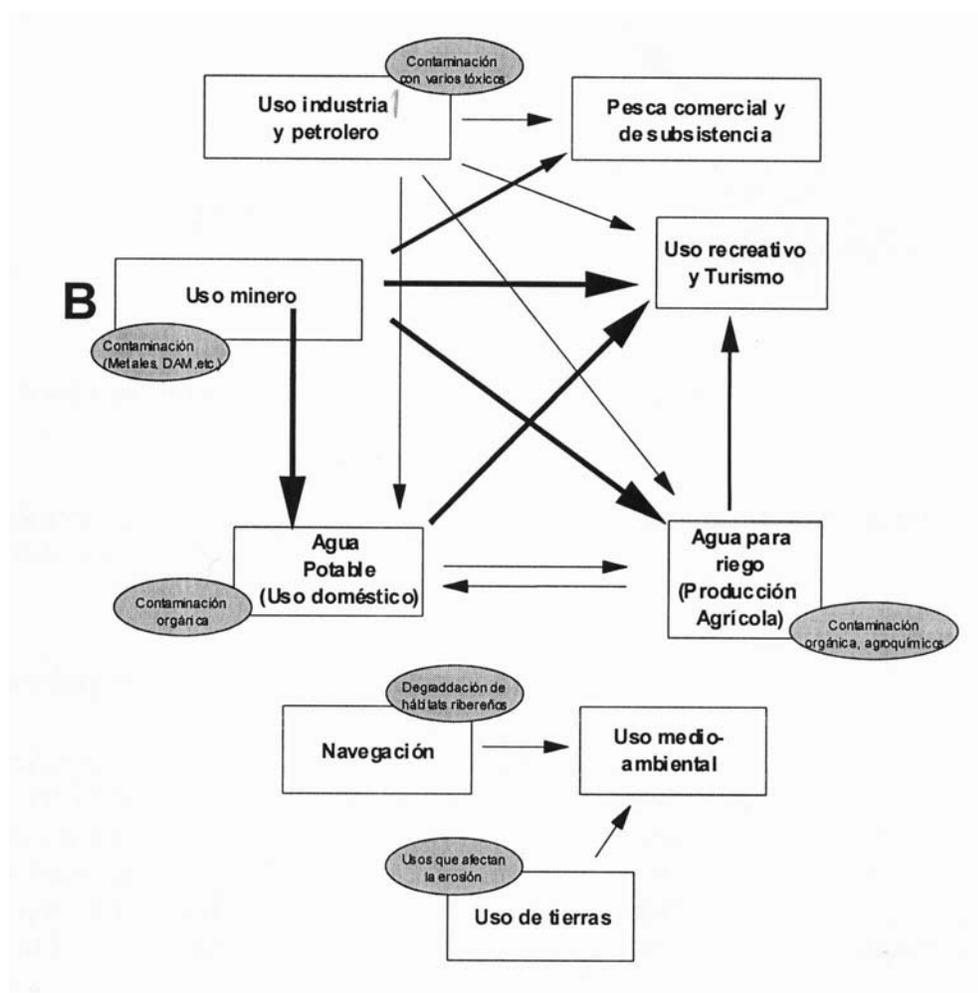


Fig. 12 : Posibles conflictos indirectos entre usuarios sectoriales, causados por la contaminación de las aguas superficiales o la degradación de los hábitats acuáticos

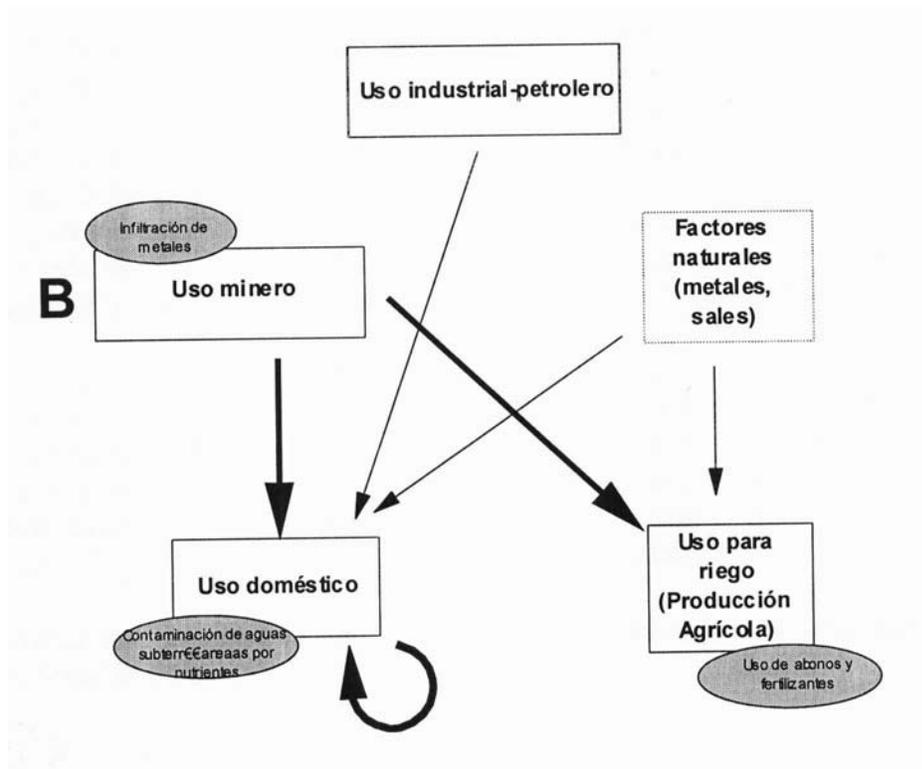


Fig. 13 : Posibles conflictos indirectos entre usuarios sectoriales, causados por la contaminación de las aguas subterráneas

En los siguientes párrafos presentamos en detalle algunos de los mayores "conflictos" de uso múltiple de agua en Bolivia.

## 6.2. Uso múltiple del agua en zonas urbanas y peri-urbanas

Los principales usuarios del agua en las ciudades grandes son la población urbana (uso doméstico), las industrias y los regantes, estos últimos generalmente ubicados en las zonas peri-urbanas. Existe una cierta interdependencia entre estos sectores : los regantes producen hortalizas y frutas para abastecer los mercados urbanos, sin embargo riegan sus tierras con un recurso que cada vez es más escaso, debido a la demanda creciente por parte de los barrios poblados. Esto conlleva una presión *in crescendo* sobre los recursos superficiales y subterráneos.

Una de las estrategias adoptadas para maximizar el aprovechamiento hídrico es el uso que se hace del agua residual urbana con fines de riego para la producción agrícola. Este uso no es igual en todo el país sino que se limita a las regiones áridas : el altiplano y los valles. En estas regiones, las formas de uso de las aguas residuales se pueden diferenciar en :

- uso directo, es decir cuando son conducidas del desagüe (ya sea del alcantarillado o de la planta de tratamiento) directamente a las parcelas, o a partir de rupturas intencionales de las tuberías del alcantarillado para utilizar esta agua también con fines de riego ; es decir, las aguas residuales, tratadas o sin tratamiento, no tienen ninguna dilución antes de ser usadas. Este fenómeno es común en zonas áridas donde escasea el agua (p.e. Cochabamba). El uso es formal cuando está respaldado por un convenio u otro tipo de acuerdo. Se puede considerar que en el uso directo los regantes ya tienen criterios sobre las ventajas y desventajas de este uso. Para este tipo de uso solo se tiene conocimiento del caso de Cochabamba donde existe una organización de regantes y un convenio para el uso de aguas residuales entre los agricultores y la empresa Municipal SEMAPA.
- uso indirecto, que es el caso en la mayor parte de Bolivia y se refiere al uso del agua de ríos donde se descargan las aguas residuales, una minoría con previo tratamiento y una mayoría no tratadas, por lo tanto hay dilución. Esto ocurre en casi todas las áreas rurales y peri-urbanas que se encuentran aguas debajo de los centros urbanos. En el uso indirecto, los regantes consideran la contaminación del río con aguas residuales como algo negativo y de gran perjuicio para sus actividades agrícolas.

El cuadro 30 brinda una idea de las características generales del re-uso de aguas residuales en los distintos departamentos del país.

Cuadro 30. Características del uso de las aguas residuales en áreas peri-urbanas de las capitales de departamento y en El Alto (Villarroel, 2001)

Ciudad	Características
Cochabamba	Uso directo del desagüe de la planta de tratamiento e indirecto por uso de las aguas contaminadas del río Rocha
La Paz	Uso indirecto a través del desagüe del río Choqueyapu donde descarga el alcantarillado y la industria sin previo tratamiento
El Alto	Uso indirecto a través del río Seco donde descargan las aguas residuales de la planta de tratamiento Puchuckollo
Oruro	No hay reuso. La planta de tratamiento descarga hacia una pampa salina no apta para la agricultura
Trinidad, Cobija, Santa Cruz	No hay reuso. Son zonas con altas precipitaciones pluviales donde no se practica el riego
Tarija, Sucre, Potosí	Sin datos

Villarroel (2001) describió el reuso de aguas residuales en la ciudad de Cochabamba. En esta zona el agua que sale de la planta de tratamiento sirve para regar un área considerable y es un aporte imprescindible para la producción agrícola. En las tierras regadas, se ha observado un problema de salinización, excluyendo su uso para ciertos cultivos como hortalizas. Río abajo, hay un uso indirecto de las aguas contaminadas del río Rocha.

