

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC

Insurgentes Sur No. 670, Piso 9

Colonia Del Valle

Delegación Benito Juárez

Código Postal 03100

México, Distrito Federal

www.foroconsultivo.org.mx

foro@foroconsultivo.org.mx

Tel. (52 55) 5611-8536

Responsables de la edición:

Juan Pedro Laclette y Patricia Zúñiga

Coordinadores:

Blanca Jiménez Cisneros (Academia Mexicana de Ciencias)

Jóse Galizia Tundisi (Academia Brasileña de Ciencias)

Traducción:

Academia Mexicana de Ciencias

Recopilación de la información:

Tania Elena Rodríguez Oropeza

Coordinador de edición:

Marco A. Barragán García

Corrección de estilo:

Elia Irene Lechuga Almaraz

Diseño de portada e interiores:

Víctor Daniel Moreno Alanís y Mariano Alejandro Hernández Salas

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

Derechos Reservados

FCCyT, marzo de 2012

ISBN: 978-607-9217-04-4

Impreso en México

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

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

COORDINADORES
BLANCA JIMÉNEZ CISNEROS
JOSÉ GALIZIA TUNDISI



Prólogo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enhorabuena por este valioso esfuerzo.

Michael Clegg y Juan Pedro Lacleste
Copresidentes de IANAS

Prólogo

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

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

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

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

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

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

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

Foro Consultivo Científico y Tecnológico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Índice

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

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

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

■ Los recursos hídricos en Cuba: una visión 245

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

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

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

■ Estado del agua en Guatemala 281

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

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

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

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

■ Recursos hídricos en Nicaragua: una visión estratégica 359

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

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

Presentación

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Juan Pedro Laclette

Coordinador General del FCCyT



Bosque Andino en el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, departamento de Boyacá, Colombia
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bosque_Andino_Iguaque.JPG

Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia

Mtra. Claudia Patricia Campuzano¹, Dr. Gabriel Roldán Pérez², Ing. Ernesto Guhl Nanneti³, José Manuel Sandoval Pedroza⁴

¹ Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

² Universidad Católica de Oriente, Rionegro.

³ Director de Instituto Quinaxi.

⁴ Asesor Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Palabras clave: disponibilidad, oferta, demanda, calidad del agua, uso del agua, salud, agua potable, saneamiento básico, gobernanza, normatividad.

1. Introducción

Hasta 1990 Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo después de la Unión Soviética, Canadá y Brasil en mayor volumen de agua por unidad de superficie. El rendimiento hídrico promedio del país, según los expertos, era de 60 litros por kilómetro cuadrado, lo que era seis veces mayor que el rendimiento promedio mundial y tres veces el de Suramérica. Actualmente el panorama es totalmente diferente. El volumen de agua ha disminuido y su calidad también ha hecho que la disponibilidad de agua en el país sea inferior, esto debido a la tala indiscriminada de bosques, situación que atañe directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres, de los cuales depende casi en su totalidad la vida de la tierra.

A pesar de que aún somos un país privilegiado en materia de recursos hídricos, existen millones de colombianos sin acceso a agua potable y saneamiento básico.

El presente documento busca simplemente dar un vistazo al estado actual de los recursos hídricos en nuestro país



como resultado de las extracciones, en la mayoría de las veces textuales, de las publicaciones de importantes entidades existentes en Colombia que trabajan en torno al recurso hídrico y en general al medio ambiente; entre ellas se encuentran el Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible-MADS; el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM; Las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales; la Contraloría General de la Nación, así como importantes entidades de generación de conocimiento como la Universidad Católica de Oriente, la Universidad del Valle, el Instituto Quinaxi y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

2. El territorio colombiano

Colombia está ubicada en la esquina noroccidental de Suramérica, entre los 12° 30' N y los 4° 13' S de la línea ecuatorial. Se extiende en un área continental de 1.141.748 km² y

928.660 km² de plataforma continental y de mar territorial (Figura 1). Es el cuarto país de la región en extensión territorial después de Brasil, Argentina y Perú. Colombia, además, disfruta de un segmento importante de la órbita geoestacionaria, del espacio aéreo y del espacio electromagnético.

Colombia es el único país de Suramérica con 1.600 km de costa en el Mar Caribe y 1.300 km en el Océano Pacífico. Debido a su ubicación geográfica en la zona ecuatorial y a sus complejas formas de relieve, posee una diversidad de climas y un mosaico de ecosistemas. Nuestro país posee uno de los ecosistemas más complejos y frágiles del mundo, el cual alberga el 10% de la fauna y la flora mundial.

El elemento topográfico más característico de Colombia es la cordillera de los Andes, situada en la parte central y occidental del país, y que se extiende de norte a sur a través de casi toda su longitud. Los Andes están conformados por tres cadenas montañosas principales paralelas entre sí: la cordillera Oriental, la cordillera Central y la cordillera Occidental. Sobre la costa del Caribe se encuentra una masa montañosa aislada conocida como la Sierra Nevada de Santa Marta, donde el punto más alto (el pico Simón Bolívar) alcanza los 5.775 m. Dentro de la cordillera Central se encuentran los picos volcánicos de Huila (5.750 m) y Tolima (5.215 m). Cerca de 240 km al sur del mar Caribe, la cordillera Central desciende hasta zonas cenagosas y reductos de bosque húmedo tropical. Los picos de la cordillera están permanentemente cubiertos de nieve; el nivel de la vegetación en estas montañas se extiende hasta los 3.050 m de altitud.

Al este de la cordillera Oriental se encuentran vastas extensiones de tierras bajas tórridas, escasamente pobladas y sólo parcialmente exploradas. La porción meridional de esta región está cubierta por selvas de vegetación espesa y es drenada por el río Caquetá y otros tributarios del río Amazonas. La parte norte de la región, que es la más grande, está formada por enormes planicies conocidas como Los Llanos Orientales y es atravesada por el Meta y otros tributarios del río Orinoco. Entre las cordilleras se encuentran altiplanicies, en su mayoría a más de 2.438 m de altitud, y fértiles valles drenados por los principales ríos del país.

El río Magdalena es el más importante de Colombia, fluye hacia el norte entre las cordilleras Oriental y Central, cruzando prácticamente todo el país, y desemboca en el mar Caribe cerca de la ciudad de Barranquilla después de un curso de aproximadamente 1.538 kms. El río Cauca también es un importante curso fluvial y medio de comuni-

Figura 1. Mapa del territorio colombiano



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC

cación; tiene una longitud de 1.350 km y fluye hacia el norte entre las cordilleras Central y Occidental y se une con el Magdalena unos 320 km antes de llegar al mar Caribe. En el oeste, el río Patía corre a través de los Andes para desembocar en el Pacífico. Son numerosas las desembocaduras de ríos a lo largo de las costas, pero no existen buenos puertos naturales.

Teniendo en cuenta lo anterior, las cinco regiones geográficas de Colombia (Figura 2) son:

- La región Andina, en el occidente, donde se concentra la mayoría de la población colombiana. Conformada por tres cordilleras (Andes) que recorren al país de sur a norte.
- La región del Caribe, en el norte, caracterizada por climas cálidos, costa, playas. Zona agrícola y turística en la parte costera.
- La región Pacífica, en el occidente a lo largo de la costa pacífica, cubierta por bosques tropicales y vegetación exuberante, con climas cálidos y húmedos.
- La región de los Llanos Orientales, en la parte sur-oriental, consiste en vastas extensiones de tierras onduladas y planas. Es rica en agricultura y ganadería, así como en yacimientos de petróleo.
- La región Amazónica, en el suroeste del país, cubierta de inmensas selvas tropicales.

Colombia posee una población de 44.935.461 habitantes y está dividida político-administrativamente en 32 Departamentos y 1051 Municipios. Los centros urbanos más importantes son: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Santa Marta, Bucaramanga, Cúcuta, Pereira, Manizales. El 70% de la población vive en dichos centros urbanos.

3. Generalidades sobre el recurso hídrico en Colombia

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que éste posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta; sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio, y está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico.

La riqueza hídrica del país se manifiesta en su extensa red fluvial superficial que cubre al país en unas condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, la

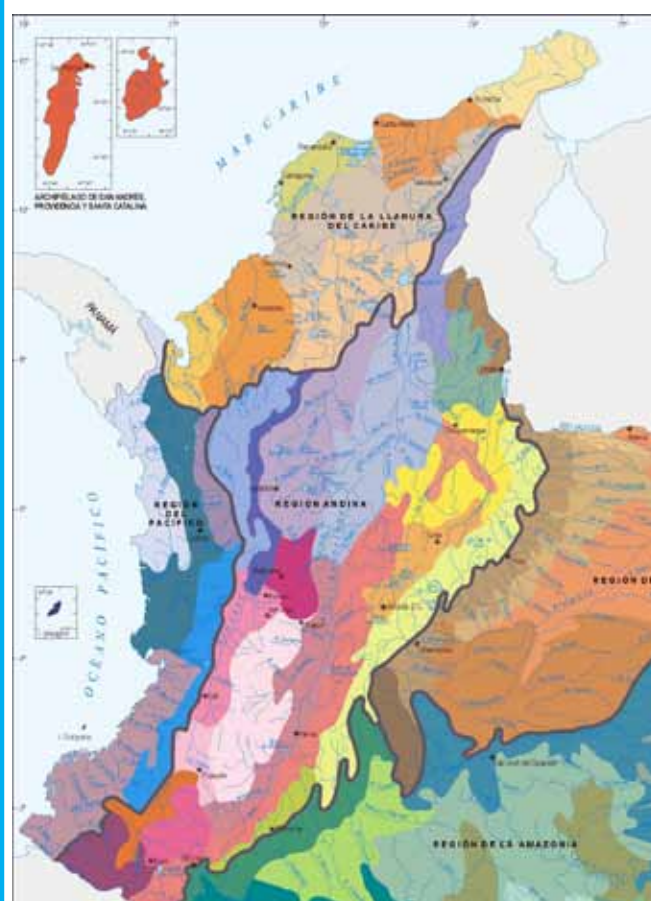
existencia de cuerpos de agua lénticos y la presencia de enormes extensiones de humedales.

La presencia de altas montañas, abundantes precipitaciones, extensas sabanas y selvas húmedas, junto con su ubicación estratégica, caracterizan el territorio nacional y determinan la existencia de ecosistemas con un potencial hídrico valioso y sistemas complejos de regulación.

Sin embargo, este potencial hídrico se restringe en su aprovechamiento por una serie de factores antrópicos que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y en particular en la calidad del agua. También lo afecta la forma de aprovechamiento que se caracteriza por el uso inadecuado y poco eficiente.

Para realizar un análisis del recurso hídrico en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha avanzado en la definición de una Política Nacional para la Gestión

Figura 2. Regiones geográficas de Colombia



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC

Figura 3. Zonificación hidrográfica de Colombia



Fuente: IDEAM, Estudio Nacional de Aguas, 2010.

Integrada del Recurso Hídrico, la cual reconoce a la cuenca hidrográfica como la unidad de planificación del territorio colombiano, para lo cual se realizó una zonificación hidrográfica que consta de tres niveles: el primer nivel corresponde a cinco grandes áreas hidrográficas, como la presentada en la Figura 3; el segundo nivel a 41 zonas hidrográficas, y el tercer nivel a 309 subzonas hidrográficas.

Los indicadores hídricos se analizan para las zonas y subzonas hidrológicas; para el caso de las aguas subterráneas, el análisis se realiza para las zonas hidrogeológicas, en las cuales también fue dividido el país, tal como se muestra en la Figura 4.

4. Balance hídrico

Según el IDEAM (2008), a finales del siglo XX Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que de acuerdo con el informe de la ONU sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo “agua para todos-agua para la vida”, Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países; este lugar aún hace figurar a Colombia como potencia hídrica mundial, muy a pesar de los problemas actuales relacionados con el desabastecimiento de agua y la afectación de fuentes hídricas naturales. Esta situación se refleja en las siguientes cifras:

- Colombia cuenta con al menos 737.000 cuerpos de agua entre ríos, quebradas, caños y lagunas (HIMAT, 1994).
- En el territorio colombiano en promedio cada año caen 3.400 km³ de agua, se evaporan 1.100 km³ y escurren 2.300 km³; si se supone que un país es capaz de retener en sus dispositivos de abastecimiento el 40% de esta oferta, en efectivo Colombia contaría con 1.150 km³/año de la oferta hídrica total superficial.
- La capacidad de los sistemas de abastecimiento y suministro de agua en nuestro país aún no alcanzan ese porcentaje con respecto a la oferta de agua.
- La oferta de agua más frecuente (oferta modal) para el territorio colombiano alcanza la cifra de 1.910 km³/año, mientras que en eventos extremos (oferta en año seco) no supera los 1.240 km³/año.

El balance hídrico general que permite conocer en forma global el potencial hídrico del país fue construido en escala 1:1.500.000, teniendo como base las regiones hidroclimáticas del país, dando como resultado el mapa de índice de aridez presentado en la Figura 5.

Figura 4. Zonificación hidrogeológica de Colombia



Fuente: IDEAM, Estudio Nacional de Aguas, 2010.

Según los estimativos del IDEAM en el Estudio Nacional del Agua (2008), la oferta hídrica en el país supera los 2.000 km³/año, y corresponde, en promedio, a 57.000 m³ anuales por habitante (m³/año/hab.). Así mismo, se estima que si se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad del agua como por regulación natural, se alcanza apenas una disponibilidad promedio de 34.000 m³/año/hab. Para las condiciones de año seco, este valor se reduce a un promedio de 26.700 m³/año/hab. Sin embargo, la distribución heterogénea del recurso, de la población y de las actividades económicas del país, hacen que el indicador promedio sea engañoso o menos favorable.

Adicionalmente, según las estimaciones realizadas por el IDEAM (2008), en el período comprendido entre los años 1985 y 2006 la disponibilidad per cápita de agua se redujo de 60.000 m³/año/hab. a 40.000 m³/año/hab., disminuyendo con una tasa aproximada de 1.000 m³/año.

El estudio del IDEAM (2008) permite confirmar, que pese a la situación relativamente favorable de oferta y disponibilidad hídrica del país, Colombia se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de su recurso hídrico; adicionalmente, las condiciones de cobertura vegetal, suelos, usos del suelo y características geológicas e hidrológicas de las cuencas colombianas son muy variadas y por ello el país cuenta con cuencas hidrográficas de diferente capacidad de regulación.

Esto hace que existan zonas del país con gran abundancia de escorrentía como es el caso de la región pacífica en el área de influencia de los ríos Dagua, Baudó, San Juan, Micay y Atrato, mientras que existen otras zonas del país altamente deficitarias en escorrentía como el caso de la alta y baja Guajira, San Andrés y Providencia, la cuenca del río Cesar y la Sabana de Bogotá, como se muestra en la [Figura 6](#).

En condiciones climáticas secas, la reducción de oferta de agua promedio oscila entre 50% y 65% (IDEAM, 2010).

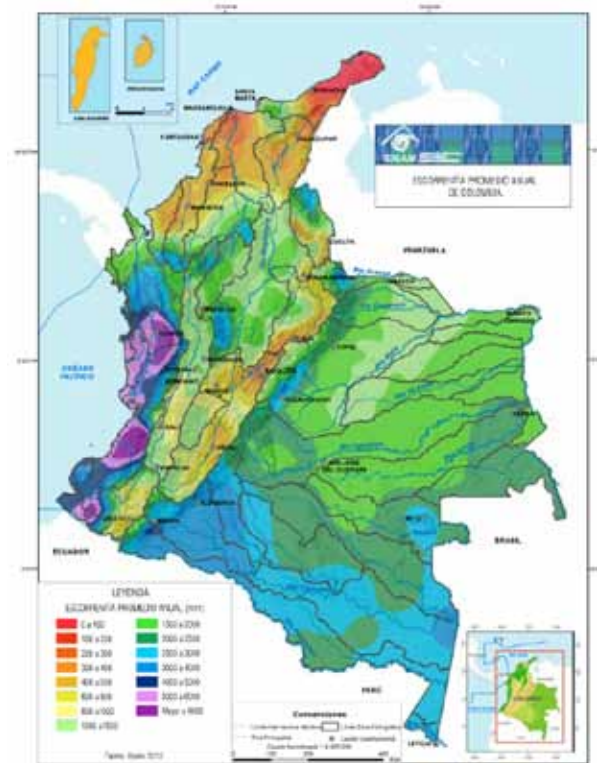
Esta variabilidad en la oferta de agua hace que se presenten señales serias de preocupación, e incluso de alarma, en algunos municipios y áreas urbanas, ya que no existe suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos. Los aprovechamientos del recurso para los acueductos urbanos, que se abastecen en general (más del 80%) de ríos pequeños, quebradas y arroyos, no cuentan en su mayoría con programas de protección de cuencas, sistemas de regulación y almacenamiento, transporte y tratamiento, ni con previsiones económicas para realizarlas.

Figura 5. Mapa de índice de aridez en las regiones de Colombia



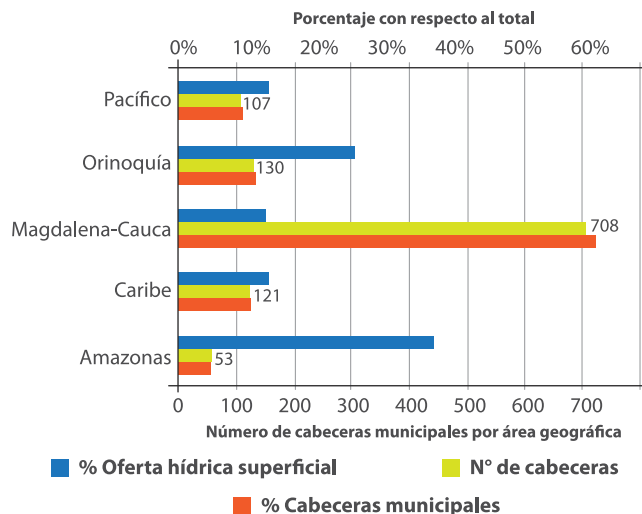
Fuente: IDEAM, 2010

Figura 6. Escorrentía promedio anual de Colombia



Fuente: IDEAM, 2010

Figura 7. Distribución de cabeceras municipales y su relación con la oferta media por área hidrográfica



Fuente: IDEAM, 2010

La Figura 7 muestra la relación inversa que existe entre la oferta media de agua y la distribución de las cabeceras municipales en cada una de las regiones de Colombia.

5. Embalses y humedales

En Colombia existen cerca de 1.600 cuerpos de agua, entre lagunas, lagos y embalses, los cuales cuentan con importantes reservas de agua utilizable, con un volumen total utilizable de 26.300 millones de m³.

De acuerdo a las cinco grandes regiones naturales del país (Caribe, Pacífica, Andina, Orinoquía y Amazonía), la región Caribe es de gran importancia por la presencia del 71% de humedales de carácter permanente o semipermanente, destacándose en orden de importancia el Complejo de la Depresión Momposina, el del Magdalena Medio y el del Río Atrato.

La mayoría de los embalses en Colombia se encuentran en la Cuenca del río Magdalena, región Andina, en la cual está asentada el 79% de la población del país y es el eje de mayor desarrollo productivo (Figura 8). Como consecuencia de ello se encuentran profundamente modificados, bien sea por procesos acelerados de colmatación y eutrofización por la llegada de materiales alóctonos provenientes de la cuenca o por materiales autóctonos provenientes del metabolismo interno del embalse (Valderrama, 1985). Hasta ahora, no hay embalses ni en la Sierra Nevada de Santa Marta, ni en la cuenca del Atrato, ni en la Amazonía y son muy escasos en la vertiente oriental de la cordillera Oriental (Márquez y Guillot, 1987).

Estudios limnológicos en embalses tropicales situados en países en desarrollo siguen siendo pocos. Colombia no es una excepción, pues sólo unos pocos embalses han sido parcialmente estudiados. Sólo en los últimos años se efectuaron estudios más o menos detallados acerca de los efectos ambientales de ciertos proyectos (Márquez y Guillot, 1987). Hasta 1987, el área embalsada del país era de 41.593 hectáreas; sin embargo, se esperaba que ésta se triplicaría hacia finales de la década de los años 90, hasta alcanzar un área aproximada de 125.111 hectáreas, pero por motivos sociales y económicos esta meta no se alcanzó (Valderrama, 1985).

Según Márquez y Guillot (1987), 16% de los embalses se encuentran en clima cálido (por debajo de los 1.000 msnm), 50% en clima templado (entre 1.000 y 2.000 msnm) y 34% en clima frío (por encima de los 2.000 msnm). Estos últimos tienen riesgos menores de eutrofización debido al tamaño de sus cuencas y al bajo número de habitantes en las mismas.

Problemas ambientales en los embalses:

Los problemas ambientales más graves detectados en los embalses colombianos están relacionados con corrosión, malezas acuáticas, mortalidad de peces, aguas residuales domésticas e industriales, contaminación por basuras y reducción de los caudales en las fuentes receptoras. El

Cuadro 1. Principales problemas que se presentan en los embalses colombianos

Problemas	Deterioro de la calidad del agua	Presencia de H ₂ S	Corrosión y/o abrasión	Malezas acuáticas	Mortalidad de peces	Sedimentación	Contaminación por basuras	Aguas residuales	Disminución de caudal
Total de embalses con información	15	15	16	15	15	18	14	14	16
Número de embalses afectados	4	4	8	5	4	8	5	5	6
Porcentaje de embalses afectados	26.6	26.6	50	33.3	26.6	44.4	35.7	35.7	35.7

Cuadro 1 muestra en número y porcentaje la presencia de estos problemas en algunos de los principales embalses colombianos. El **Cuadro 2** muestra el estado trófico de algunos de los embalses colombianos.

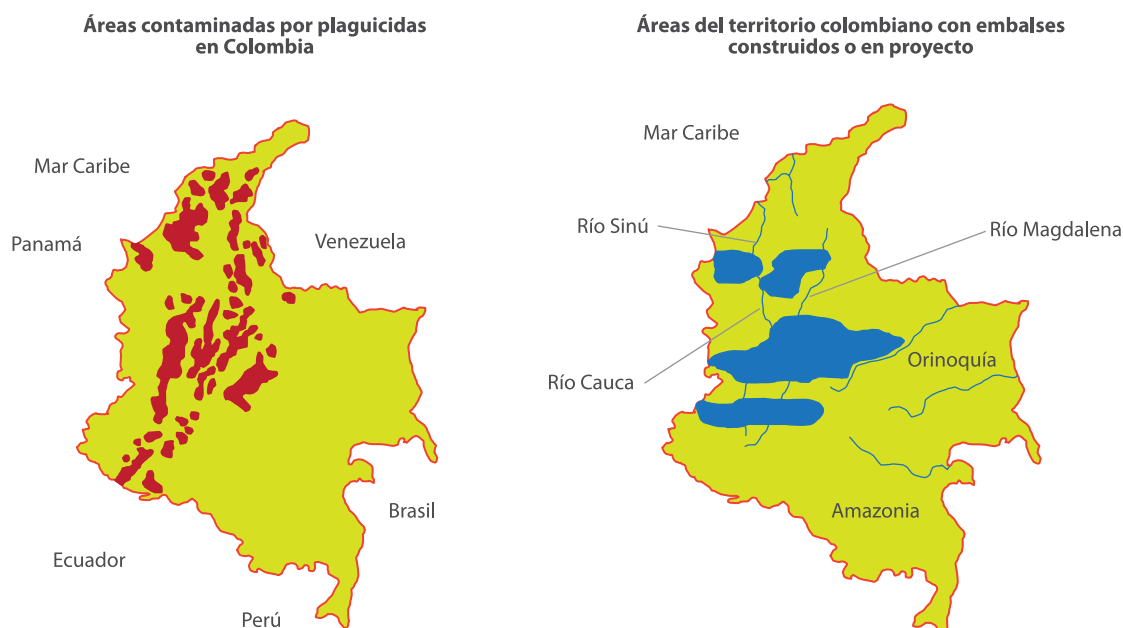
Corrosión. Se han reportado problemas de corrosión en los equipos de generación en varios embalses colombianos. En el embalse de El Peñol (Antioquia) tuvo que recurrirse a un sistema de aireación mecánica para mejorar la calidad química del agua a nivel de las torres de captación.

El agua anóxica cargada de hierro disuelto (Fe^{++}) y H_2S estaba causando graves problemas de corrosión a nivel de la casa de máquinas, lo que obligó a la entidad responsable a tomar este tipo de medidas. Medina (1983) hace un amplio análisis de este problema. También se presentan fenómenos de abrasión en aguas cargadas de sedimentos, hecho muy frecuente en los embalses tropicales, debido a la erosión de las cuencas y las fuertes lluvias. El embalse de Prado (Tolima) está estraificado químicamente, con alta producción de ácido sulfhídrico en un ambiente to-

Cuadro 2. Valores de disco Secchi y estado trófico de algunos embalses colombianos

Embalse	Disco Secchi	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
Betania (Magdalena)	1.02 - 2.89		x	x	
Betania (Yaguará)	1.02 - 2.89		x	x	
Calima	0.9 - 3.6		x		
La Esmeralda (Chivor)	0.09 - 1.3				
La Fe	1.02 - 2.89	x			
Muña	0.25 - 0.9			x	
Neusa	0.6 - 2.4	x			
Peñol (Guatapé)	0.9 - 2.5			x	
Prado	0.3 - 2.0				x
Punchina	0.8 - 3.0	x			
Sisga	0.4 - 1.3	x			
Tominé	0.25 - 0.45	x			

Figura 8. Áreas de mayor actividad antrópica y ubicación de los embalses



Fuente: Roldán, G. y E. Ruíz, 2001

talmente anóxico. Es tan grave el problema de corrosión causado que los túneles de conducción, recubiertos por un acero de alta resistencia, comenzaron a desmoronarse por efecto del metabolismo del ácido sulfhídrico y el hierro soluble por parte de las bacterias sulfurosas y ferruginosas.

Mortalidad de peces. Se han detectado muertes masivas de peces en embalses fuertemente eutrofizados, como es el caso de Prado (Tolima). Esta mortalidad se puede deber a la fuerte baja de oxígeno que se presenta durante la noche en este tipo de embalses eutróficos (Márquez y Guillot, 2001). También es frecuente encontrar una amplia gama de cianofíceas que podrían intoxicar los peces. Parece que lo más frecuente en la mortalidad se debe a la anoxia nocturna.

Problemas de sedimentación. Todos los embalses tienden a acumular sedimentos, pero la velocidad de colmatación depende de la cantidad de materiales sedimentables que llevan los ríos que lo alimentan, del estado de conservación de la cuenca que lo rodea y de la intensidad de las lluvias en la región. Debido al gran volumen de sedimentos que transportan los ríos en el trópico americano, los diseños de los embalses tropicales normalmente incluyen hasta un 40% de embalse muerto, o sea, una capacidad extra para garantizar una vida útil del embalse. En el trópico americano el arrastre de sedimentos se incrementa por las altas precipitaciones que erosionan los terrenos de fuertes pendientes, normalmente desprovistos de vegetación. El sedimento en los embalses también afecta la físico-química del agua, y especialmente la penetración de la luz, disminuyendo la zona eufótica y, por lo tanto, la capacidad fotosintética del embalse. También, cierto tipo de sedimentos atrapa los ortofosfatos disminuyendo de esta manera la productividad del embalse.

Los costos de construcción de un embalse son muy altos, por lo que su planeación en cuanto a los estimativos de sedimentos potenciales que pueden llegarle son fundamentales. El embalse de Anchicayá (Valle), previsto para una vida útil de 50 años, se colmató en 10 años, por lo que se menciona como un caso de tecnología descuidada (Allen 1972). El embalse de Betania es otro ejemplo de colmatación temprana; se calcula ya en siete años menos de vida útil, lo que significa sacrificar US 40 millones de dólares de ganancias por año, más los perjuicios sociales y económicos a la región (Márquez y Guillot 2001). Roldán *et al.* (2000) discuten el problema de sedimentos en el embalse de El Guavio (Cundinamarca). Plantean que para reducir los sedimentos en la casa de máquinas y en los túneles de conducción, se podría optar por subir la bocatoma; pero realizar esta operación, por ejemplo, de 1.490 a 1.520 msnm, significaría

una reducción de cerca del 1.0% en beneficio del proyecto; y si se subiera hasta la cota 1.540 msnm, la pérdida sería de cerca del 4.0%. El aporte de sedimentos trae consigo, además, aumento de turbiedad que limita la penetración de la luz y, por lo tanto, la actividad fotosintética.