El uso de aguas residuales en la agricultura tiene algunas ventajas, como el múltiple uso de un recurso escaso, el reciclaje de nutrientes, prevención de la contaminación de los ríos y disposición a bajo costo de agua municipal (Van der Hoek, 2002). Sin embargo, también conlleva riesgos, como la contaminación de los suelos con químicos como metales pesados, una amenaza que existe en zonas donde no existe separación de las aguas domésticas y las aguas industriales. Cornish *et al.* (1999) informaron que los metales pesados son tóxicos para plantas en concentraciones debajo de la concentración que podría afectar la salud del consumidor, pero añade que se debería considerar cada caso aparte. Es muy importante buscar soluciones que optimicen los beneficios económicos para los agricultores, y al mismo tiempo minimicen los riesgos para la salud.

El manejo integrado de aguas residuales urbanas debería ser una prioridad nacional y debería estar incluido en los programas de manejo integrado de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Un inventario y tipología del uso de aguas servidas podría ser un primer paso hacia esta meta.

### **6.3. Uso múltiple del agua y conflictos en zonas mineras**

El uso del agua por el sector minero está relacionado con la dotación de agua a los campamentos mineros, y el empleo de aguas en los ingenios. Este uso compete directamente con el uso del agua para riego.

Por otra parte, la actividad minera induce contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, lo cual excluye su uso posterior para el riego, o en el caso de que el agua contaminada está utilizada en riego o para consumo humano, puede causar problemas ambientales y problemas de salud.

La Figura 14 muestra que el uso minero y el uso para riego se superponen tanto en la cuenca del Altiplano como en las cuencas del Pilcomayo y del Amazonas. Los problemas ambientales que están causados por la contaminación con desechos mineros en la cuenca del lago Poopó (cuenca endorreica) están descritos por PPO (1996). Estos autores indican que muchos suelos en esta cuenca son degradados severamente, esto es causado por una combinación de erosión pluvial y eólica resultante de prácticas agrícolas inadecuadas, la salinización y su alto contenido de metales tóxicos tanto de origen natural como de origen antropogénico. Indican que un

alto porcentaje de los suelos en esta zona no son aptos para el cultivo de quinua y papa. En esta región, donde la contaminación probablemente afecta la salud de la población, existe una cierta aceptación por parte de las autoridades y de los pobladores en general, debido a que la actividad minera asegura ciertos beneficios económicos a nivel regional (Van Ryckeghem, 1997).

Los potenciales conflictos entre regantes y cooperativas mineras en la cuenca del río Grande (río Chayanta) están documentados por PPO (1996) y Rojas (2001). Este último autor identificó a la población de Quila Quila como una de las comunidades donde el agua contaminada del río Chayanta es utilizada para consumo humano y para riego, causando la degradación de tierras, la disminución de la producción agrícola, pérdida de ganado y problemas de salud.

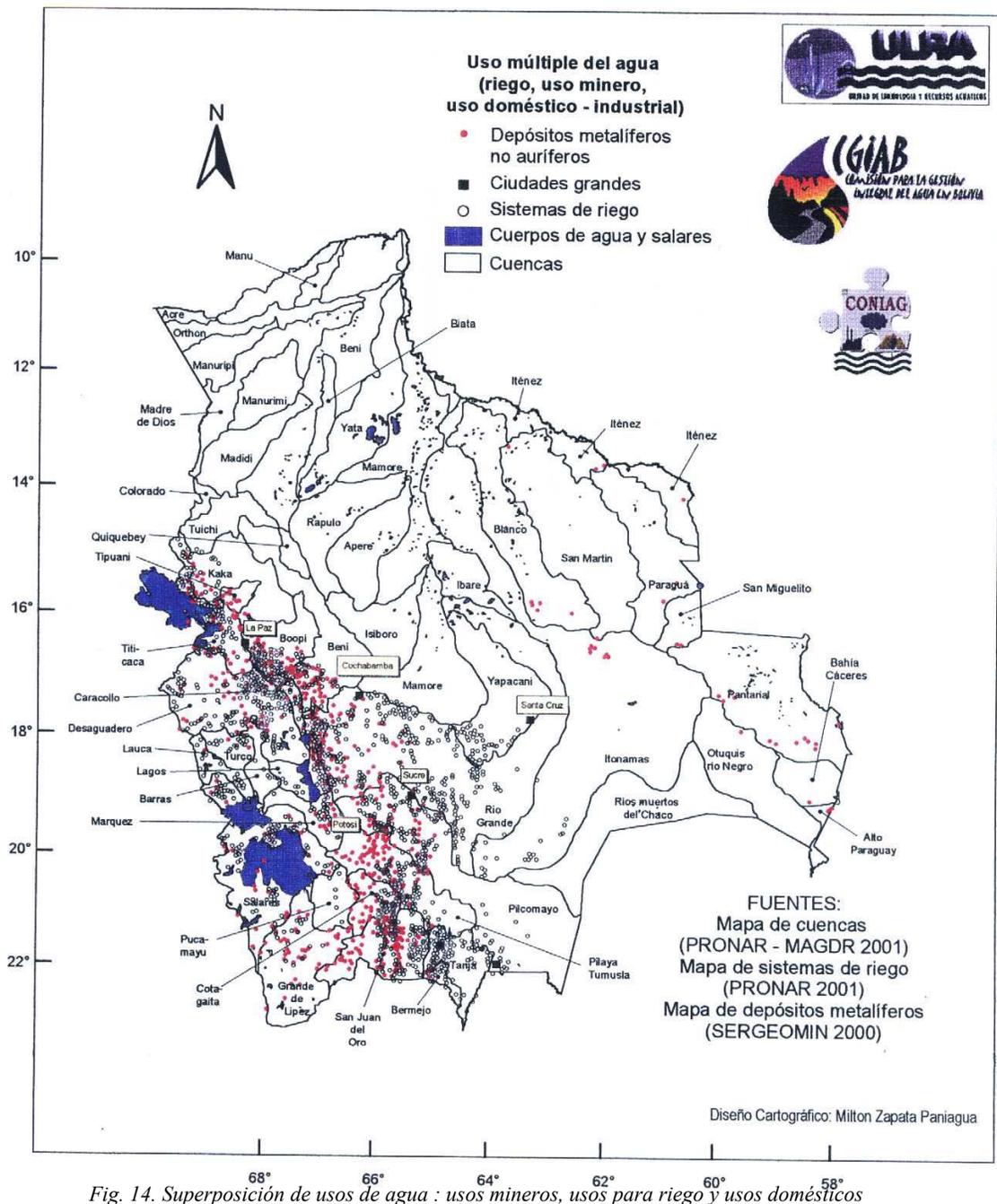


Fig. 14. Superposición de usos de agua : usos mineros, usos para riego y usos domésticos

En las cuencas Boopi-Beni, existen pocos datos sobre el uso múltiple del agua. Recientemente, se está dando mucha atención a las problemas ambientales causados por la contaminación minera en la cuenca del río Pilcomayo. La pletera de estudios de consultores nacionales e internacionales (Macklin *et al.* 1996 ; Transtec, 1998 ;

JICA, 1999 ; Smolders 2001) están sólo recién conduciendo a una gestión más integral del recurso hídrico.

#### **6.4. Construcción de represas para generación de energía hidro-eléctrica**

El aprovechamiento del agua para generación de hidro-energía entra fácilmente en competencia con los usos tradicionales (McCully 1996). En el valle Alto (cuenca Palca), existe un conflicto entre regantes y la empresa Corani sobre el uso del agua.

Bolivia cuenta con algunos megaproyectos en las cuencas del Beni y Bermejo. La finalidad del megaproyecto El Bala (cuenca río Beni) es la generación de energía eléctrica y además de controlar las inundaciones, habilitar tierras agrícolas y conseguir que el río sea navegable todo el año. En la última propuesta (Morris, 1999), se prevé la construcción de dos represas, la primera ubicada en el angosto del Bala y la segunda en la serranía de Chepite. En conjunto, las dos represas inundarían una superficie de 854 km<sup>2</sup>, tendrían un volumen de 30 km<sup>3</sup> y la capacidad de generar 1 800 Mw.

La construcción de las represas causará la pérdida de 2 505 km<sup>2</sup> de bosque tropical, y causará impactos sociales y ambientales de gran magnitud (Wasson, 1999 ; FOBOMADE, 2000). Wasson (1999) describe los siguientes impactos sobre los ecosistemas acuáticos :

- Pérdida de oxígeno y eutrofización del embalse
- Liberación de mercurio almacenado en los sedimentos
- Reducción de la vida acuática, particularmente peces, en el embalse
- Desaparición de especies de peces migratorios y colapso de las pesquerías en el río

En la cuenca del Bermejo, donde se planifica la construcción de tres represas, se temen impactos similares sobre los recursos hídricos e hidrobiológicos, y sobre las comunidades que aprovechan de éstos.

#### **6.5. La explotación de aguas superficiales y subterráneas en las cuencas transfronterizas**

En material de legislación, las cuencas transfronterizas son tratadas por derecho internacional. Existen varios instrumentos jurídicos de los cuales Bolivia forma parte, como son la declaración de Montevideo (1933) y de Asunción (1971) (según Rocha, 1999)

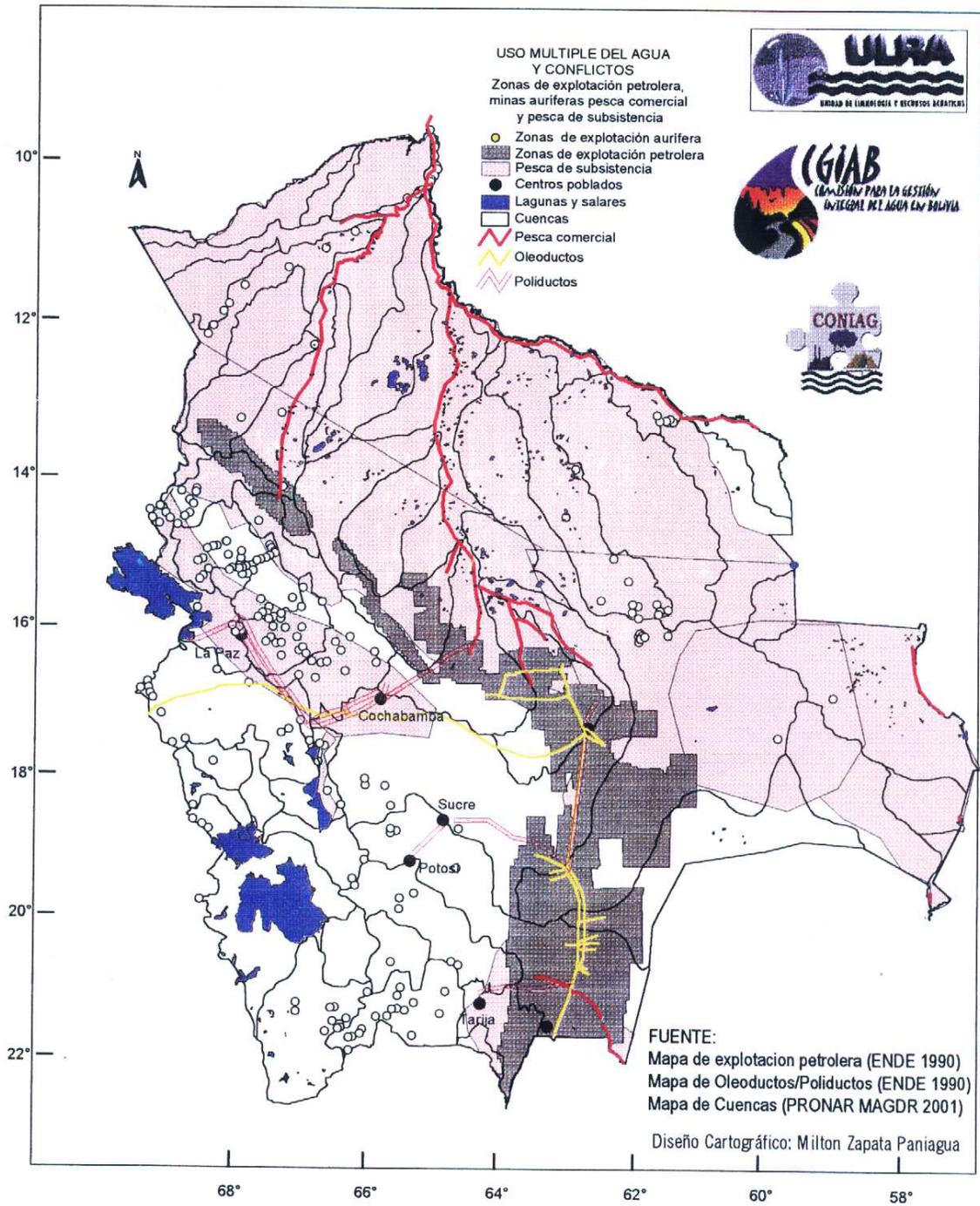


Fig. 15: Superposición de usos indirectos de agua :

Hidrocarburos, pesticidas, actividades auríferas, pesca comercial y pesca de subsistencia

En la misma línea de las declaraciones, en el Altiplano Norte se están iniciando programas coordinados de gestión del agua. En Perú y Bolivia, se estableció un plan director global y binacional de protección y prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del **lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa (sistema TDPS)**, y se creó el Proyecto Especial del Lago Titicaca (PELT). Los planes y programas derivados del plan director impulsaron la creación de un organismo binacional competente (Autoridad del Lago Titicaca ALT), que viene impulsando la implementación de proyectos tendientes al manejo integral de la cuenca, sin embargo estos planes y programas no fueron consultados con las comunidades de la región y actualmente existen serias denuncias y posibles conflictos debido a que han autorizado trasvases de la cuenca del altiplano hacia cuencas de la costa en desmedro del balance hídrico de la región.

En el sur del Altiplano los recursos subterráneos de las zonas transfronterizas son una fuente de conflicto interno aun más serio entre países. Las **cuencas transfronterizas con Chile** en la zona son el Silala, San Pedro, Inacaliri, Turi, Caguana, Ollague, Chiguana, Lauca, Mauri y otros. Estas cuencas están caracterizadas por la gran cantidad de manantiales, corrientes de agua subterránea que afloran del interior del suelo a la superficie. En este momento, el aprovechamiento de los recursos hídricos transfronterizos es realizado casi en forma unilateral por parte de Chile, sin consulta alguna con autoridades bolivianas en trasgresión de códigos de conducta y disposiciones legales de validez internacional. Chile utiliza sin consulta previa aguas de los manantiales del Silala, que se encuentran en territorio boliviano, y además utiliza los caudales del río Lauca, curso binacional sucesivo.

Recientemente surge la intención de exportar un caudal alrededor de 3000 l/s de fuentes subterráneas del sudoeste potosino hacia el Norte de Chile. Estudios realizados por Chaffaut (1998) y por SERGEOMIN (2001) coinciden en que la recarga de los acuíferos en la región de los Lípez es actualmente muy débil o casi inexistente. Se trataría entonces de recursos no renovables, que se agotarían al cabo de un cierto tiempo si se los explota. Chaffaut (1998) llega a esa conclusión mediante el análisis isotópico de esas aguas y de aquellas provenientes de las precipitaciones. Según esa autora, la recarga de esos acuíferos pudo haberse producido en un periodo comprendido entre algunos cientos y varios miles de años, en que las condiciones climáticas eran diferentes a las actuales. SERGEOMIN (2001) llega a la misma conclusión mediante un balance hídrico que muestra que todos los meses presentan un déficit hídrico marcado.

Sin embargo debido a presiones de diputados de la región el se aprueba la “Ley Declaración de prioridad nacional los estudios, prospección, aprovechamiento y comercialización de recursos hídricos del sudoeste del departamento de Potosí” que tiene por objeto el aprovechamiento de los acuíferos subterráneos en el Altiplano y la zona transfronteriza con Chile. Esta Ley ha sido cuestionada por diferentes instancias ambientales y sociales. Se teme que la explotación comercial de estos recursos

(mayormente con fines de aprovechamiento para minería) llevaría a una destrucción del frágil ecosistema acuático del Altiplano boliviano, y a una perturbación del sistema tradicional agrícola que depende en gran medida de los manantiales.

El problema aún se debate intensamente entre esferas de gobierno, instituciones ambientalistas, organizaciones sociales y comunidades. Algunos analistas sugieren que una mala resolución de este conflicto podría dar origen a la “segunda guerra del agua en Bolivia”

## 6.5. La contaminación y los recursos pesqueros

El cuadro 31 resume los impactos de usos del agua sobre el recurso pesquero. Se puede apreciar que los mayores impactos están causados por metales pesados, y por tóxicos industriales.

Aparte de estos efectos indirectos, existen conflictos entre usuarios (pescadores comerciales, pescadores de subsistencia, indígenas, etc.) sobre el acceso a los recursos pesqueros, y además entre estos y otros usuarios (turismo, uso recreativo).