Aguas residuales domésticas e industriales. Es éste quizás el problema más grave en la mayoría de los embalses colombianos. Sólo una mínima parte de los municipios tiene tratamiento de las aguas residuales domésticas, por lo que éstas se vierten directamente a los ríos y quebradas, depositándose finalmente en los embalses. Ésta es, por lo tanto, la principal fuente de eutrofización por el alto aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno principalmente). Es frecuente también el vertimiento de aguas residuales industriales, las que además contienen metales pesados y sustancias tóxicas. Se ha observado cómo un cinturón de macrofitas (*Eichhornia crassipes*) acuáticas en la cola del embalse, sirve como filtro efectivo para remover buena parte de la contaminación y los sedimentos aportados por las corrientes alimentadoras del embalse. El embalse de La Fe (Antioquia), cuya función principal es la de proveer agua potable para la ciudad de Medellín, recibía hasta la década de los 80 las aguas residuales del vecino municipio de El Retiro. El problema de eutrofización era tan crítico que debió construirse una planta de tratamiento de lodos activados, después de la cual el embalse comenzó a mostrar signos de recuperación muy significativos. Los embalses más afectados con este problema son los de Guatapé, Porce II, La Fe, Río Grande (Antioquia) y Tominé (Cundinamarca).

Disminución del caudal. Este aspecto aún ha sido poco estudiado en Colombia. Trujillo (1995), Hoyos (2002) y Cano (2004) realizaron estudios sobre los criterios y metodologías para la determinación de un caudal ecológico. Consideran que se requiere conservar un caudal mínimo para no afectar la estructura y composición de las comunidades acuáticas, preservar los procesos del metabolismo del ecosistema y la hidrología aguas abajo del embalse. La mayoría de los proyectos en Colombia no han tenido en cuenta este aspecto y es frecuente encontrar los cauces secos varios cientos de metros aguas abajo de la presa. Igualmente dicho cauce adquiere un color café pardo debido a las aguas turbinadas cargadas de hierro soluble, el cual se precipita sobre el sustrato una vez que se pone en contacto con el oxígeno del aire. Este hecho está asociado a los fondos anóxicos que poseen la mayor parte de los embalses en Colombia. También es muy frecuente que los cauces reduzcan su caudal o permanezcan secos la mayor parte del año, por el desvío de agua para la construcción de pequeños acueductos municipales y veredales.

6. Otros recursos (zonas inundables, pantanos, glaciares, páramos)

En cuanto a las zonas inundables, las características de la red de drenaje superficial que cubre el territorio nacional, determinan que en las cuencas bajas de los ríos, las zonas adyacentes a los cauces naturales son susceptibles de ser inundadas periódicamente por los ríos de origen aluvial, generalmente anchos y con un caudal de estiaje permanente, cuyas crecientes son inicialmente lentas y de larga duración.

En términos generales el área susceptible de inundación en Colombia supera los 102.000 km²; de esta área, la cuenca de los ríos Magdalena-Cauca representa menos del 25% del total, pero tiene una importancia especial porque allí se concentra el mayor componente poblacional del territorio nacional.

La superficie total de los pantanos en Colombia es de aproximadamente 200 km², y representa cerca de 2% del área continental de Colombia; se distribuye geográficamente, concentrándose en los departamentos de Amazo-

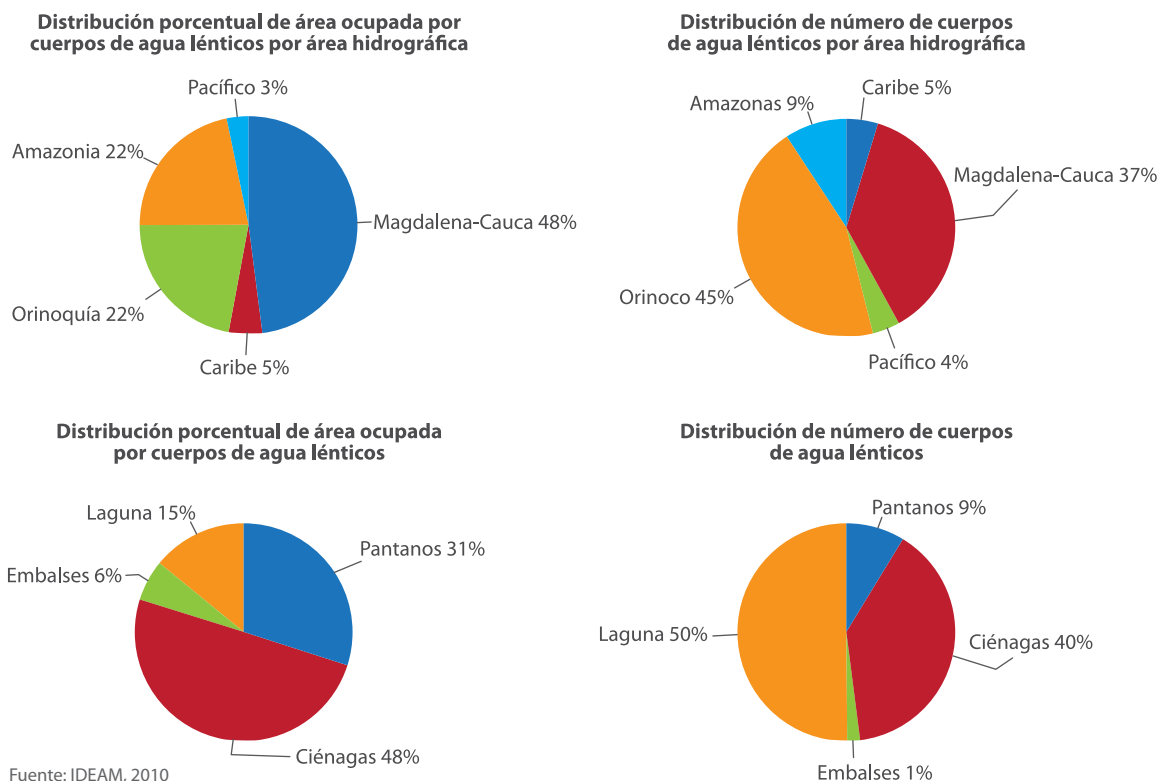
nas, Guainía y Guaviare, con un porcentaje equivalente al 60%. Aunque no ha sido posible establecer el volumen real de agua almacenada en las zonas pantanosas, se puede estimar considerando el espesor medio de 0.2 m (interfaz suelo-agua). Si se acepta la hipótesis anterior y que los pantanos contengan en promedio un 95% de agua, se puede estimar que el volumen total de agua en los pantanos colombianos es casi 11.500 millones de m³.

En Colombia se ha identificado un área cubierta por cuerpos de agua lénticos de aproximadamente 832 hectáreas. La distribución porcentual se describe en la [Figura 9](#).

A partir de los registros históricos, con información sobre niveles extremos en las diferentes estaciones hidrológicas, se evalúa la recurrencia con que estos eventos se presentan. En el [Cuadro 3](#) se presentan los niveles máximos para diferentes períodos de retorno.

En total, entre ciénagas y otros cuerpos de agua similares existen 5.622.750 hectáreas, las cuales se encuentran principalmente en los departamentos de Bolívar y Magdalena. Las lagunas representan cerca de 22.950 hectáreas y las sabanas inundables cubren una superficie total aproxima-

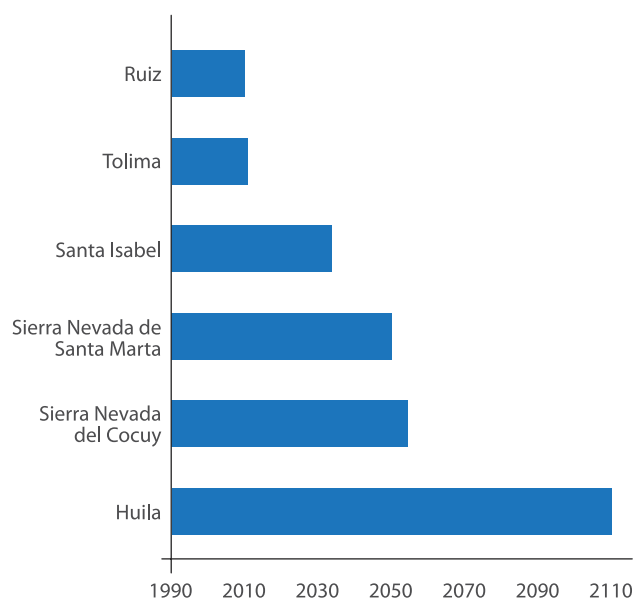
Figura 9. Distribución de cuerpos de agua lénticos en Colombia



Cuadro 3. Niveles máximos para diferentes períodos de retorno

Estación	Niveles máximos (cm)					
	2	5	10	20	50	100
Magdalena						
Pte. Santander	514	586	626	662	703	731
Purificación	701	748	775	799	827	846
Nariño	670	745	793	837	894	936
Pto. Salgar	516	552	582	617	670	718
Pto. Berrío	541	569	585	599	615	626
El Banco	839	887	908	922	937	946
Cauca						
La Balsa	334	393	429	462	502	531
Juanchito	536	610	651	685	725	752
Mediacanoa	574	616	635	649	664	673
La Victoria	670	751	796	834	878	908
Bolombolo	514	589	631	667	708	736
Pto. Valdivia	481	561	616	670	744	802
La Coquera	380	442	481	516	560	592
Las Varas	542	577	596	611	629	640
Sinú						
La Despensa	481	516	537	554	575	590
Mocarí	1460	1530	1590	1660	1760	1840
Montería	541	582	606	627	652	670

Fuente: IDEAM, 2008

Figura 10. Estimación de la desaparición de los glaciares colombianos

Fuente: Estudio de Alta Montaña Colombiana, Convenio IDEAM – UNAL 1997

da de 9.255.475 hectáreas, ubicadas en los departamentos del Amazonas, Guainia y Guaviare. Los bosques inundables representan aproximadamente 5.351.325 hectáreas y se localizan en la Orinoquía, Amazonía, Bajo Magdalena y en menos medida en la zona pacífica.

En términos de glaciares, en Colombia existen actualmente seis glaciares o nevados: a) Sierra Nevada de Santa Marta (5.775 m); en la cordillera central se localizan: b) Volcán nevado del Ruiz (5.400 m); c) Volcán nevado Santa Isabel (5.110 m); d) Volcán nevado del Tolima (5.280 m); e) Volcán nevado del Huila (5665 m); y f) Sierra Nevada el Cocuy (5.490 m) en la cordillera oriental.

Para 1997 ya habían desaparecido ocho pequeños nevados, y según estudios del IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia en 1997, se ha calculado la “posible desaparición de los glaciares colombianos” tal como se presentan en la [Figura 10](#) y donde se expresa aproximadamente el plazo de su existencia, calculado con base en las huellas dejadas por el hielo al final del Neoglacial (1850), fotografías aéreas de varias décadas y con datos recientes de campo. De este análisis se concluye que los nevados del Ruiz y del Tolima serían los más próximos a desaparecer y el nevado del Huila el más longevo; esta información variaría si, por ejemplo, se diera una reactivación volcánica, la cual aceleraría la deglaciación.

En cuanto a los páramos, según la información divulgada en el Primer Congreso Nacional de Páramos “Conservación con equidad” en 2009, Colombia posee el 49% de los páramos del planeta alcanzando una superficie de aproximadamente 1.932.987 hectáreas, ocupando el 1,7% de la extensión continental del país, aportando entre otros los servicios de abastecimiento del agua para el 70% de la población colombiana para consumo humano y el desarrollo regional. Situación que ratifica el carácter de este ecosistema como patrimonio natural de los colombianos y que cobra mayor significancia en función de las metas nacionales de los Objetivos del Milenio en lo relacionado a que se espera abastecer con agua potable a 7.7 millones de habitantes urbanos adicionales, y de su significado como derecho humano fundamental.

7. Aguas subterráneas

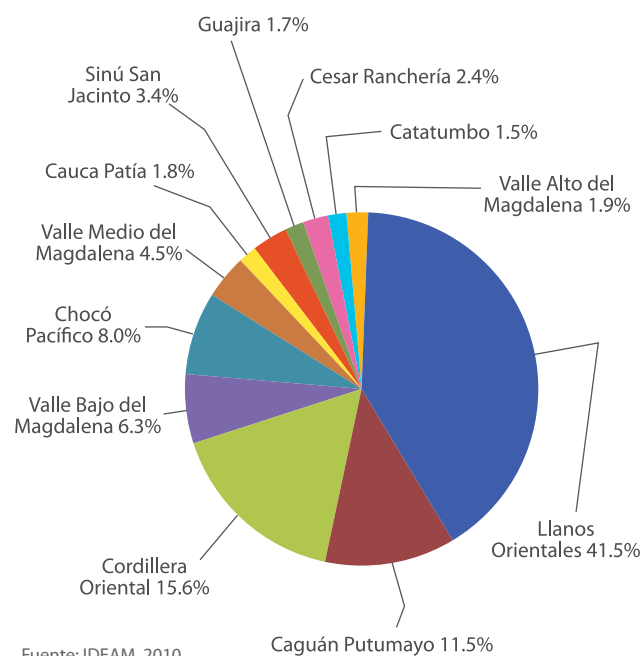
Según el IDEAM (ENA, 2000), los estudios hidrogeológicos en el país no abarcan más del 15% de todas las áreas con potencial de explotación de aguas subterráneas (414.375

km²), con unas reservas estimadas en 140.879 km³, equivalente a 70 veces el total de las aguas superficiales del país. La distribución de las reservas por provincias en Colombia, se presenta en la [Figura 11](#).

El mismo estudio, menciona que en Colombia se extrae agua subterránea de depósitos recientes y unidades sedimentarias terciarias y cretácicas mediante pozos, con profundidades que varían entre 50 y 300 m; sin embargo, esta información es aproximada, pues en la actualidad no existe un inventario total integrado ni un monitoreo del seguimiento de las captaciones subterráneas.

El Instituto Colombiano de Geología y Minería-Ingeominas, ha elaborado el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (en proceso de oficialización), las cuales abarcan el 39% del territorio colombiano. La potencialidad de los acuíferos se clasifica según su productividad, clasificándose como acuíferos de productividad muy alta los que tienen caudales ≥ 50 l/s (Valle del Río Cauca, Valle del Río Cesar, La Luna) y de productividad muy baja los acuíferos que tienen caudales ≤ 10 l/s (Sabana), como se muestra en la [Figura 12](#).