Cuadro 31 Algunos ejemplos de impactos de contaminación sobre los recursos pesqueros en las cuencas de Bolivia (Elaboración propia sobre la base de Huntington 1998)

Cuenca	Problemas ambientales
Río Mamoré	Los mayores problemas ambientales se sitúan en las cabeceras del río Mamoré, donde existe uso de plaguicidas, derrames de hidrocarburos y desechos de productos utilizados en la producción de cocaína. Sin embargo, los efectos de estos productos sobre los recursos pesqueros no están bien estudiados
Río Beni	Existe un problema serio de contaminación con Mercurio (Hg), utilizado durante la extracción de Oro, que se acumula en los tejidos de los peces-carnívoros, los cuales son las especies comerciales. Además, existen indicios que el transporte de sedimentos ha incrementado debido a la destrucción de los bosques ribereños.
Río Piray	El procesamiento de caña de azúcar produce desechos con una elevada demanda biológica de oxígeno. Existe también preocupación por el creciente uso de fertilizantes y plaguicidas en la cuenca.
Río Iténez-Guaporé	Posiblemente, existe un problema de sobre-pesca por parte de pescadores comerciales brasileños. En la cuenca alta, se puede vislumbrar un problema de contaminación con mercurio
Río Pilcomayo	Este río recibe los contaminantes provenientes de las zonas mineras de Potosí, Cotagaita y Tumusla. Posiblemente, el recurso pesquero está afectado por esta contaminación.
Lago Titicaca	El Lago Titicaca recibe los residuos líquidos de varias ciudades en Bolivia (El Alto) y Perú (Puno). Se estima que este tipo de contaminación afecta más que todo a las especies nativas ( <i>Orestias</i> ) las cuales no han evolucionado la capacidad de vivir en sistemas eutrofizados.
Lagos Poopó y Uru-Uru	Los Lagos Poopó y Uru-Uru reciben los desechos de las actividades mineras en los alrededores de Oruro. Además existe una contaminación « natural » con metales pesados. Se estima que los recursos pesqueros están afectados por la contaminación en ambos lagos.

## **7. La protección y el manejo de los recursos hídricos**

### **7.1. Los Planes de Uso del Suelo (PLUS)**

Los Planes de Uso del Suelo son instrumentos técnicos normativas del ordenamiento territorial que delimitan espacios geográficos y asignan usos al suelo para optimizar los beneficios que éste proporciona.

En las zonificaciones agroecológicas que son las bases para los Planes de Uso del Suelo (PLUS), se reconoce en general algunas categorías de uso de la tierra que enfatizan la protección de los recursos hídricos. En base a la normativa vigente relativa a categorías de zonificación (MDSMA, 1995 : Ley Forestal N° 1700), se distinguen dos categorías donde se enfatiza explícitamente la protección de los recursos hídricos : “Tierras de protección con uso limitado” y “Áreas Protegidas”. ZONISIG (2000) distingue para el departamento de Potosí en la categoría “Tierras de protección con uso limitado” subcategorías que enfatizan la protección recomendando uso ganadero o agropecuario extensivo. En el departamento de Potosí, esta categoría comprende 59% de la superficie total (y 6% de la extensión total son Áreas Protegidas). En el departamento de La Paz, por ejemplo, se prevé como tierras de uso restringido áreas que se constituyen en áreas de recarga de cuencas hidrográficas (ZONISIG, 1998).

En ambas áreas, la cobertura vegetal generalmente cumple un papel fundamental de regulación ambiental, protegiendo a los suelos que son susceptibles a la erosión eólica. Las formaciones de vegetación ribereña, en particular, protegen las orillas de los ríos y evitan o amortiguan las inundaciones y la erosión.

### **7.2. Sistema de Áreas Protegidas**

Sin embargo, muchas de las áreas protegidas no son lo suficientemente grandes como para cubrir cuencas hidrográficas. En el cuadro 32, se puede apreciar la situación actual para los parques nacionales.

Las áreas naturales de cobertura boscosa son fundamentales para la protección de las cuencas que alimentan los acuíferos subterráneos que proveen las ciudades del país de agua potable. Estas áreas pueden ser consideradas como reguladores hídricos (Cuadro 33) (MDSP, 2001). Estas zonas son sumamente importantes para el abastecimiento de agua en zonas urbanas, y requieren por eso una estrategia de conservación.

Cuadro 32. Hidrografía y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP 2001 ; SERNAP 2002)

Área Protegida	Categoría	Departamento	Superficie (Hectáreas)	Cuencas
Amboró	PNANMI	Santa Cruz	637 000	Las cabeceras de los ríos, que son fuertemente impactadas, no están incluidas dentro del parque
Carrasco	PN	Cochabamba	622 600	Las cabeceras de los ríos, que son fuertemente impactadas, no están incluidas dentro del parque
Tunari	PN	Cochabamba	300 000	Los microcuencas de la Cordillera forman dos vertientes principales: la vertiente Norte cuyas aguas aportan a los sistemas hidrográficos de los ríos Beni y Mamorñe; y la vertiente Sur cuyas aguas aportan a la cuenca del río Rocha. El Parque es muy importante por la recarga de los acuíferos subterráneos del valle de Cochabamba
Madidi	PNANMI	La Paz	1 895 740	La hidrografía del área está definida por las cuencas de los ríos Tuichi, Madidi, Heath y Quendeque. Las cabeceras de los ríos Tuichi y Madidi forman parte del área.
Kaa-Iya	PNANMI	Santa Cruz	3 510 704	El río Parapeti (sitio RAMSAR) es límite en el noroeste del Parque
Otuquis	PNANMI	Santa Cruz	1 005 950	Contiene los bañados de Otuquis. El río Paraguay es límite en el sureste.
Noel Kempff Mercado	PN	Santa Cruz	1 523 446	La cuenca del río Paucerna se encuentra integralmente dentro del parque, sin embargo otros ríos (río Iténez, río Paraguá y Verde) son los límites, las cabeceras de estos ríos están impactadas.
Sajama	PN	Oruro	180 000	El Área se encuentra circunscrita a la cuenca endorreica del Altiplano. Integra las cabeceras de los ríos Sajama y Tomarapi (subcuenca del río Lauca)
Toro Toro	PN	Potosí	16 570	El Parque no contiene ríos importantes. El río Caine se encuentra afuera del parque.
Isiboro Sécore	PNTI	Cochabamba-Beni	1 200 000	El Parque coincide mayormente con las cuencas de los ríos Isiboro y Sécore, inclusive con la mayoría de las cabeceras de estos ríos
Apolobamba	ANMI	La Paz	483 743	Tiene varios ríos y arroyos menores, sin embargo no siempre incluye las cabeceras de éstos.
San Matías	ANMI	Santa Cruz	2 918 500	
Eduardo Avaroa	RNFF	Potosí	714 745	Su hidrografía está definida por la cuenca del río Grande de Lípez. Incluye importantes lagunas y salares.
Tariquía	RNFF	Tarija	246 870	La hidrografía está definida por las cuencas de los ríos Grande de Tarija, Chiquiacá y Salinas. Los recursos hídricos de la Reserva son muy vulnerables debido a posibles impactos río abajo y río arriba.
Estación Biológica del Beni	RB	Beni	115 000	El río Maniqui es el límite de la Estación.
Pilón Lajas	RBTI	La Paz-Beni	400 000	La Reserva comprende la cuenca del río Quiquibey
Manuripi	RNA	Pando	1 884 375	Los ríos Manuripi y Madre de Dios son los límites de la Reserva. Ambos ríos nacen en Perú. Dentro la Reserva, corren numerosos ríos y arroyos que confluyen hacia estos dos ríos principales.

Cuadro 33. Ciudades que dependen indirectamente de áreas protegidas (consideradas zonas de recarga de aguas subterráneas) para la provisión de agua potable o agua de riego (MDSP, 2001)

Ciudades	Área Protegida
La Paz	Parque Nacional Tuni Condoriri Reserva Municipal Huaripampa
Potosí	Lagunas de Karikari Río San Juan
Cochabamba	Parque Tunari

Santa Cruz	Parque Nacional Amboró
Bermejo	Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquía
Yacuiba, Villamontes, Carapari	Parque Nacional Aguargüie
Tarija	Reserva Biológica Cordillera de Sama

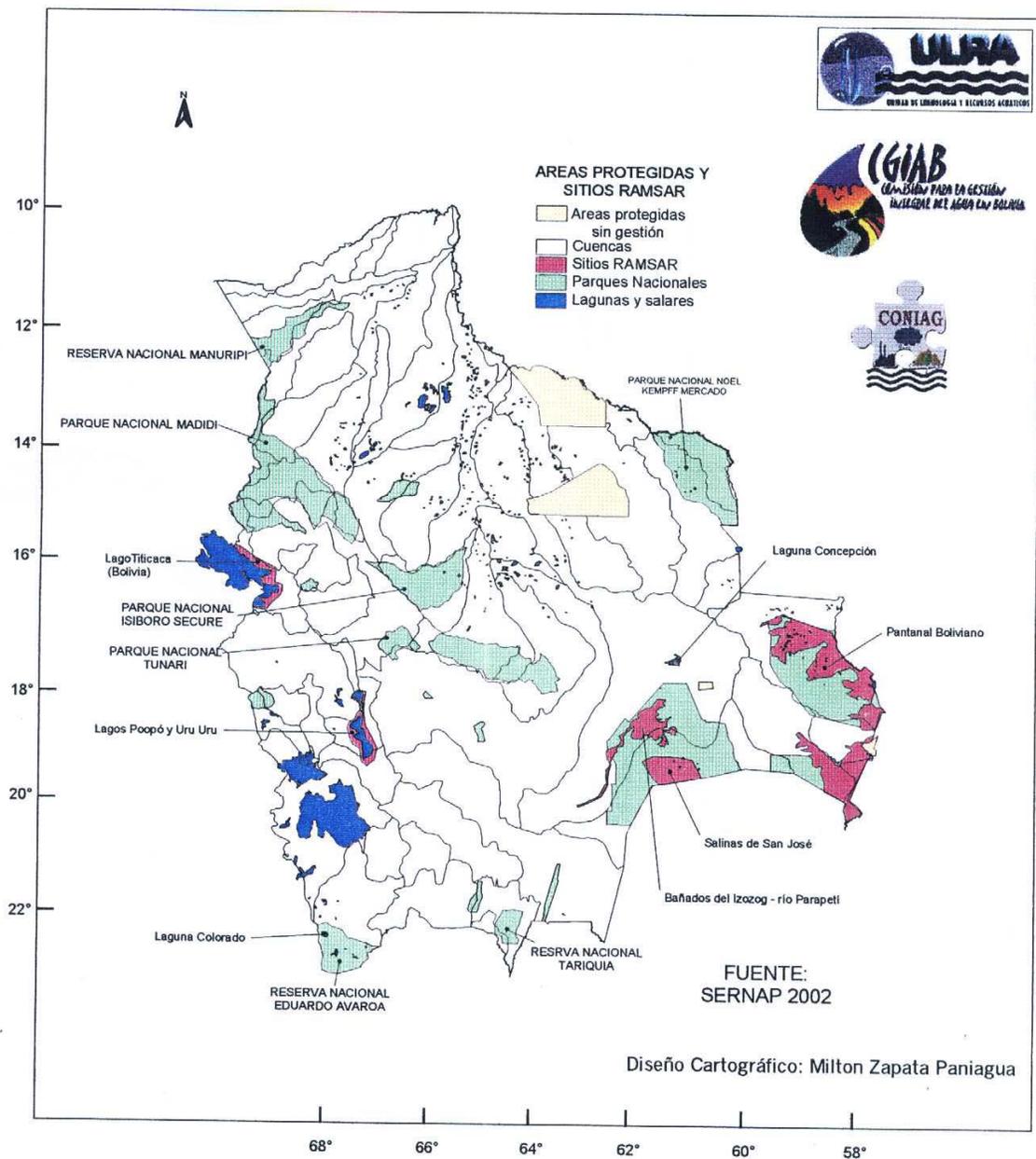


Fig. 16. Areas Protegidas, sitios RAMSAR y cuencas hidrográficas

### **7.3. Humedales de Bolivia y sitios Ramsar**

Bolivia cuenta con aproximadamente 260 humedales. En el Diagnóstico de la Biodiversidad (MDSP, 2001), se indica que los humedales (bofedales, vegas, manantiales, madrejones, bosques inundados, etc.) son ecosistemas priorizados para la conservación porque son sumamente frágiles, están fuertemente amenazados por el sobrepastoreo y el drenaje al que son sometidos para la habilitación de tierras con fines agropecuarios (ZONISIG, 1988).

La misión de la Convención Ramsar consiste en “la conservación y el uso racional de todos los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”. Hasta el presente, Bolivia cuenta con 8 sitios Ramsar (Fig. 16):

- Pantanal boliviano
- Palmar de las Islas-Salinas de San José
- Bañados del Izozog-río Parapeti
- Laguna Concepción
- Laguna Colorada
- Lagos Poopó y Uru Uru
- Cuenca de Taczara (Tarija)
- Lago Titicaca (lado Boliviano)

En conjunto, los Sitios Ramsar en Bolivia suman una extensión de 6 518 073 ha, que representa el 6.3% de la superficie total de los sitios Ramsar. La declaración de un sitio RAMSAR tiene nivel internacional y no prohíbe el uso de la tierra, más bien da sugerencias para un desarrollo de menor impacto. Se constituye también en un compromiso del Estado para considerar en la planificación, y en la mitigación de los impactos de proyectos de desarrollo.

### **7.4. Ordenamiento y priorización de acciones para la gestión de los recursos hídricos**

El Plan Nacional de Cuencas Hidrográficas (PLAMACH-BOL) constituye un instrumento estratégico para el manejo productivo y sostenible de los recursos hídricos. Analiza las potencialidades y problemáticas y establece una priorización de acciones e intervenciones a nivel de las cuencas hidrográficas. El potencial agrícola y forestal han sido considerado como el factor más relevante para determinar las potencialidades, la erosión y magnitud de la pobreza como las limitantes.

Una iniciativa similar es la de MAGDR-PRONAR (2001). Se ha identificado para cada uno de los sectores hidroecológicos el potencial de uso de los recursos agua-

suelo-vegetación, además las limitaciones de los suelos, erosión, clima, riego e inundación. Luego, los valores de potencialidades, limitaciones, degradación de los recursos naturales renovables y el índice de pobreza han sido ponderados para obtener el nivel de prioridad de intervención para cada uno de los Sectores Hidroecológicos. Utilizando este método, los autores han podido identificar los sectores con la más alta prioridad de intervención : la Cordillera Real Cocapata, la Cordillera Mazo Cruz-Azanaques, los Valles interandinos La Paz-Cochabamba, la Cordillera de los Frailes-Chichas, el Altiplano Central, y las Serranías centrales Mandinga-Taxara.

## **7.5. Manejo de cuencas hidrográficas**

MDSP-DGCTC (2002) conciben a la cuenca hidrográfica como “un sistema que contempla no sólo el aspecto biofísico sino los aspectos socioeconómicos y sociales que se encuentran interrelacionados entre sí, dado que de la calidad y cantidad de estas interrelaciones depende su desarrollo armónico basado en el aprovechamiento y protección de los recursos que se encuentran asegurando una producción óptima y sostenida”. Como se puede observar, este concepto tiene que tomar en cuenta la integralidad de todos los componentes dentro la cuenca.

El manejo de los recursos hídricos a nivel de cuenca permite lograr un balance entre las demandas de agua por diferentes sectores. Este enfoque integrado reconoce además el vínculo que existe entre todos los procesos que ocurren río abajo y río arriba respectivamente, reconoce la relación entre aguas superficiales y subterráneas, y permite evitar que la solución de problemas en una parte de la cuenca resultará en el surgimiento de problemas en otra parte de la misma. Sin embargo, operativamente el manejo de cuencas es complicado.

### **7.5.1. Experiencias**

Para atender demandas regionales, se han iniciado coyunturalmente diversos proyectos que enfrentan problemas locales. Se pueden señalar los siguientes proyectos y/o programas (parcialmente sobre la base de MDSP-DGCTC, 2002):

- El Servicio de Encauzamiento y regulación de las Aguas del río Piraí (SEARPI), que tiene por objetivo precautelar la seguridad de la ciudad de Santa Cruz ante las crecidas y desbordes del río Piraí.
- La Comisión Trinacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo de Tarija, que tiene como objetivo el de estabilizar las cuencas de ambos ríos, realizando inversiones para el desarrollo transfronterizo

- El Proyecto de Manejo de Cuencas Chimoré-Ichilo-Yapacani (MACUCUY), concebido con el fin de proteger las inversiones efectuadas en la construcción de la carretera Chimoré-Yapacani (proyecto concluido)
- La Autoridad del Lago Titicaca (ALT), creada para resolver problemas de inundaciones y problemas ambientales en la cuenca del lago Titicaca, así como implementar acciones de aprovechamiento de los recursos hídricos.
- El Programa de Manejo Integral de Cuencas (PROMIC), que tiene como objetivo el de proteger la ciudad de Cochabamba contra inundaciones.

Cabe destacar que pocas de las áreas de intervención de los proyectos y programas arriba mencionados coinciden con cuencas o subcuencas hidrográficas integrales. Los límites de las zonas de intervención fueron generalmente fijados en base a criterios político-administrativos.