Figura 11. Distribución de las reservas de aguas subterráneas por provincias en Colombia



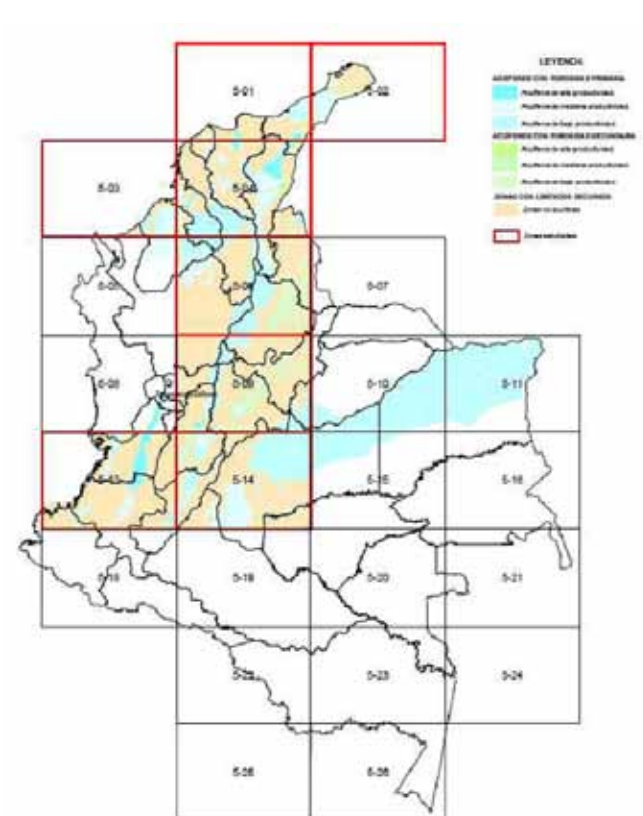
8. Las áreas marítimas colombianas

El 55% del territorio colombiano está representado por áreas marítimas ubicadas, la mayor parte, en el océano Pacífico y en el mar Caribe. La diferencia de altura en el nivel del mar es de 5 m en el océano Pacífico y de menos de 1 m en el mar Caribe. La fluctuación puede variar entre 1 y 15 m. Estas áreas, además de ser una riqueza material del país, son parte importante del patrimonio ambiental nacional.

El área marítima del Caribe corresponde, en Colombia, a una extensión de 65.800 km², cubriendo aproximadamente la quinta parte del territorio nacional; allí, la productividad del fitoplancton varía de acuerdo con las condiciones físicas, químicas y oceanográficas que predominan en determinada época del año. Esto quiere decir que durante el período de surgencia ocurre la mayor productividad, mientras que en su ausencia la producción disminuye.

El área marítima del océano Pacífico correspondiente a Colombia, tiene una extensión de 330.000 km² y en ella el proceso de surgencia eleva aguas de 100 m de profundidad; así mismo se presenta una capa de mezcla caracterizada por la turbulencia y la casi homogeneidad de la temperatura y la salinidad, y su profundidad llega hasta los 150 m. En este océano se presenta una productividad del fitoplancton

Figura 12. Clasificación de los acuíferos colombianos



mayor que en el mar Caribe, influenciada igualmente por las condiciones físicas, químicas y oceanográficas que predominan en determinada época del año.

En épocas recientes, el litoral Pacífico ha sido escenario de cambios ambientales asociados a procesos morfodinámicos como erosión, tsunamis, deslizamientos e inundaciones, procesos naturales que han afectado la población asentada, la infraestructura y los ecosistemas.

Las variaciones climáticas tales como el Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) y el calentamiento global, han influido en la dinámica litoral, incrementando la tasa de erosión de las costas y playas; adicionalmente, la intervención antrópica hace sus estragos, como el caso dramático del delta del río Patía, el cual fue desviado por intereses económicos por medio de un canal de 1,5 m para comunicar el cauce medio del río con el estero Sanquianga y el litoral pacífico; esto no sólo generó impactos sobre los sistemas naturales y los asentamientos, sino que con el paso del tiempo ese canal se fue convirtiendo en su cauce principal con 300 m de ancho y desviando su desembocadura más de 80 km. En la [Figura 13](#) se presenta una muestra de este problema.

El Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) genera un incremento de las temperaturas del océano Pacífico de 2 a 3°C por encima de lo normal, lo que produce cambios considerables en la dinámica del mar, dando lugar a una emigración masiva de las especies y una inmigración de otras poco comunes en estas áreas marítimas. Este cambio no solo repercute en las especies planctónicas y bentónicas, como el camarón, sino también en las especies de peces y

de otros animales con rutas largas de migración como las tortugas marinas y las ballenas.

En cuanto al fenómeno global de la elevación del nivel del mar, análisis realizados por el IDEAM, muestran una ligera tendencia al incremento del nivel del mar en Tumaco y Buenaventura en los últimos tres decenios. El incremento es del orden de 3 a 5 cm en los últimos 25 años, aumento que está acorde con las tendencias mundiales de incremento del nivel del mar, y aunque se trata de magnitudes pequeñas, debe ser manejado con precaución, dadas las características del litoral Pacífico colombiano.

Durante 1995-1999 en el Pacífico colombiano se desencadenaron fenómenos oceánicos asociados al Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) y al fenómeno Frío del Pacífico (La Niña). Los eventos Cálido de 1994-1995 y Frío de 1995-1996, no fueron tan marcados como el Fenómeno de El Niño 1997-1998 que presentó las mayores anomalías de temperatura de la superficie del mar de los últimos 50 años ([Figura 14](#)). Este evento se sintió con mayor fuerza en Tumaco y Buenaventura, donde el nivel medio del mar presentó en ambos sitios anomalías positivas de 30 cm.

■ 9. Usos del Agua

Según el Estudio Nacional de Agua (ENA) (2005), del IDEAM, el índice de disponibilidad per cápita de agua clasifica a Colombia ya no como una de las potencias hídricas del mundo, sino como el país número 24 en una lista de 182



Figura 13. Destrucción de las orillas del Río Patía por ensanchamiento del cauce



Figura 14. Inundaciones producidas por el Fenómeno de El Niño

naciones. Cada colombiano dispone de 40.000 m³ de agua al año, pero de no adoptar medidas para su conservación, esta situación generaría a futuro una situación indeseable en el marco del desarrollo sostenible de Colombia, agudizando la problemática del agua en Colombia de tal forma que para el año 2020, cada colombiano dispondría de un volumen potencial de agua igual de 1.890 m³/año.

En los ENA del IDEAM (2005, 2008 y 2010) se presenta el panorama sobre la distribución del consumo de agua por sector en el país, según los cuales en el año 2004 el uso agrícola demandaba el 59% del agua del país, en el 2005 sube al 61% y posteriormente se reduce al 55%, como se observa en la Figura 15.

Según el ENA (2005), Colombia no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso del agua ni ha contabilizado históricamente el agua consumida proveniente de fuentes superficiales, subterráneas y de los procesos de desalinización. Dichas mediciones permitirían evaluar la verdadera presión sobre el recurso que ejerce cada sector, haciendo énfasis en los volúmenes consumidos más que en los volúmenes captados.

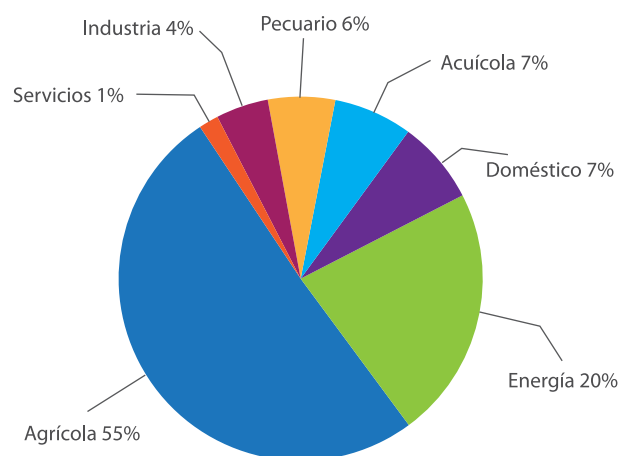
10. Calidad del agua

Con relación a la calidad del agua en el país, las fuentes principales de alteración son: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, aguas residuales de producción agrícola y ganadera, aguas lluvias, aguas de transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas y de

petróleo y sus derivados; obras de infraestructura, agua de lavado de los procesos de extracción minera, residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en cuerpos de agua. En la Figura 16 se presenta la distribución de los principales sectores aportes de carga contaminante a los ríos.

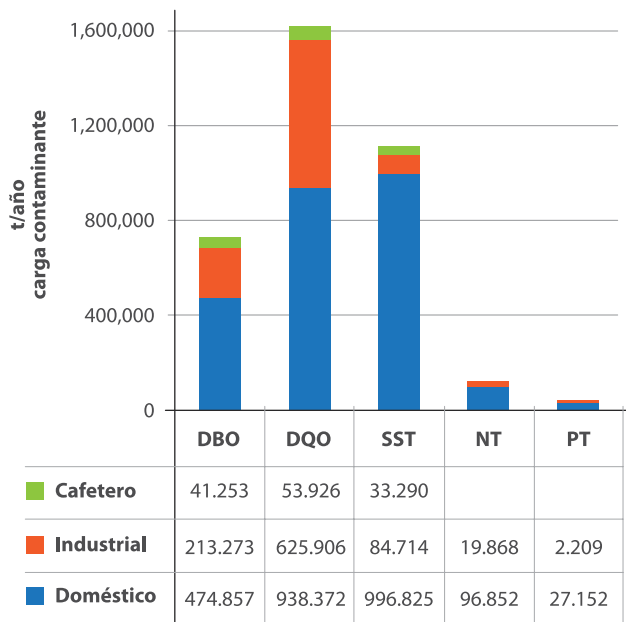
La densidad poblacional y la producción industrial se han establecido tradicionalmente en las áreas de influencia de las principales ciudades de Colombia, localizadas en la zona Andina, con la consecuente presión sobre los recursos de las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca. Los afluentes de estos ríos son los que reciben la mayor carga de alterógenos de la calidad del agua.

Figura 15. Participación sectorial en la demanda potencial de agua en Colombia



Fuente: IDEAM, ENA 2010

Figura 16. Cargas contaminantes vertidas a los sistemas hídricos por algunos sectores en 2008



Fuente: IDEAM, 2010

Según el estudio *Bases para la Formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales* (Universidad de los Andes-Ministerio de Medio Ambiente, 2002), un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67 m³/s, en donde Bogotá representa

más del 15.3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas, y marca una tendencia de impacto en las regiones.

Las áreas costeras presentan principalmente contaminación por desechos domésticos e industriales. La mayoría de las descargas domésticas son vertidas sin tratamiento previo a las aguas costeras o a los ríos, principalmente a los de la cuenca del río Magdalena, donde los ríos Cauca y Bogotá son los principales receptores de toda índole de contaminantes.

La industria nacional tiene su mayor peso ponderado en el sector alimenticio, que con sus efluentes líquidos con alto contenido de materia orgánica contribuyen, junto con la carga orgánica doméstica, a los procesos de alteración de la calidad del recurso hídrico, máxime si se considera que es muy bajo el porcentaje de industrias que aplican procesos de tratamiento a sus residuos antes de verterlos a las corrientes de agua.

La industria cementera modifica el recurso hídrico por el vertido de sólidos suspendidos, mientras que la industria petroquímica y carboquímica genera problemas al incorporar compuestos químicos complejos al recurso hídrico. Adicionalmente, el sistema de conducción de oleoductos y gasoductos es vulnerable, y los derrames de crudo modifican negativamente la calidad del agua y, por ende, la biota allí presente.

Cuadro 4. Inventario de cuencas hidrográficas en Colombia

Zonas	<10 km ²	10 a 100 km ²	100 a 1.000 km ²	1.000 a 5.000 km ²	5.000 a 10.000 km ²	10.000 a 50.000 km ²	50.000 a 100.000 km ²	>100.000 km ²
1. Pacífico y Atrato	91.500	3.900	153	26		4		
2. Bajo Magdalena Río Sinú	8.570	300	59	4				
3. Sierra Nevada de Santa Marta	19.100	170	47					
4. Baja y Alta Guajira	3.750	300	45					
5. Alto Magdalena	8.400	320	72	16	2			
6. Medio Magdalena	20.700	1.420	142	17	4	1		
7. Alto Cauca	7.321	370	51	4				
8. Medio Cauca	6.420	177	89	6	2			
9. Cabeceras ríos Meta y Arauca	11.605	216	25	4				
10. Catatumbo	11.420	284	27	5				
11. Sabanas, ríos Meta y Arauca	5.525	510	170	34				
12. Ríos Guaviare Vichada y Amazonas	520.000	18.900	430	33	16	10	2	3 (2)
Totales	714.311	26.867	1.310	149	24	15	2 (1)	5 (3)

Fuente: IDEAM, 2008

11. Vulnerabilidad de las cuencas

El sector manufacturero incluye la industria química, que emite sustancias químicas resistentes a la biodegradación. La industria farmacéutica, de plástico y de productos de síntesis contribuye a la degradación del recurso hídrico por el aporte de sustancias igualmente de difícil degradación.

La industria de extracción de petróleo y de metales preciosos e industriales genera, a través de las aguas de relave de sus minas y de los procesos de extracción, cantidades importantes de metales, hidrocarburos, partículas de carbón y sedimentos que se distribuyen difusamente en el recurso hídrico, transportándose incluso a distancias considerables de los puntos de emisión.

Estas condiciones de calidad, se suman a otras intervenciones antrópicas, como la ocupación del territorio y la tala indiscriminada de especies vegetales, para incidir en la regulación hídrica del país.

A partir del inventario de cuencas hidrográficas, el país se ha dividido en 12 zonas con características hidrológicas representativas, las cuales se presentan en el Cuadro 4. Colombia tiene el privilegio de compartir con Venezuela y Perú dos de los ríos más extensos y caudalosos del mundo, como son el Orinoco y el Amazonas.

Existe plena relación entre las zonas más pobladas del territorio nacional y las cuencas más vulnerables. Es notorio que esta situación se presente en las cuencas estratégicas, como las de los ríos Magdalena, Cauca, Bogotá, Sogamoso, Sierra Nevada de Santa Marta, Sinú y Cesar.