### **7.5.2. Limitaciones y oportunidades**

La descentralización ha creado la necesidad de establecer una nueva relación entre el gobierno central y las unidades descentralizadas (departamentos, municipios). La primera sigue teniendo un rol normativo, mientras que los gobiernos locales y regionales crecientemente actúan en función de la resolución de problemas dentro su jurisdicción. Esta nueva realidad exige una mayor interacción entre los gobiernos a diferentes niveles.

La cuenca hidrográfica no coincide con la jurisdicción administrativa que el Estado ha construido aplicando criterios territoriales y políticos. Esto dificulta la coordinación y la gestión integrada de los Recursos Hídricos.

Una oportunidad para resolver este problema, es la Mancomunidad de Municipios que puede sobreponerse a la delimitación de cuencas y por lo tanto generar instancias que se ocupen de la planificación e inversión del uso y manejo de la misma. Dos ejemplos recientes son la Mancomunidad de Municipios de la Gran Chiquitanía, que cubre un área cuya conservación y desarrollo está enmarcada dentro un Plan Integral para el Bosque Seco Chiquitano, Cerrado y Pantanal Boliviano (Ibisch *et al.*, 2002) ; y la Mancomunidad de Municipios de los Chichas (Atocha, Cotagaita, Tupiza, Vitichi) en la cuenca alta de los ríos Tupiza y Cotagaita, que tiene un plan de desarrollo mancomunado que contempla la gestión integral de los recursos hídricos. Aunque estas mancomunidades no se sobreponen completamente a cuencas hidrográficas, su creación ha sido motivada en gran medida por la preocupación y protección de los recursos hídricos (Los Chichas) o por la conservación de la tierra y el bosque nativo (Chiquitanía). Para enfrentar desafíos en la distribución de agua potable, se perfila la necesidad de formar nuevas Mancomunidades de Municipios, como es el caso en el valle de Cochabamba.

A nivel urbano, existe una predisposición para mejorar la gestión ambiental hídrica. En La Paz, por ejemplo, se están perfilando iniciativas para el manejo de las aguas residuales en la cuenca del río Choqueyapu (HAM, 2000).

Otra alternativa que se ve hacia el futuro, es la compatibilización de la delimitación de las Tierras Comunitarias de Origen y de las Areas Protegidas con las cuencas, ofreciendo un espacio propicio de gestión indígena o gestión por una unidad administrativa de los recursos hídricos.

## **8. Legislación del agua y aspectos institucionales**

En este capítulo se presenta un resumen muy breve de las leyes que regulan el uso del recurso agua, y un resumen breve de los ministerios e instituciones que tienen responsabilidad en la gestión se ésta.

### **8.1. Ley de Aguas y leyes sectoriales**

En Bolivia, se dispone de una Ley de Dominio y Aprovechamiento de Aguas que se basa en un Decreto del 8 de septiembre de 1879 que fue elevado a rango de Ley el 28 de Noviembre de 1906 y la cual ha sido derogada en varias partes por normas posteriores, Leyes y Reglamentaciones sectoriales. Así, en cuanto al tema de la legislación del recurso agua, se tiene una variedad de normas formando parte de la legislación general (Tabla 34). En el Cuadro 35, se presenta el contenido de la Ley 1906 y las disposiciones que la modifican.

Cuadro 34 : Legislación Boliviana relacionada con el tema agua (en base a Bustamante, 2001/ 2002)

<b>AÑO</b>	<b>DISPOSICIÓN</b>
1953	Ley de Reforma Agraria
1967	Constitución Política del Estado
1967	Reglamento de Aguas para irrigación, resolución ministerial N° 210/67
1975	Decreto Ley de Navegación Fluvial, lacustre y marítima (Ley N° 12684)
1975	Ley de Vida silvestre, parques nacionales, caza y pesca (Ley N° 12301)
1976	Código Civil
1977	Reglamento de la Organización Institucional y de las Concesiones del sector de aguas (DS 24716)
1990	Reglamento de Pesca y Acuicultura (DS 22581)
1992	Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333)
1993	Ley de Participación Popular
1993	Ley de Exportaciones
1994	Ley del Sistema de Regulación Sectorial (SIRESE) (Ley N° 1600)
1994	Ley de Electricidad

1995	Reglamentos a la Ley del Medio Ambiente (Decreto Supremo N° 24176)
1995	Ley de Descentralización Administrativa (Ley N° 1645)
1996	Ley Forestal (Ley N° 1700)
1996	Ley INRA
1997	Código de Minería
1997	Reglamento de Áreas Protegidas (DS 24781)
1997	Reglamento de uso de Bienes de dominio público y de servidumbres para servicios de Aguas (DS 24716)
1997	Reglamento de la Organización institucional y de las concesiones del sector de aguas (DS 24716)
1998	Normas reglamentarias de uso y aprovechamiento de agua para riego, resolución biministerial 01/98
1999	Ley de Municipalidades (Ley N° 2028)
2000	Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (Ley N° 2066)
2001	Ley Declaración de prioridad nacional los estudios, prospección, aprovechamiento y comercialización de recursos hídricos del sudoeste del departamento de Potosí

Aunque modificada en muchos aspectos, la ley de 1906 sigue vigente y es la norma que regula el recurso agua. En cuadro 34, se presenta lo que las leyes sectoriales indican sobre el tema.

La falta de una Ley general de Aguas conlleva problemas. Ante la falta de una norma general que permite establecer los derechos de agua en todos los sectores se está recurriendo a leyes específicas, como la polémica Ley de Declaración de prioridad nacional de los estudios, prospección, cuantificación, evaluación y aprovechamiento de los recursos hídricos en el sudoeste del departamento de Potosí (Ley N° 2267) (Orellana, 2000), a disposiciones sectoriales y a Contratos Administrativos los cuales tienen muchas veces como prioridad asegurar las mejores condiciones para los inversionistas, dejando de lado consideraciones sociales e incluso ambientales (Bustamante, 2002).

Cuadro 35 : Contenido de la Ley 1906 y las disposiciones que la modifican (Bustamante, 2001)

CAP.	CONTENIDO DE LA LEY 1906	MODIFICADO POR :
I	Del dominio de las aguas pluviales (art. 1-3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Constitución Política del Estado</b></li> <li><i>I. Son de dominio originario del estado, además de los bienes a los que la ley les da esa calidad, el suelo y el subsuelo con todas sus riquezas naturales, las aguas lacustres, fluviales y medicinales</i></li> <li><i>II. La Ley establecerá las condiciones de este dominio, así como las de su concesión y adjudicación a los particulares</i></li> <li>• <b>Ley N°. 1333 de Medio Ambiente</b></li> </ul>
II	Del dominio de las aguas vivas, manantiales y corrientes (art : 4-18)	
III	Del dominio de las aguas muertas o estancadas (art. 19)	
IV	Del dominio de las aguas subterráneas (art. 20-37)	
V	Disposiciones concernientes al capítulo anterior (art. 38-42)	
VI	De las ramblas y barrancos que sirven de álveo a las aguas pluviales (art. 43-46)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código Civil</b></li> <li>• <b>Ley de Municipalidades</b></li> </ul>
VII	Del álveo de los arroyos y ríos y sus riberas (art. 47-53)	
VIII	Del álveo y orillas de los lagos, lagunas y charcas (art. 54-56)	
IX	De las accesiones, arrastres y sedimentos de las aguas (art. 57-72)	
X	De las obras de defensa contra las aguas públicas (art. 73-83)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resoluciones prefecturales</li> <li>• Ordenanzas municipales</li> </ul>
XI	De la desecación de lagunas y terrenos y pantanosos (art. 84-92)	
XII	De las servidumbres naturales en materia de aguas (art. 93-102)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código Civil</b></li> <li>• <b>Ley de Municipalidades</b></li> <li>• <b>Ley de Electricidad</b> (art. 38 y 39)</li> </ul>
XIII	De la servidumbre de acueducto (art. 103-141)	
XIV	De la servidumbre de estribo, de presa, de parad o partidor	

XV	(art. 142-145)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reglamento de uso de Bienes de dominio público y de servidumbres para servicios de Aguas</b></li> </ul>
XVI	De la servidumbre de abrevadero y de saca de aguas (art. 146-150)	
XVII	De la servidumbre de camino de sirga y demás inherentes a los predios ribereños (art. 151-163) Del aprovechamiento de las aguas públicas para el servicio doméstico, fabril y agrícola (art. 164-166)	
XVIII	Del aprovechamiento de las aguas públicas para la pesca (art. 167-173)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reglamento de Pesca y Acuicultura</b></li> <li>• <b>Ley de Vida Silvestre, parques nacionales, caza y pesca</b></li> <li>• <b>Ley de navegación fluvial, lacustre y marítima</b></li> </ul>
XIX	Del aprovechamiento de las aguas públicas para la navegación y flotación (art. 174-188)	
XX	Disposiciones generales sobre concesión de aprovechamientos (art. 189-207)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ley de electricidad</b></li> <li>• <b>Código de Minería</b></li> <li>• <b>Reglamento de Areas protegidas</b></li> <li>• <b>Normas Reglamentarias de uso y aprovechamiento de Agua para riego</b></li> <li>• <b>Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario</b></li> </ul>
XXI	Del aprovechamiento de las aguas públicas para el abastecimiento de poblaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario</b></li> <li>• <b>Reglamento de la Organización Institucional y de las Concesiones del sector de aguas</b></li> </ul>
XXII	Del aprovechamiento de las aguas públicas para el abastecimiento de ferrocarriles (art. 217-221)	
XXIII	Del aprovechamiento de las aguas públicas para riegos (art. 222-247)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reglamento de Aguas para irrigación</b></li> <li>• <b>Normas reglamentarias de uso y aprovechamiento de agua para riego</b></li> </ul>
XXIV	Del aprovechamiento de las aguas públicas para canales de navegación (art. 248-253)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ley de navegación fluvial, lacustre y marítima</b></li> </ul>
XXV	Del aprovechamiento de las aguas públicas para barcas de paso, puentes y establecimiento industriales	
XXVI	Del aprovechamiento de las aguas públicas para viveros o criaderos de peces (art. 266-269)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reglamento de Pesca y Acuicultura</b></li> <li>• <b>Ley de Vida silvestre, parques nacionales, caza y pesca</b></li> </ul>
XXVII	De la política de aguas (art. 270-273)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ley de Medio Ambiente</b></li> <li>• <b>Reglamentación de Contaminación hídrica</b></li> </ul>
XXVIII	De las comunidades de regantes y sus sindicatos (art. 274-284)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reglamento de Aguas para irrigación</b></li> </ul>
XXIX	De los jurados de riegos (art. 285-288)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Normas reglamentarias de uso y aprovechamiento de agua para riego</b></li> </ul>
XXX	De la competencia de jurisdicción en materia de aguas (art. 289-292)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código penal</b></li> <li>• <b>Código civil</b></li> <li>• <b>Ley de Medio Ambiente y sus reglamentos</b></li> </ul>
	Disposición final (art. 293)	<b>Constitución política del Estado</b>

Para llenar el vacío dejado por la Ley de 1906, se ha venido trabajando en una propuesta legislativa durante los últimos 30 años, pero esto aun no se ha concretado aunque hasta la fecha se tienen ya 32 versiones de Proyectos de Ley generados en el Estado y varias propuestas alternativas de parte de las organizaciones de la sociedad civil (Bustamante, 2002). La versión 32 del Proyecto de Ley de Aguas (agosto 1999) ha sido criticada duramente por varias organizaciones campesinas por promover la privatización y mercantilización del agua. Este Proyecto de Ley de Agua debido a los intensos conflictos sociales y críticas fue retirado del Parlamento el 7 de Octubre de 2000.

## 8.2. Ley de Medio Ambiente y sus reglamentos

La Ley de Medio Ambiente tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población (Art. 1).

Con relación al recurso Agua, especifica:

*Las aguas en todos sus estados son de dominio originario del Estado y constituyen un recurso natural básico para todos los procesos vitales. Su utilización tiene relación e impacto en todos los sectores vinculados al desarrollo, por lo que su protección y conservación es tarea fundamental del Estado y la sociedad (Art. 36)*

*El Estado promoverá la planificación, el uso y el aprovechamiento integral de las aguas, para beneficio de la comunidad nacional, con el propósito de asegurar su disponibilidad permanente; priorizando acciones a fin de garantizar agua de consumo para toda la población (Art. 38)*

*El Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido o gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno. Los organismos correspondientes reglamentarán el aprovechamiento integral, uso racional, protección y conservación de las aguas (Art. 39)*

El reglamento de prevención y control de la contaminación hídrica fue promulgado en 1995. Este reglamento regula la calidad de las aguas en base a una clasificación de cuerpos de agua y contiene un anexo con los límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores. La clasificación general de cuerpos de agua, en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

- Clase “A”. Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
- Clase “B”. Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica
- Clase “C”. Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica

- Clase “D”. Aguas de calidad mínima, que para consumo humano en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

### 8.3. Organización nacional y regional

Siguiendo Liebers (2002), los ministerios e instituciones que tienen responsabilidad en la gestión del agua son:

Cuadro 36: Ministerios e instituciones que tienen responsabilidad en la gestión del agua (Liebers, 2002)

Entidades públicas	Atribuciones	Entidad ejecutiva/ Programa
Ministerio de Relaciones Exteriores		* Dirección de Aguas Internacionales
Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación	Autoridad Nacional de Aguas encargada del manejo sostenible del recurso agua	* Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal * Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI)
Superintendencia de Saneamiento Básico	Encargada de otorgar las concesiones y licencias para la prestación de Servicios de agua potable y alcantarillado sanitario	
Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos	Formula y/o ejecuta políticas para la provisión y el desarrollo de los servicios	Programa Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico en el área rural (PROSAR)
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural		* Dirección General de Suelos y Riego * Programa Nacional de Riego (PRONAR)
Ministerio de Desarrollo Económico		Servicio de Geología y Minería (SERGEOMIN)
Ministerio de Hacienda		Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE)
Prefectura de departamento	Responsables de elaborar y desarrollar planes y programas departamentales de expansión de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y otros usos	
Gobiernos municipales	Responsables de asegurar la provisión de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y otros usos	
	Formación y capacitación de recursos humanos, prestación de servicios para estudios de investigación y elaboración de planes, programas y proyectos	Universidades públicas

En la Figura 18, se indica la estructura del sistema administrativo del recurso hídrico, según Mattos y Crespo (2000).

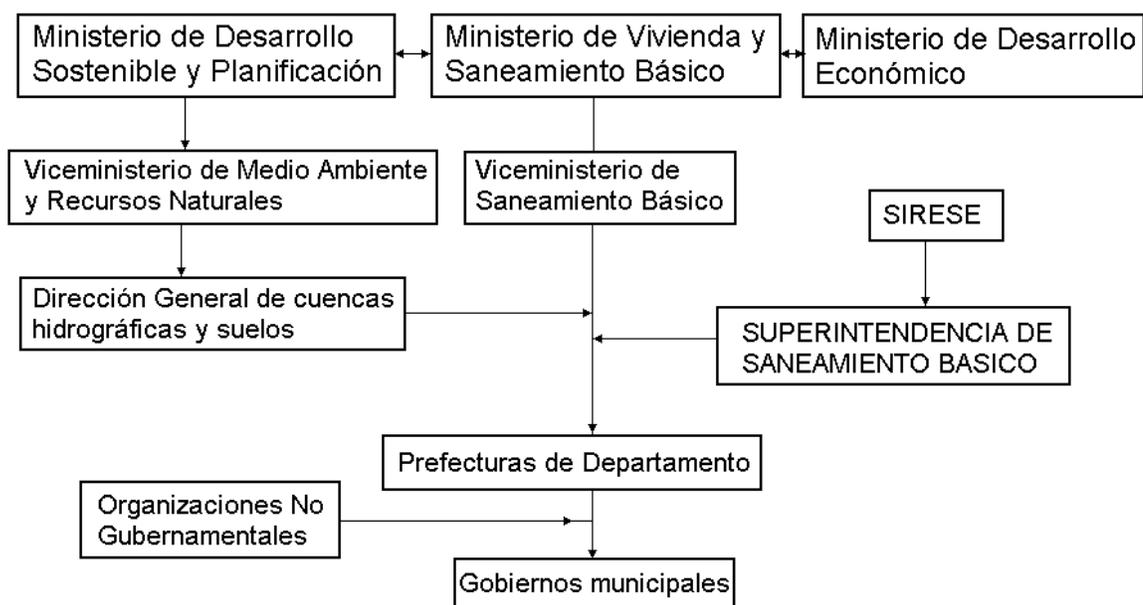


Fig. 17. Estructura del sistema administrativo del recurso hídrico (Mattos y Crespo 2000)

## **9. Conclusiones y recomendaciones**

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

Debido a su tamaño y su heterogeneidad geomorfológica, Bolivia cuenta con una amplia variación de condiciones climáticas en su territorio. El Altiplano es una zona con poca precipitación y bajas temperaturas, en cambio la zona oriental del país se caracteriza por lluvias intensas y temperaturas relativamente altas. Entre estos dos extremos, se encuentra toda una variedad de microclimas intermedios con diferentes características, dependiendo de la geomorfología, la altitud y la posición geográfica del lugar. La variación en la disponibilidad de las aguas superficiales está correlacionada en gran medida con las tasas de precipitación. Las aguas subterráneas en cambio generalmente son reservorios de agua más permanente, sin embargo éstas recientemente también están afectadas por su explotación para consumo humano y riego.