En el caso de las cuencas fronterizas, los gobiernos siempre han estado atentos a suscribir planes de acciones bilaterales para el desarrollo integral de dichas cuencas. En el Cuadro 5 se presenta el grado de vulnerabilidad de 45 cuencas nacionales.

Cuadro 5. Vulnerabilidad del medio natural en 45 cuencas

Código	Cuenca	Vulnerabilidad natural	Código	Cuenca	Vulnerabilidad natural
01	Alto Magdalena	4,4	24	Río Tomo-Tuparro	4,5
02	Sabana de Bogotá	4,0	25	Río Vichada	5,1
03	Medio Magdalena	4,0	26	Alto Guaviare	5,6
04	Río Sogamoso	3,6	27	Medio Guaviare	6,2
05	Bajo Magdalena	4,3	28	Bajo Guaviare	6,8
06	Río Cesar	4,2	29	Río Inírida	6,7
07	Alto Cauca	4,2	30	Río Atabapo	5,5
08	Medio Cauca	3,8	31	Río Guania	6,6
09	Bajo Cauca	5,0	32	Río Vaupés	6,8
10	Río Nechí	4,5	33	Río Apaporis	6,8
11	S.N. S. Marta - occidente	4,4	34	Alto Caquetá	5,1
12	Río Tolo	6,4	35	Bajo Caquetá	6,6
13	Río Atrato	6,2	36	Río Puré	6,9
14	Sinú-Caribe	4,4	37	Río Putumayo	6,6
15	S.N. S. Marta - norte	4,6	38	Río Mira-Guiza	5,6
16	Alta Guajira	2,0	39	Alto Patía	3,2
17	Baja Guajira	3,8	40	Bajo Patía	5,4
18	Río Catatumbo	3,9	41	Río Saquianga-Patía Norte	6,3
19	San Andrés y Prov.	3,3	42	Río Micay	6,1
20	Río Arauca	3,1	43	Río Cohanero-Dagua	5,7
21	Alto Meta	4,6	44	Río San Juan	6,3
22	Bajo Meta	3,1	45	Río Baudó y Directos	6,8
23	Río Vita	4,3			

Fuente: IDEAM

Teniendo en cuenta la alta vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua y considerando que el abastecimiento de agua para la población es uno de los sectores usuarios más importante, se definió como prioritario evaluar el comportamiento de la oferta hídrica en ellos.

Es importante tener en cuenta que un alto porcentaje de los acueductos del país se surten de pequeños ríos, quebradas y arroyos, lo cual determina una alta vulnerabilidad en las cuencas donde se producen esos aprovechamientos, especialmente en aquellas zonas con serios problemas por la típica distribución espacial y temporal del recurso hídrico, tales como la región Caribe, en particular en los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena y Bolívar, y en la región Andina, particularmente en los departamentos de Huila, Tolima, Valle del Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Santander del Norte, Santander y parte de Cauca y Nariño.

■ 12. Agua potable y saneamiento básico

En Colombia, la inadecuada planificación del uso y ocupación de los suelos ha contribuido al deterioro de las cuencas y, por ende, a la cantidad y calidad de la oferta hídrica. Por ello, acueductos de 140 municipios de 16 departamentos presentan vulnerabilidad por disponibilidad de agua debido a que, en muchos casos, las fuentes de suministro actuales corresponden a quebradas, cuyas aguas se han vuelto estacionales por la degradación de las cuencas.

Las fuentes de abastecimiento de agua en ciudades como Bucaramanga y Cúcuta, no logran suministrar los caudales mínimos demandados por los acueductos en épocas de estiaje. Situación aún más crítica se presenta en los municipios de Popayán, Palmira, Buenaventura, Maicao, Santander de Quilichao y Pamplona que han presentado déficit entre 15 y 30% en la oferta.

Lo anterior demuestra que, exceptuando algunas grandes ciudades del país, los sistemas de acueducto son vulnerables a riesgos de desabastecimiento debido a que el diseño, operación y mantenimiento de éstos se ven expuestos a eventos generados por el exceso o déficit de los caudales de las fuentes hídricas de abastecimiento, cambios climáticos o contaminación, derivados de un uso poco sostenible de los recursos naturales y a la inadecuada gestión del recurso hídrico.

Según el análisis hecho por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2006), los sistemas de tratamiento con que cuentan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado en las grandes ciudades (Bogotá, Medellín, Cali) permiten tratar sólo el 32% de las aguas residuales que se vierten a los cuerpos hídricos.

Aún más preocupante resulta el hecho de que ciudades como Barranquilla, Bucaramanga e Ibagué tengan porcentajes de tratamiento de 17%, 26% y 11%, respectivamente, en tanto que ciudades como Cartagena, Cúcuta, Pereira, Manizales, Neiva, Pasto, Valledupar, Popayán, Palmira, Florencia, Sincelejo, Buenaventura, Piedecuesta, Tulúa, Armenia, Tunja, Rionegro, Cartago, Sogamoso y Girardot no realicen ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales.

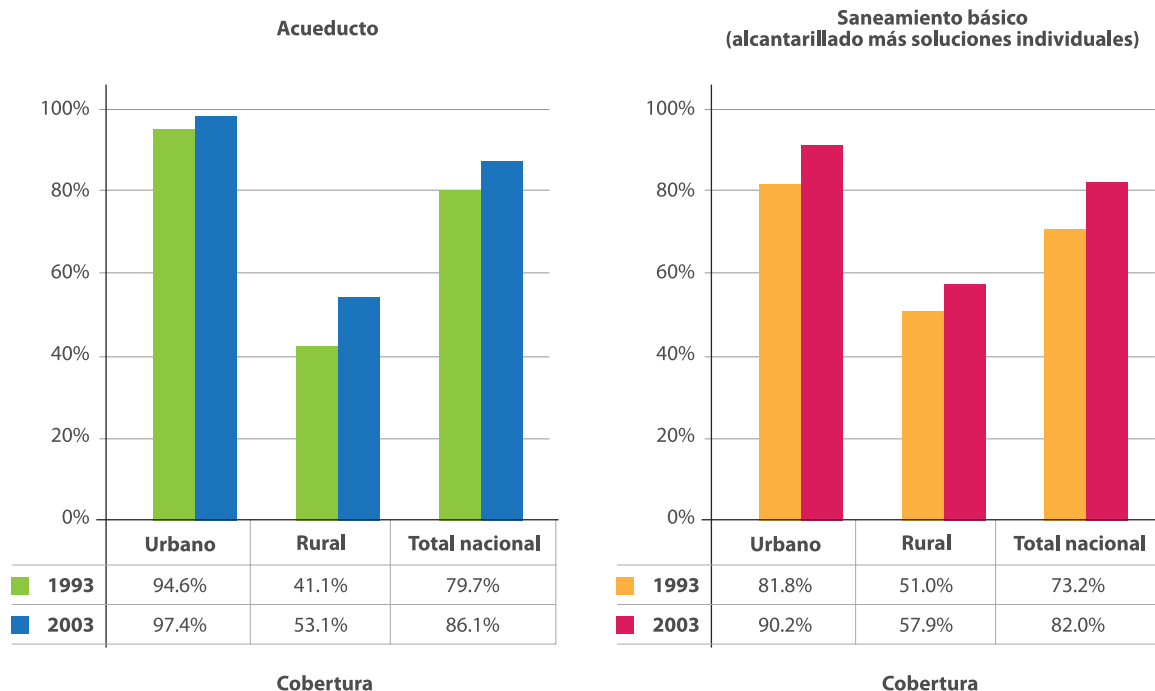
Es decir, el rezago del país frente al tratamiento de aguas residuales se debe tanto a la inexistencia de infraestructura de sistemas de tratamiento, como a la baja cobertura de las plantas existentes. Sólo 354 (33%) municipios del país cuentan con sistemas de tratamiento, y se sabe que el 29% de ellos no se encuentran operando. Se ha estimado que, de los 159 m³/seg de agua captados a nivel nacional, el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento es cercano a 5 m³/seg., equivalente a 3,1% del volumen mencionado.

Como resultado del deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, la baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua, "hay 17'736.687 colombianos que no recibieron agua apta para consumo humano durante el primer trimestre del 2007".

Es preciso mencionar el alto grado de vulnerabilidad en que se encuentran los acueductos municipales. Durante 2007, "cerca de 200.000 habitantes fueron afectados por eventos de inundación (o colapso operativo del sistema de alcantarillado), alrededor de 500.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto, como consecuencia de avalanchas, incremento en los niveles de turbiedad de los ríos, taponamiento o colapso de captaciones y poco más de 20.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto como consecuencia de deslizamientos de suelos que comprometieron la estabilidad de alguna de las estructuras de prestación de dicho servicio".

A la fecha, el país adolece de un plan para la reducción de esta vulnerabilidad; no se cuenta con estudios ni inventarios sobre este tema.

Figura 17. Cobertura de acueducto y alcantarillado en Colombia



Fuente: MAVDT, Presentación "Abastecimiento de agua y alcantarillado en comunidades rurales en Colombia", Dirección de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental, 2006

Los estudios que se han realizado sobre la problemática de acceso a los servicios básicos como agua potable y saneamiento, han señalado que a pesar de los esfuerzos realizados por la Nación, especialmente desde el año 2001, implementando un programa de reforma de abastecimiento de agua y saneamiento para ampliación de cobertura de los servicios de acueducto y alcantarillado, aún persisten problemas relacionados con la calidad y el acceso en grandes zonas del país.

Los últimos datos sobre cobertura tanto en la zona rural como urbana en acueducto y alcantarillado se muestran en la Figura 17.

En Colombia el problema de agua en las zonas urbanas no es de infraestructura, ya que en términos generales existe buena cobertura, sino de acceso a agua potable, en términos de calidad y continuidad. En cuanto a la calidad del agua suministrada, la realidad es diversa. En ciudades grandes e intermedias se han logrado niveles de calidad excelentes y satisfactorios; sin embargo, en muchos municipios de menor tamaño se siguen presentando serias deficiencias con respecto a los parámetros establecidos en la normatividad vigente. Los problemas de calidad del agua están relacionados con la baja capacidad institucio-

nal, operativa y financiera de las empresas pequeñas, que se refleja en el deficiente desarrollo de infraestructura, compra de insumos de potabilización y formación de capital humano. En las zonas rurales las problemáticas sí corresponden a la cobertura en infraestructura, al igual que al acceso a agua potable por calidad y continuidad.

En cuanto a tratamiento de aguas residuales, entre los años 2002 y 2006 ha habido un importante avance en el número de municipios que cuentan con sistema de tratamiento de sus aguas residuales-STAR, al pasar de 218 en el 2002 a 355 en el 2006; no obstante, esta última cifra sólo representa el 32.33% de los municipios del país (incluido el Distrito Capital), lo cual se puede calificar como una baja cobertura.

También vale destacar el caso de los departamentos con más de 100 municipios, como Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, cuyo porcentaje de municipios con STAR en el año 2006 es de 31.2%, 20.83% y 38.79%, respectivamente, valores que están por debajo del promedio nacional (41.39%), lo que muestra por un lado un atraso con respecto a otras regiones del país debido, muy seguramente, al enorme esfuerzo que implica proveer del servicio a un número mayor de poblaciones.

De otro lado, el caudal tratado por estos sistemas en el año 2006 se presenta en el Cuadro 6.

En este contexto es conveniente indicar que si bien hay un número importante de STAR implementado o en proceso de ello, la operación y mantenimiento de estos sistemas se

convierten en otros de los grandes retos, pues sólo el 51% de ellos presenta un funcionamiento bueno o regular. Esta situación se debe en parte al desconocimiento, o a la poca importancia, que se le da a la operación y mantenimiento de estos sistemas, pues se cree que el problema se soluciona con la construcción de la infraestructura. Otra de las causas de esta situación, es la falta de sostenibilidad financiera de los sistemas, pues el 77% de los casos no ha elaborado un estudio de impacto tarifario, y en el 80% de los casos no se han utilizado las metodologías establecidas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA); esta situación implica que los STAR construidos no tienen garantizada su sostenibilidad.

Cuadro 6. Caudal de agua residual municipal tratado

Departamento	Caudal (m ³ /s)	Cobertura PTAR construidas (%)	Caudal tratado (m ³ /s)
Amazonas	0,11	50,0	0,06
Antioquia	8,59	20,8	1,79
Arauca	0,39	50,7	0,20
Atlántico	3,42	26,1	0,89
Bogotá D.C.*	18,6	21,5	4,0
Bolívar	3,22	8,9	0,29
Boyacá	2,16	18,7	0,4
Caldas	1,76	7,4	0,13
Caquetá	0,67	0,0	0,0
Casanare	0,46	26,3	0,12
Cauca	2,01	48,8	0,98
Cesar	1,54	60,0	0,92
Chocó	0,64	0,0	0,0
Córdoba	2,11	28,6	0,6
Cundinamarca	3,44	40,5	1,39
Guainía	0,06	100,0	0,06
Guaviare	0,19	25,0	0,05
Huila	1,48	5,4	0,08
La Guajira	0,77	78,6	0,61
Magdalena	2,06	23,1	0,48
Meta	1,12	10,3	0,12
Nariño	2,62	4,8	0,13
Norte de Santander	2,16	15,0	0,32
Putumayo	0,53	0,0	0,0
Quindío	0,9	33,3	0,3
Risaralda	1,51	0,0	0,0
San Andrés y Providencia	0,12	0,0	0,0
Santander	3,13	13,8	0,43
Sucre	1,27	62,5	0,79
Tolima	2,05	68,1	1,4
Valle del Cauca	6,68	35,7	2,38
Vaupés	0,04	33,3	0,01
Vichada	0,14	0,0	0,0
Colombia	75,95	27,79	18,93

Fuente: MAVDT, Grupo Recurso Hídrico con base en información de: a) Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales-PMAR, publicado en junio de 2004; b) Inventario realizado por el MAVDT en el marco del SINA, en el año 2006

13. Agua y salud humana

La carencia de agua potable y saneamiento básico en grupos de población con bajas condiciones de vida, constituye el principal origen de muchas de las enfermedades y es uno de los principales factores de riesgo para contraerla. La ausencia de una adecuada disposición de excretas (alcantarillado, pozos sépticos, tazas sanitarias), asociado con la falta de educación, propicia la aparición de enfermedades. La consecuencia más grave es la persistente mortalidad y el incremento de la morbilidad por causa de las enfermedades infecciosas de origen hídrico entre la población infantil en la mayoría de los municipios del país, constituyéndose en uno de los costos más elevados de la degradación ambiental en Colombia.

Según datos de la Procuraduría General de la Nación, 12.7 millones de colombianos aún carecen de servicios de acueducto y alcantarillado, a pesar de que el Gobierno ha transferido en los últimos 10 años un total de \$117.5 billones (aproximadamente 53.000 millones de dólares), de los cuales \$7.2 billones (aproximadamente 3.000 millones de dólares) se asignaron al sector de agua potable.

En resumen, se puede asegurar que persiste una alta morbilidad y mortalidad por enfermedades bacterianas de origen hídrico, de las cuales la diarrea crónica es la más común y generalizada, a pesar de la inversión de los recursos provenientes del Sistema General de Participación (SGP), regalías y otras fuentes.

Según datos de Ernesto Sánchez-Triana, *et al.*, (2006), tomados del DANE, en Colombia aproximadamente el 7.2% de la mortalidad infantil es atribuible a enfermedades diarreicas, y la prevalencia diarreica de dos semanas en niños

14. Proyecciones de demanda y oferta para 2015 y 2025

menores de cinco años es del 2,9%, donde el 90% de los casos y las hospitalizaciones consiguientes se atribuyen a problemas relacionados con la calidad del agua, saneamiento e higiene.

El CONPES 3343 ha establecido que el costo promedio en salud pública debido a las “inadecuadas condiciones de abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene asciende a \$1.96 billones (aproximadamente 890 millones de dólares)”.

Adicionalmente, las condiciones de vida y la ubicación geográfica de nuestro territorio en las regiones tropicales favorece la alta incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria y el paludismo.

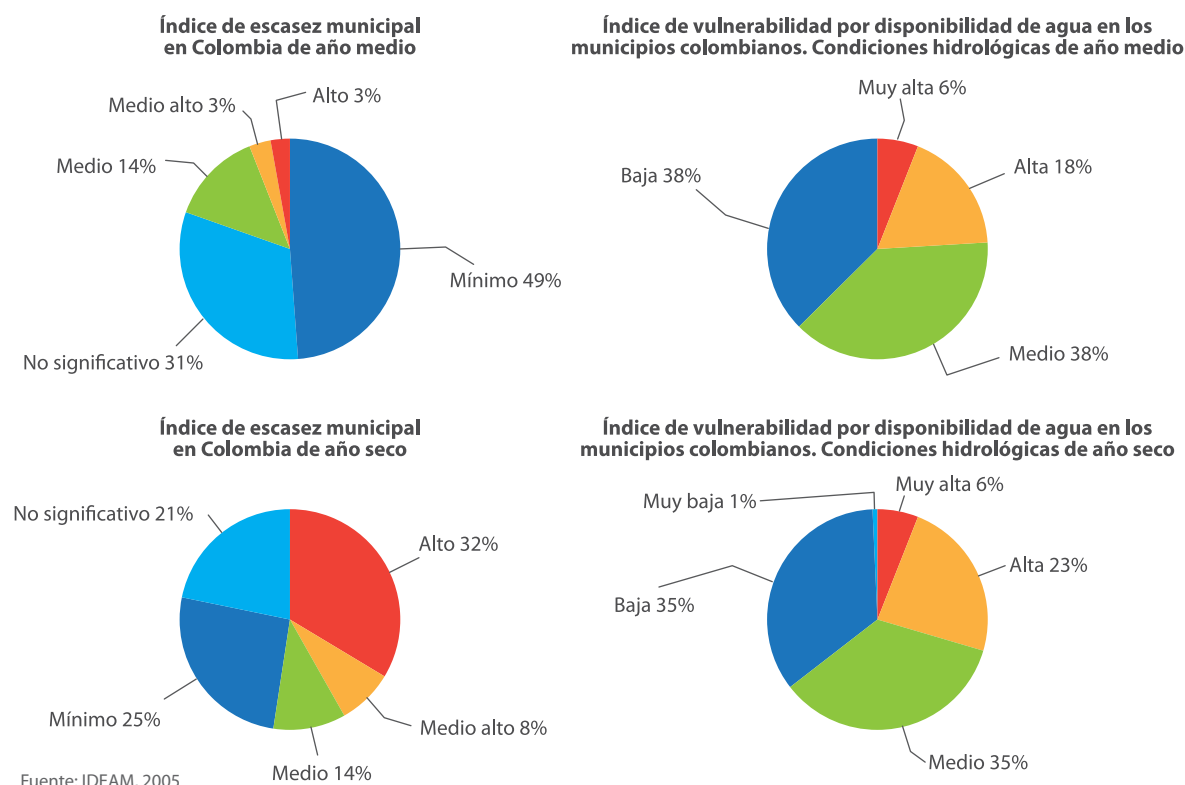
Los dengues son en la actualidad un grave problema para la salud de la población del país, particularmente en aquellas zonas ubicadas a menos de 1.800 msnm, donde habita el mosquito trasmisor de la enfermedad.

En la actualidad una buena parte de los municipios y regiones del país gozan de un adecuado abastecimiento de agua, en concordancia con la buena disponibilidad del recurso que caracteriza la mayor parte del territorio colombiano; sólo un porcentaje relativamente bajo de los municipios colombianos presenta índices de escasez altos, tal como se presenta en la [Figura 18](#). Se estima que hacia el futuro este panorama podría variar considerable y aceleradamente, en especial, en aquellas áreas más densamente pobladas.

En los próximos años no sólo seguirá aumentando la demanda de agua para los usos humanos y económicos, sino que –lo más grave– la oferta aprovechable del recurso puede reducirse, de continuar las tendencias actuales de deforestación y la ausencia casi total de tratamiento de las aguas residuales.

De acuerdo con estas condiciones, para la obtención de la oferta con proyección a 2015 y 2025 se realizó el cálculo

Figura 18. Índices de escasez y vulnerabilidad por disponibilidad del agua en Colombia



disminuyendo la oferta aprovechable en 2% anual, una estimación aproximada de lo que podría suceder en el futuro. Con relación a la población, para este estudio se utilizaron las proyecciones para 1995 hasta 2005 calculadas por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y las proyecciones de los escenarios poblacionales para 2015 y 2025 calculadas dentro del convenio DEAMCIDSE (Universidad del Valle, Cali), según metodología de diferenciales de crecimiento urbano rural con la utilización de la fórmula logística.

Para otros sectores usuarios considerados (industrial, comercial, pecuario y agrícola), la proyección se hizo con una tasa de crecimiento de 3%, tomando como base la demanda potencial de agua de 2000. Este crecimiento de 3% se estableció tras considerar que hacer proyecciones a más de 25 años implica crear por lo menos tres escenarios relativos al crecimiento del PIB, según sus diversos sectores: uno, muy expansivo, del orden del 6%; otro, relativamente recesivo, del orden del 2%, y finalmente, uno promedio que se aproxime al valor medio histórico del PIB en los últimos 20 años. Este último escenario, que en realidad se

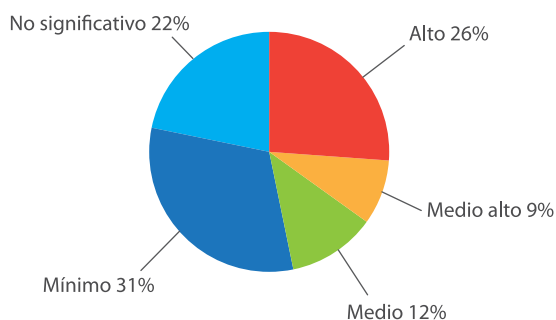
acerca al promedio histórico (2.6%) para 1980-1998, puede tomarse como punto de referencia para proyectar la demanda más probable de agua. No obstante, se podría establecer una relación econométrica más precisa cuando se tengan series más extensas sobre consumos de agua y los crecimientos sectoriales del PIB.

En vista de que la proyección para 2015 y 2025 de la oferta de agua para abastecimiento se hizo disminuyéndole un 2% anual, y para la demanda, incrementándole un 3% anual, el índice de escasez (presión de la demanda sobre la oferta) muestra una tendencia de ascenso paulatino, lo que hace prever que en el futuro la disponibilidad de agua llevará a una situación delicada de abastecimiento.

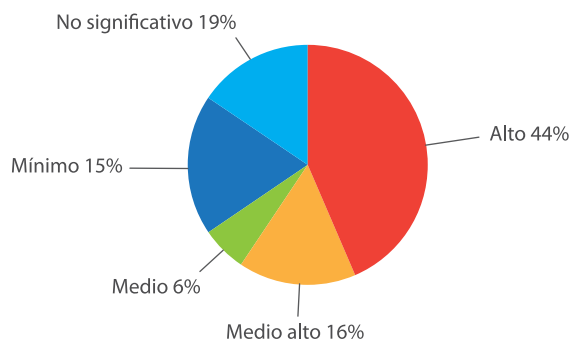
Esto indica que el índice de escasez en el ámbito municipal presenta para los años 2015 y 2025 un incremento considerable de municipios en el grupo de los índices altos. Esto muestra también que los 1.7 millones de colombianos clasificados dentro de esta categoría en 2000 se elevarán a 13.8 millones en 2015, y podrían alcanzar los 17.5 millones en 2025, o sea, el 30% de la población total del país

Figura 19. Proyecciones del índice de escasez de agua en Colombia en 2015 y 2025

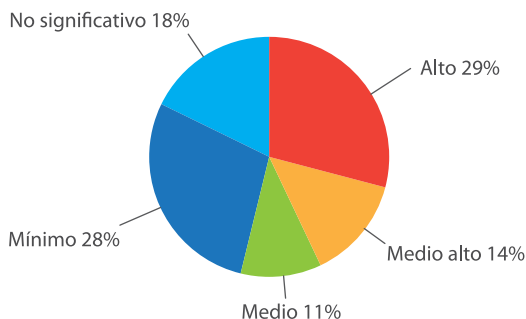
**A. Índice de escasez municipal en Colombia
condición hidrológica de año seco, proyección a 2015**



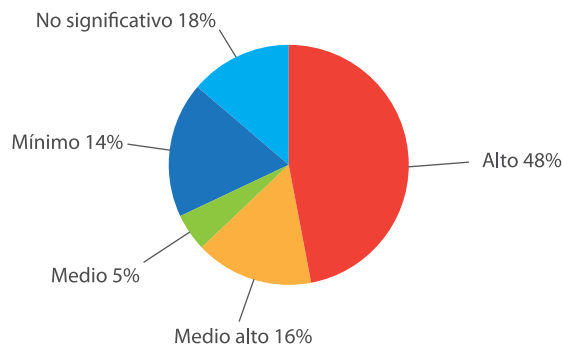
**C. Índice de escasez en cabeceras municipales colombianas
condición hidrológica de año seco, proyección a 2015**



**B. Índice de escasez municipal en Colombia
condición hidrológica de año seco, proyección a 2025**



**D. Índice de escasez en cabeceras municipales colombianas
condición hidrológica de año seco, proyección a 2025**



Fuente: IDEAM, 2005

proyectada para ese año. En los niveles de escasez medio alto y medio la progresión es similar, mostrando que la presión de la demanda sobre la oferta es cada vez más significativa y que en estas tres categorías estaría comprometida más del 55% de la población colombiana (Figura 19, gráficos A y B).

De las cabeceras municipales, 38 aparecen en el año 2000 en la categoría del índice de escasez alto, mientras que en 2015 este número se incrementa a 72 cabeceras, para llegar luego, en 2025, a un total de 102. La situación para los índices medios altos en el 2000 afecta a 48 cabeceras, en 2015 a 101, en tanto que en 2025 la proyección es de 138 cabeceras, que corresponden a 13% del total de los municipios del país; de este valor, 70% pertenece a la zona Andina.

En los valores medios del índice de escasez se observa una tendencia semejante a la de las categorías anteriores: en general, la población afectada en esta proyección puede duplicarse para los índices altos y medio altos, mientras que, según el análisis de los índices medios, su número tiende a disminuir porque la mayoría de cabeceras municipales pasa a las categorías más críticas, con índices de escasez altos y medio altos (Figura 19, gráficos C y D).

15. Agua, energía e impactos ambientales

En Colombia existen cerca de 34 embalses con volúmenes mayores de 1 Mm³, cerca de 29 embalses medianos y numerosos embalses pequeños. El 82 % de los embalses tienen por finalidad la generación de energía eléctrica. El volumen total embalsado es de cerca de 10.724.5 Mm³ y su área total de 48.881 hectáreas (Roldán, 1992; Márquez & Guillot, 2001; Roldán y Ramírez, 2008). Sus áreas varían entre 56 y 16.000 hectáreas, se ubican entre los 70 y 3.800 msnm; su capacidad de generación oscila entre los 21 y 1.240 MW, y los tiempos de residencia varían entre 1.6 y 1.995 días. La producción actual de energía representa apenas cerca de un 10% del potencial hidroeléctrico de Colombia, por lo que se espera para un futuro a mediano y largo plazo una gran actividad en este campo, con los consiguientes impactos ecológicos, económicos y sociales que este tipo de proyectos conlleva. El Cuadro 7 presenta las características de los 26 principales embalses en Colombia.

16. Gobernanza del agua

Actualmente Colombia está haciendo una de las mayores inversiones del Plan de Desarrollo en el sector de agua potable y saneamiento básico, con el objetivo de ampliar muy significativamente la población con acceso a estos servicios como una contribución fundamental para la equidad, la salud y la lucha contra la pobreza. Bien vale la pena analizar formas de administración de estos nuevos sistemas que garanticen que los resultados de este gran esfuerzo nacional den los frutos que de él se esperan. Si bien es cierto que la construcción de la infraestructura es esencial y necesaria, no es suficiente para cumplir con los objetivos finales previstos.

Las reformas económicas basadas en la liberalización y la descentralización, plantearon un cambio en el papel del estado de proveedor de servicios públicos a regulador y facilitador de su prestación, y consideraron conveniente dar un rol más protagónico al sector privado en el sector del agua, con el ánimo de corregir las dificultades que se presentaban en su gobernanza, aduciendo su mayor eficiencia y posibilidad de acceder a nuevas fuentes financieras y tecnológicas para mejorar y ampliar los servicios. La ola privatizadora, especialmente en el sector de agua potable, se extendió rápidamente por el mundo en los primeros años de la década de los 90, aumentando la participación del sector privado, prácticamente inexistente en 1990, hasta llegar a 2.350 operadores privados a nivel mundial en 1993. Los países latinoamericanos optaron por seguir con mayor o menor intensidad esta línea.