La mayor parte del territorio boliviano está periódicamente hostigado por fenómenos climáticos adversos como sequías, granizo, lluvias excesivas, y nevadas, que causan varios impactos negativos: en los medios de comunicación las noticias sobre erosión de la tierra, desbordes de los ríos, y pérdidas de los cultivos, entre otros, son muy frecuentes. Aunque estos fenómenos siempre han existido, los impactos negativos tienden a ser más graves recientemente debido a una ocupación inadecuada del territorio, un uso inadecuado de la tierra y fenómenos climáticos producto del calentamiento global

Es alarmante la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en Bolivia. En las zonas mineras y río abajo de las mismas, la acumulación de metales pesados en las aguas alcanza proporciones asombrosas en algunos lugares y niveles peligrosos en otros. Los “pasivos ambientales” aseguran que estos impactos continuarán en los próximos decenios, quizás siglos. En las zonas urbanas, los desechos domésticos e industriales líquidos contaminan las aguas superficiales y se infiltran en los acuíferos, afectando el uso de esta agua río abajo para consumo humano y para riego. Aparte de los contaminantes “clásicos” como son las sustancias orgánicas y metales pesados, el presente informe también ha dado énfasis en el impacto de otros tipos de contaminantes menos conocidos y más difíciles de estudiar, como son los hidrocarburos y los pesticidas. El impacto de estos productos, que se acumulan en las cadenas tróficas y que pueden afectar a la salud humana, sólo recientemente empiezan a salir a la superficie.

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

Este panorama general de deterioro de la calidad del agua en el país está contrabalanceado por la presencia de sistemas acuáticos prístinos en algunas áreas, generalmente dentro los parques nacionales. Estos últimos generalmente representan zonas de recarga para las aguas subterráneas. Sin embargo, la presión sobre estos sistemas está aumentando paulatinamente, lo cual podría poner en peligro los balances hídricos.

En un país donde la presión sobre los recursos naturales está en aumento, es evidente que los conflictos sobre el uso del agua también se incrementan. Estos conflictos se manifiestan más cuando falta claridad sobre los derechos del agua, además la inadecuada legislación sobre el tema agua tiende a intensificar los conflictos. El problema está agravado debido a la gestión fragmentada de los recursos hídricos y su manejo sectorial por parte de una plétora de instituciones que no coordinan sus actividades. La inclusión de nuevos actores, como los sectores privados y entes reguladores, y la transferencia de la responsabilidad de la gestión del recurso agua hacia los municipios y departamentos, todavía ha complicado más el panorama. Las cuencas, que son los “territorios” que ocupan los recursos hídricos, generalmente no se ajustan a los límites municipales y departamentales, lo cual hace que la gestión local y regional raramente está caracterizadas por un enfoque integral. Resumiendo, en este momento la gestión del agua en Bolivia presenta muchas deficiencias e incongruencias, agravada por un marco legal obsoleto.

En Bolivia, como en los otros países de América del Sur, es necesario un enfoque multidisciplinario en la gestión de los recursos, tomando como principios básicos el manejo integral de las cuencas, el uso múltiple de los recursos hídricos, la recuperación de las aguas contaminadas, y la protección de zonas frágiles e importantes para la conservación de los recursos hídricos, como son los humedales y las laderas. Se necesitan urgentemente los marcos legales y programáticos adecuados, como una Política Nacional de Recursos Hídricos, la Ley de Aguas y un Plan Nacional de Uso y Conservación de los Recursos Hídricos.

El insuficiente conocimiento del estado de los recursos hídricos es uno de los factores que dificulta la gestión de estos. Sin embargo, el incremento de los conflictos que surgen de la escasez del recurso, provocada por desastres naturales, usos inadecuados y contaminación ha aumentado el interés en este tema importante para el desarrollo del país.

Se puede resumir el estado de conocimiento como sigue:

- Los sistemas de monitoreo de los recursos hídricos, el almacenaje y la sistematización de datos meteorológicos y hidrológicos son insuficientes y en muchos casos deficientes.
- Las aguas subterráneas están muy poco estudiadas (con algunas excepciones, como el valle de Cochabamba, y el valle de Tarija), y poco se conoce el potencial de este recurso, lo más grave es que se pretenden aprobar planes de uso de estas aguas sin realizar los estudios pertinentes.
- Se cuenta con bastante información reciente respecto al grado de contaminación de las aguas superficiales por metales pesados, sin embargo no se conoce suficientemente los impactos negativos de contaminantes como pesticidas, tóxicos industriales, hidrocarburos y mercurio.
- Bolivia cuenta con un balance hídrico nacional que no se actualizó durante los últimos años, a nivel local se necesitan estudios más detallados
- El carácter de los conflictos entre diferentes usuarios está pobremente documentado.
- Se carece de modelos adecuados de gestión de los recursos hídricos
- Se carece de evaluaciones detalladas de las potencialidades y limitaciones de los recursos hídricos
- Se tiene generalmente poca coordinación entre instituciones relacionadas con el tema agua
- Se carece de una Política Nacional de Recursos Hídricos y de un marco normativo correspondiente

Este informe presenta sólo un bosquejo preliminar de un temario amplio y complicado. La recopilación de la información dispersa ha sido difícil, lo cual nos muestra que el conocimiento no está accesible de la manera más óptima. Por eso, cabe recomendar que se hagan mayores esfuerzos para recopilar, sintetizar, analizar y hacer accesible la información secundaria existente y que se hagan nuevos esfuerzos para generar información primaria confiable y comparable. Es necesaria la centralización y la permanente actualización de esta información, para poder elaborar políticas hídricas consistentes que tomen en cuenta la compleja realidad del país.

## **10. Bibliografía**

Crespo Flores, C. y Orellana Halkyer, R. (1999) Conflictos ambientales (dos casos : agua y territorio). CERES, Cochabamba. 121 p.

FOBOMADE (2000) Consideraciones sobre un megaproyecto : El Bala. La Paz, Bolivia.

Hentschel, T., Roque, D. & Taucer, E. (2000) Estudio monográfico sobre la explotación minera pequeña. Ejemplo de San Simón (Bolivia). OIT. Documento de trabajo.

Heuschmidt, B., Miranda Angles, V., Bellot La Torre, J., Claire Zapata, M. & Cazas Saavedra, A. (2000) Sinopsis de la metalogenia de Bolivia. SERGEOMIN, La Paz.

INE (2001) Encuesta de Hogares – 1999. La Paz, Bolivia. 235 p.

INE (2002) Anuario estadístico 2001. La Paz, Bolivia. 561 p.

JICA-HAM (1993) Estudio para el control de la contaminación del agua de los ríos en la ciudad de La Paz.

Liebers Baldivieso, A. (2002) Agua: de elemento de conflicto a fuente de integración (El caso boliviano). La Paz, Bolivia. 38 p.

MAGDR-DGSR-PRONAR (2000) Inventario Nacional de Sistemas de Riego. Cochabamba, La Paz. 285 p.

MAGDR-PRONAR (2001) Mapa de Ordenamiento hidroecológico de Bolivia, Correlación con niveles de pobreza y degradación de recursos naturales renovables. La Paz, Bolivia.

Mattos, R. Y Crespo, A. (2000) Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia.

Maurice-Bourgoin, L. (2001) El mercurio en la Amazonía Boliviana. La Paz, Bolivia. 75 p.

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.

MDSP (2001) Estrategia nacional de biodiversidad. 193 p.

Navarro, G. & Maldonado, M. (2002) Geografía ecológica de Bolivia : Vegetación y ambientes acuáticos. Fundación Simon Patiño, Cochabamba, Bolivia. 719 p.

Pacett, M.L. (1999) Volúmenes de plaguicidas utilizados en Bolivia. El Correo de Archie la Cucaracha 4 : 6-7

Ronchail, J. (1993) Funcionamiento de los surazos en América del Sur y efectos climáticos en Bolivia : algunos resultados. P. 95-105. En : Actas del Seminario sobre el PHICAB (ORSTOM-SENAMHI-UMSA-CONAPHI). La Paz.

Santivañez, T., Arnez, S., Rodriguez, K., Rivera, L., Tapia, R. & Villegas, P. (2000) Diagnóstico, salud y plaguicidas en la Floricultura de Cochabamba. La Paz, Bolivia. 32p.

VMT-BCB-INE (2001) Encuesta gasto del Turismo receptor y emisor. La Paz, Bolivia. 46p.

Zabaleta, V. Y Bremer, M. (1993) La degradación ambiental de los recursos pesqueros del lago Poopó. CEDIPAS-CDP. Oruro, Bolivia. 31p.

ZONISIG (1998) Zonificación agroecológica y socioeconómica de la cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz. La Paz, Bolivia.

ZONISIG (2000) Zonificación agroecológica y socioeconómica del departamento de Potosí. Potosí, Bolivia. 244 p.