La evaluación de la estrategia de privatización de los servicios de agua presenta resultados disímiles pero en general poco satisfactorios. Las políticas de privatización muestran sus beneficios en las zonas con usuarios urbanos con ingresos medios y altos, pero han fracasado en el ámbito de los usuarios con escasa capacidad de pago, generando complejas situaciones e incluso a la alteraciones del orden público, en casos como los de Cochabamba y El Alto en Bolivia, y la terminación anticipada de contratos, como el de la planta de tratamiento de aguas de Bogotá, por ser excesivamente onerosos y poco eficientes.

La privatización ha sido útil en la mejora de la eficiencia de los sistemas de distribución y en la reducción del caudal de agua no facturada, pero no lo ha sido en temas referentes a la equidad en la distribución del recurso, en la ampliación de los servicios, en el tratamiento de las aguas residuales y en

la conservación de los ecosistemas productores. La contribución del sector privado a la eficiencia de la prestación de servicios relacionados con el agua potable y el saneamiento básico puede ser conveniente y significativa, pero es fundamental para ello que el papel de regulación y control del Estado sea claro y se ejerza con eficacia y transparencia.

Como consecuencia de las experiencias anteriores, desde mediados de la presente década se nota la tendencia a revertir la ola privatizadora de los servicios de agua potable. Las multinacionales del agua se están retirando de los países en desarrollo y concentrándose en los países desarrollados, que ofrecen menos riesgos políticos y financieros.

Cuadro 7. Características más importantes de los embalses en Colombia y su capacidad de producción de energía

Embalse	Año	Río principal	Z max. (m)	Área/ha	Perímetro (km)	Cota max. (niv. max.)	Cap. Inst. (MW)	Vol. útil total (mm ³)	Caudal (m ³ /s)	Residencia (días)	Propósito
Alto Anchicayá (Valle)	1974	Anchicayá	132	140	25	640	345	30	99	3.5	Energía
Bajo Anchicayá (Valle)	1959	Anchicayá	53	-	-	195	64	15	110	1.6	Energía
Betania (Huila)	1987	Magdalena	91	7400	-	561	510	1020	786	15	Energía y control
Calima (Valle)	1967	Calima	98	1980	-	1400	120	438	76	66.6	Energía
Chuzá (Cundinamarca)	1983	Chingaza	27	98	-	3850	-	225	13	200.2	Acueducto
Guatapé (Antioquia)	1973	Nare	60	6365	419	1887	560	1169	88	153.7	Energía
Guájaro (Atlántico)	1964	C. del Dique	4	16000	-	60	-	238	-	-	Riesgo
Guavio (Cundinamarca)	1993	Guavio	232	1530	15	1630	1000	1140	72	183.2	Energía
La Esmeralda (Boyacá)	1976	Bata	226	1260	83	1277	1000	634	160	45.8	Energía
La Fe (Antioquia)	1972	Las Palmas	30	1426	8	2155	16	12	8	17.3	Acueducto y energía
Miel 1 (Caldas)	2002	La Miel	188	2050	-	445	400	565	-	-	Energía
Miraflores (Antioquia)	1965	Tenche	63	800	47	2062	-	140	18	90.8	Energía
Muña (Cundinamarca)	1944	Bogotá	5	933	-	2580	36	10	1	115.7	Energía
Neusa (Cundinamarca)	1951	Neusa	11	950	-	2997	190	106	2	613.2	Acueducto
Playas (Antioquia)	1987	Guatapé	65	702	-	980	200	47	126	4.3	Energía
Prado (Tolima)	1973	Prado	90	3900	-	370	55	500	115	50.3	Energía
Porce II (Antioquia)	2001	Porce	118	890	-	922	392	82	201	4.7	Energía
Punchiná (Antioquia)	1984	Guatapé	65	340	17	775	1240	50	142	4.1	Energía
Río Grande (Antioquia)	1989	Río Grande	59	1100	-	-	325	100	50	23.1	Energía y acueducto
Río mayo (Nariño)	1969	Mayo	16	56	-	1500	21	450	11	473.3	Energía
Salvajina (Cauca)	1985	Cauca	148	2031	102	1155	270	753	350	24.9	Energía y control
San Lorenzo (Antioquia)	1987	Nare	57	1070	42	1250	170	180	40	52.1	Energía
Sisga (Cundinamarca)	1951	-	15	676	-	2780	-	101	3	389.5	Acueducto
Tominé (Cundinamarca)	1962	Tominé	19	3690	-	2605	-	690	4	1995.0	Acueducto
Troneras (Antioquia)	1962	Guadalupe	37	465	35	1775	36	36	26	16.0	Energía
Urrá I (Córdoba)	2000	Sinú	73	7400	-	128	340	1200	700	19.8	Energía y control

Tomado de: Roldán y Ramírez, 2008

Si bien es cierto que el debate sobre la prestación de los servicios públicos relacionados con el agua por parte del Estado o por el sector privado sigue vigente, es importante identificar nuevos papeles para las diferentes partes interesadas y poder así ampliar la gama de prestadores de estos servicios.

Las experiencias internacionales y de las organizaciones de la sociedad civil, concluyen que los gobiernos y las entidades multilaterales no han dado la importancia debida a otras formas de administración del agua que permitan superar el debate de la conveniencia de la gobernanza pública o privada, que está cargado de inevitable sabor ideológico, para explorar otras formas organizativas más abiertas, como asociaciones público-privadas y organizaciones de usuarios que han probado su eficiencia en distintos países, y en particular en casos de manejo de acueductos rurales y poblaciones pequeñas, en los que han contribuido de manera muy eficaz a la equidad en el acceso al agua, a la mejora de las condiciones de vida y a la reducción de la pobreza.

■ 17. Política y legislación de aguas en Colombia

En Colombia la preocupación por el recurso hídrico se hace relevante a partir del momento en que comienzan a generarse, en el ámbito mundial, conferencias, congresos y encuentros en torno al tema ambiental. Partiendo de la conceptualización del término 'medio ambiente' como todo aquello que circunda los organismos vivos para que puedan desarrollarse, el agua aparece como elemento vital para la vida, es decir, como principio generador. En este sentido, el uso ineficiente del agua y la degradación de su calidad constituyen uno de los principales obstáculos para avanzar por el camino de la sostenibilidad ambiental, económica y social.

En el país hasta hace unos pocos años aún se creía que el agua era un elemento perenne en el desarrollo, dadas las características de biodiversidad y abundancia que se poseen, y no se alcanzaba a relacionar y dimensionar las consecuencias surgidas de la relación hombre-naturaleza de orden ancestral que se han manejado en nuestra cultura. El agua se convirtió en elemento direccionador de los asentamientos humanos, tanto a nivel rural como urbano, bajo la estructura de aportante, y no como elemento de protección y conservación. Se llega así a participar de la preocupación mundial por dicho elemento, y Colombia

empieza a planificar en torno al mismo, basado en lineamientos de orden internacional que abogan por un manejo más integral y globalizado.

Desde la Cumbre de Estocolmo en 1972, el informe Brundland señala aspectos relevantes y definitivos para el desarrollo sostenible, bajo un imperativo ético de conservación. Luego, en la Cumbre de Río se reafirman unos principios únicos de manejo de los recursos naturales bajo unos parámetros de gestión y acción conjunta global desde las diferentes áreas de desarrollo: social, económica y política.

Retomando las disposiciones surgidas de estas cumbres mundiales, Colombia entra en la etapa de generación de un ente que lidere el tema ambiental, y se crea así el Ministerio del Medio Ambiente a través de la Ley 99 de 1993; antes de la creación de este Ministerio, entidades como el INDERENA, el Ministerio de Salud, entre otras, realizaban algunas funciones ambientales. Se convierten en acciones de este Ministerio la definición de Lineamientos de Políticas para los diversos aspectos que involucran el medio ambiente. Entre ellos se encuentran:

- Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua, 1995.
- Bases para una Política Nacional de Población y Medio Ambiente, 1998.
- Estrategias para un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Lineamientos para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio, 1998.
- Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia, 2000.
- Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, 1994.
- Política Nacional de Educación Ambiental, 2002.

En el 2004 se tiene la directriz del gobierno de sacar adelante un nuevo proyecto de Ley del Agua, el cual finalmente no prosperó. El objetivo de la ponencia tenía como objetivos: "Fomentar una cultura frente al agua para asegurar su uso eficiente y sostenible; establecer los lineamientos principales para regular su explotación, su uso y su aprovechamiento; garantizar a la población el acceso al agua, en la cantidad y calidad adecuadas; otorgar competencias administrativas y de control en los distintos niveles con el fin de proteger el recurso hídrico y darle al agua un valor adecuado para garantizar su correcto uso y controlar su disposición final".

Se comienza entonces a construir a nivel nacional una visión integradora en torno a la planificación, gestión, manejo, control, evaluación y sensibilización del recurso hídrico, la cual da lugar a que, en 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) expida la "Política Hídrica Nacional" tras un proceso de cerca de dos años (2008-2009) en el que se realizaron estudios y consultorías; se preparó un diagnóstico del estado del recurso y del avance de la gestión, y se adelantó un proceso participativo que incluyó más de 14 talleres multisectoriales. En diciembre de 2009, el Consejo Nacional Ambiental dio el aval para la aprobación de esta Política que busca servir de instrumento orientador de la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. La Política fija un marco conceptual, unos principios, objetivos, instrumentos y estrategias para la administración y planificación del recurso, y orienta la labor de las Autoridades Ambientales Regionales (Corporaciones Autónomas Regionales y otros) como administradores del recurso.

Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico incluye seis objetivos específicos en cuanto a Oferta, Demanda, Calidad, Riesgos, Gobernabilidad e Institucionalidad, cada uno de los cuales incluye estrategias (19), metas e indicadores. Las líneas de acción estratégicas serán desarrolladas en detalle en el Plan Hídrico Nacional, atendiendo a las características y particularidades regionales, pero apuntando siempre al cumplimiento de los objetivos y metas nacionales definidos en la presente Política.

Además del Plan Hídrico se formulará un CONPES con el Departamento Nacional de Planeación para la determinación de las acciones sectoriales a fin de impulsar la gestión integral del recurso hídrico a nivel nacional.

En cuanto a los aspectos normativos, a continuación se presenta un listado del marco normativo en Colombia. Por ello se puede observar, como se ha mencionado con anterioridad, que los múltiples problemas que aún se tienen en materia de agua no son por falta de legislación, sino por dispersión normativa, falta de voluntad política para aplicar adecuadamente la normatividad y también por carencia de educación ambiental.

a. Recurso hídrico en general

- Ley 23 de 1973, "Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones".

- Decreto 2811 de 1974, "Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente".
- Decreto 1449 de 1977, "Por el cual se reglamentan parcialmente el [Inciso 1 del Numeral 5 del Artículo 56 de la Ley 135 de 1961] y el [Decreto Ley No. 2811 de 1974]". Parcialmente derogados Ley 79 de 1986, Ley 373 de 1997 y el decreto 1791 de 1996.
- Decreto 1541 de 1978, "Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto 2811 de 1974 de las aguas no marítimas".
- Ley 9 de 1979, "Por la cual se dictan medidas sanitarias".
- Decreto 1594 de 1984, "Por el cual se reglamenta el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título II de la parte II Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos".
- Constitución Política de Colombia, Artículos 78, 79, 80, 365, 366, 367, 368, 369 y 370.
- Ley 99 de 1993, "Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental-SINA y se dictan otras disposiciones".
- Ley 373 de 1997, "por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua".
- Decreto 1220 de 2005, "Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales".

b. Cuerpos de agua y cuencas hidrográficas

- Ley 161 de 1994, "Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones".
- Ley 357 de 1997, por medio de la cual se aprueba la "Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de las aves acuáticas", suscrita en Ramsar el 2 de febrero de 1971.
- Decreto 1604 de 2002, "Por el cual se reglamenta el Parágrafo 3º del Artículo 33 de la Ley 99 de 1993".
- Decreto 1729 de 2002, "Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título II, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el Numeral 12 del Artículo 5º de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones".
- Resolución 769 de 2002, "Por la cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos". Modificada por la Resolución 140 de 2003.

- Resolución 839 de 2003, "Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos". Modificada por la Resolución 1128 de 2006.
- Resolución IDEAM 104 de 2003, "Por la cual se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas".
- Resolución 196 de 2006, "Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia".
- Decreto 1480 de 2007, "Por el cual se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones".

c. Instrumentos de gestión:

- Decreto 1600 de 1994, "Por el cual se reglamenta parcialmente el SINA en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental".
- Decreto 1933 de 1994 "Por el cual se reglamenta el artículo 45 de la Ley 99 de 1993".
- Decreto 3100 de 2003, "Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones".
- Decreto 155 de 2004, "Por el cual se establece la tasa por uso del agua"
- Decreto 3440 de 2004, "Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
- Decreto 4742 de 2005, "Por el cual se modifica el Artículo 12 del Decreto 155 de 2004 y se reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas".
- Resolución 865 de 2004, "Por la cual adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales".
- Resolución 872 de 2006, "Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones".
- Decreto 1900 de 2006, "Por el cual se reglamenta el parágrafo del Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 2570 de 2006, "Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 1323 de 2007, "Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico-SIRH"
- Decreto 1324 de 2007, "Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones".

d. Agua potable y Saneamiento

- Ley 142 de 1994, "Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 3102 de 1997, "Por el cual se reglamenta el Artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua".
- Resolución 1096 de 2000, "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS". Modificada por la resolución 668 de 2002 y 1459 de 2005.
- Resolución CRA 150 de 2001, "Por la cual se establecen consumos básicos y máximos de conformidad con lo establecido en la Ley 373 de 1997".
- Resolución CRA 287 de 2004, "Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado".
- Resolución 1443 de 2004, "Por la cual se reglamenta el Artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones". Modificada por la Resolución 2145 de 2005.
- Decreto 1575 de 2007, "Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano".
- Resolución 2115 de 2007, "Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano".
- Decreto 3200 de 2008, "Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones".
- Resolución 811 de 2008, "Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución".

e. Contaminación y vertimientos

- Decreto 1875 de 1979, "Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones".
- Decreto 1594 de 1984, "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título II de la Parte II Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

- Ley 56 de 1987, por medio de la cual se aprueban el "Convenio para la protección y desarrollo del medio marino en la región del Gran Caribe" y el "Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe", firmado en Cartagena de Indias el 24 de marzo de 1983.
- Ley 55 de 1989, por medio de la cual se aprueba el "Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos de 1969" y su protocolo de 1976.
- Decreto 2190 de 1995 de diciembre 14 de 1995, "Por el cual se ordena la elaboración del Plan Nacional de Contingencias contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres".

f. Aguas marinas y plataforma continental

- Ley 10 de 1978, "Por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 1875 de 1979, "Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones".
- Decreto 1436 de 1984, "Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 9º de la Ley 10 de 1978".
- Ley 611 de 2000, "Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de fauna silvestre y acuática".

g. Convenios y tratados internacionales

- Ley 119 de 1961, "Convenio pesca y conservación de los recursos vivos de alta mar".
- Ley 408 de 1997, "Por medio de la cual se aprueba el convenio relativo a la organización hidrográfica internacional OHI", suscrito en Mónaco el 3 de mayo de 1967.
- Ley 74 de 1979, "Por medio de la cual se aprueba el Tratado de Cooperación Amazónica, firmado en Brasilia el 3 de julio de 1978".

18. Amenazas para el agua en Colombia

El Dr. Guhl, en su artículo "El agua en el futuro sostenible de Colombia. ¿Para qué queremos el agua?" menciona la consideración del agua como recurso estratégico para el desarrollo y la comprensión de que es un recurso limitado,

que puede dejar de ser renovable si se maneja mal y plantea dos dimensiones que deben tenerse en cuenta para su aprovechamiento sostenible: la conservación de la oferta hídrica, es decir, la cantidad de agua disponible, y el mantenimiento de su calidad para utilizarla sin peligro para la salud humana y ecosistémica.

Con respecto a la primera, el manejo adecuado de las cuencas y de los ambientes productores del agua, como los páramos, son esenciales para evitar fenómenos que la afecten como la desregulación de los caudales y la erosión causadas por la pérdida de la cobertura boscosa. Es decir, que la conservación tiene que ser una prioridad de carácter determinante si queremos mantener nuestra riqueza hídrica. Por esta razón es inexplicable que las autoridades ambientales permitan la expansión de la frontera agrícola en los páramos para el cultivo intensivo de papa.

Mirando hacia el futuro, se aduce que la gran oferta nacional de agua, no coincide con las zonas donde se asienta la gran mayoría de la población y sus actividades y, por tanto, la demanda de agua para los diversos usos. De acuerdo con esto, las cifras oficiales anticipan un déficit de agua en las zonas "desarrolladas" del país, generando un alto riesgo de desabastecimiento de sus acueductos. Esto implicaría, una verdadera emergencia sanitaria y económica nacional, que para evitarse requiere planeación y acciones decididas.

Esta paradójica situación de escasez en medio de la abundancia obedece a una lectura incorrecta de la realidad. Por una parte, las cifras se refieren a la cantidad de agua y no consideran su calidad, que se ha convertido en la limitación mayor para su uso, y, por otra, se refieren a las fuentes de suministro actuales, que muchas veces por razones económicas son pequeñas quebradas con una calidad aceptable, que permiten conducciones por gravedad, pero que son muy susceptibles a las reducciones de caudal por razones climáticas, mientras que los ríos más grandes no se utilizan para los acueductos por diversas razones, entre ellas el costo y la contaminación. Un ejemplo que ilustra esta paradoja de manera clara es Barrancabermeja, que aparece como uno de los municipios con alta escasez a pesar de que se ubica a orillas del Magdalena.

Con respecto a la calidad del agua, es imprescindible cambiar la forma como deseamos los residuos domésticos, industriales y agropecuarios vertiéndolos sin tratar a los ríos, con cargas contaminantes orgánicas, químicas y sobretodo de patógenos, en cantidades que hacen imposible su utilización.

La práctica habitual del traslado de la contaminación aguas abajo desconoce el principio universalmente aceptado de que "el que contamina paga", ya que implica la transferencia de los impactos y los costos ambientales. Como se mencionó en el numeral, apenas el 32.33% de los municipios colombianos tratan sus aguas residuales; sin embargo, no basta con tratar el agua de cualquier manera; el nivel de tratamiento depende de los usos que vaya a tener el agua vertida nuevamente a la corriente. Con una actitud autista y egoísta, basada en el supuesto equivocado de que el agua es inagotable, utilizamos los ríos como "basureros" de los pueblos y ciudades, partiendo del supuesto de que el río "se lleva" los desechos y que logra recuperarse, pero desconociendo los límites de la autopurificación natural y sin tomar en cuenta lo que suceda con los pobladores aguas abajo.

En el corto plazo se corre el peligro de que debido a la contaminación de sus aguas, en especial por las aguas residuales domésticas, las regiones Andina y Caribe no puedan utilizar sus ríos principales. Estas situaciones generan un panorama de inquietud desde el punto de vista de la salud pública sobre el territorio nacional, y de inequidad regional con respecto a la calidad del agua y a los costos para depurarla para poderla reutilizar.

En relación con la planeación y administración del agua puede decirse que el país ha carecido de una visión integral del recurso y de su ciclo, por lo que la gestión se ha dado de forma segmentada y sectorial, partiendo del supuesto equivocado de que la totalidad del agua está disponible para cada uno de los usos. El desconocimiento de la oferta de agua y de sus variaciones estacionales ha conllevado a que las concesiones para su uso sean irreales y que en muchas ocasiones se otorguen como un porcentaje del caudal disponible, que es muy difícil de conocer y además imposible de controlar.

■ 19. Usos potenciales del agua en Colombia y mecanismos de administración

Igualmente el Dr. Guhl en su artículo menciona que, debido a su importancia esencial por su carácter de elemento básico para la vida, el agua ha sido considerada como un bien de dominio público en la tradición colombiana al igual que en muchos países. Como se ha explicado, esta consideración hace que no pueda considerarse como un bien transa-

ble cualquiera y que su control y propiedad deban estar en cabeza del estado y no de particulares. Ello ha dado lugar a una regulación acerca de los usos del agua y a sus posibilidades de aprovechamiento. El instrumento vigente es el de la concesión de una determinada cantidad de agua, o de un porcentaje del caudal de una fuente, para el desarrollo de una determinada actividad, la cual está ligada al predio en que se desarrolla.

En diversos países y regiones con escasez temporal o permanente de agua, bien sea por razones naturales o porque hay una demanda demasiado grande para la oferta disponible, se ha buscado hacer más eficiente la asignación del recurso mediante la creación de un mercado de derechos de agua que pueden venderse o arrendarse, lo que ha permitido utilizar el agua de una manera más acorde con las necesidades humanas o productivas. En el caso de España, que tiene regiones muy importantes donde la carencia de agua es grande, se ha utilizado este mecanismo para asignar de la mejor manera un recurso escaso.

Pero el mercado de derechos de agua está regulado para cumplir con criterios de interés público, dado el carácter especial del agua, limitando la libertad de pacto entre las partes y utilizando controles administrativos, por lo cual solamente se permite negociar derechos de agua para "usos de mayor rango", de acuerdo con la priorización legal para los mismos y evitando concentraciones de derechos que puedan conducir a la creación de monopolios o a la especulación. El mercado del agua limitado por criterios de interés público, mediante una adecuada regulación, ha probado ser un mecanismo efectivo para la gestión del agua bajo condiciones de escasez, que es por definición cuando se puede crear un mercado. De todas maneras el análisis de la aplicación del mecanismo demuestra que los caudales transados no son de una magnitud muy importante. Surge además una duda de carácter ético sobre al conceder a un particular, el tenedor de la concesión, la plusvalía al vender o arrendar un derecho que el Estado le otorgó gratuitamente.

En el caso de Colombia donde la oferta hídrica es abundante, no es clara la necesidad de generar un mecanismo de esta naturaleza para hacer más eficiente el uso del recurso. Más bien podría pensarse en programas de concientización sobre la importancia del agua y en la aplicación de mecanismos de vigilancia y control de las concesiones y vertimientos. También se dispone para este fin de instrumentos como tasas por uso y retributivas, que inducen a la racionalidad en el consumo y que promueven la equidad con respecto a los costos y beneficios del uso y el mantenimiento de un

recurso de dominio público, que el Estado concede sin costo. Una derivación interesante para el caso colombiano podría ser que los propietarios de los terrenos donde nacen cursos de agua o de ecosistemas importantes para la conservación de la oferta ambiental, obtuvieran concesiones que les generaran ingresos por mantener la oferta hídrica arrendando estos derechos a los propietarios aguas abajo para sus labores productivas.

Las tasas retributivas y compensatorias, creadas como instrumentos para racionalizar el comportamiento de los usuarios en busca de mantener una oferta de agua de buena calidad y más racionalmente usada, forman parte del arsenal de instrumentos para la gestión eficiente del agua. El potencial de estos instrumentos no ha sido aprovechado en Colombia, y desafortunadamente su carácter de instrumentos económicos para inducir cambios de comportamiento en los usuarios no refleja mejoras de la calidad y la cantidad del recurso. Nuevamente aquí surge el criterio de equidad, que implica que cumpla el principio del contaminador pagador, de manera que el usuario del agua pague los costos correspondientes a su tratamiento para hacerla apta para los usos previstos después de que la devuelve al curso de agua.

Para establecer la magnitud de los caudales disponibles para los diversos usos, es necesario tener en cuenta el orden de prioridades vigente que refleja su importancia para la sociedad, en la cual la satisfacción del consumo humano ocupa el primer lugar, seguido por los usos agropecuarios e industriales y por último la generación de energía hidroeléctrica. El otorgar concesiones para los diversos usos implica el conocimiento de las fuentes hídricas en cuanto a su caudal, sus variaciones y condiciones de calidad. Además de estos usos está uno menos conocido y que muchas veces se ignora, pero fundamental: el caudal ecológico, que corresponde al flujo que debe haber en una corriente para garantizar su adecuado funcionamiento ecosistémico.

Dado el crecimiento de la demanda de agua para usos consuntivos y no consuntivos, el reúso del agua es una alternativa muy interesante, siempre y cuando el agua que se devuelve al ambiente cumpla con los estándares requeridos por los usos a los que se destinará. Esta posibilidad estimula el tratamiento de las aguas residuales, si el vertedor se beneficia por el agua que utiliza y trata antes de devolverla al ambiente.

Disponer de agua pura para beber es el más obvio, pero apenas uno de sus usos. Es claramente el uso prioritario del recurso, pero no representa sino alrededor del 5% del

consumo total. Sin embargo, el mercado del agua para beber tiene ya unas dimensiones insospechadas y que no parecen reales, creadas artificialmente por un prurito poco convincente de calidad y de salud. Por ejemplo, el agua embotellada genera un mercado de 7 billones de dólares anuales en los Estados Unidos y en el mundo su valor se ha multiplicado por 80 entre los años 1970 y 2000. Su precio es varias veces superior al de la leche o la gasolina e incluso al de las gaseosas que son fabricadas con agua. Es el mercado del agua que más se ha desarrollado pero no el único posible.

La agricultura consume alrededor del 60% del agua que usamos y cada vez tendremos mayor demanda motivada en una población creciente con mejores ingresos y una menor disponibilidad tanto por la cantidad de agua disponible como por su decreciente calidad. Los sistemas de riego tradicionales son enormemente ineficientes y se utilizan mal, por lo cual sus efectos sobre el suelo son sumamente graves. Esta situación abre el campo al desarrollo y la difusión de sistemas tecnificados y sostenibles, que ofrecen un gran potencial de ahorro de agua y de dinero. El uso del riego por goteo y con control automático y otros similares ofrecen una oportunidad muy importante para ahorrar agua.

Pero además, el futuro ofrece otras posibilidades muy interesantes si entendemos el agua no solamente como un bien indispensable para la vida, sino además como un recurso estratégico, de manera que el país aproveche de su riqueza hídrica natural y la convierta en un factor sostenible de desarrollo.

Los posibles aprovechamientos no convencionales del agua en nuestro país abarcan desde la hidroenergía, resultado de la abundancia de agua y el fuerte relieve, con miras a la exportación de energía eléctrica hacia Centro y Suramérica, mediante la interconexión con estas regiones, hasta la comercialización del recurso mismo, bien sea para consumo humano o para otros como el agrícola o el industrial.

Naturalmente estas posibilidades deben considerar en primer término el interés nacional, entendiendo el agua como un bien público cuyo aprovechamiento debe beneficiar en primer término a los colombianos y desarrollarse mediante el uso de tecnologías de alta eficiencia y bajo impacto. Los proyectos deben basarse en criterios de diseño y operación que eviten los demoledores efectos de las grandes presas sobre el ecosistema y las comunidades. La participación activa y real de las comunidades

afectadas por los proyectos es fundamental en este nuevo enfoque, al igual que la armonización de la planeación de los proyectos con los instrumentos de planificación regionales y locales, como planes de ordenamiento y de gestión y desarrollo de los entes territoriales y las autoridades ambientales.

La posibilidad de exportar excedentes de agua de diversas partes del país para usos como el agrícola o el industrial hacia países que presentan escasez de agua merece una exploración con profundidad. Dar valor económico al mantenimiento de las condiciones ambientales para lograr "producir" agua de manera permanente y sostenible puede ser una alternativa muy atractiva para estimular la conservación, entendiéndola como un uso productivo del suelo y generar ingresos a las comunidades y propietarios de estas áreas, evitando la deforestación y los usos depredadores como la ganadería y los cultivos insostenibles e ilícitos.

20. Conclusiones

La situación del recurso hídrico en Colombia, en términos generales, no alcanza los niveles críticos que acusa en muchos otros países del mundo. Sin embargo, se evidencian síntomas de alarma en términos de abastecimiento en algunos municipios y áreas urbanas en donde se deben definir políticas para la planificación, manejo y utilización del recurso hídrico para prevenir futuras crisis.

En los próximos años no solamente continuará aumentando la demanda de agua para sus diferentes usos humanos y económicos, sino que, la oferta aprovechable del recurso puede reducirse aceleradamente de continuar las tendencias actuales de deforestación y la ausencia casi total de tratamiento de las aguas residuales.

En resumen, Colombia dispone de unas cantidades muy significativas de agua para satisfacer sus necesidades y el gran problema que se avizora es el de la mala calidad del agua antes que su escasez. Es decir, que los problemas relacionados con el agua dependen más de su manejo y control que de su disponibilidad natural.

En este sentido, para la toma de decisiones, es fundamental avanzar en instrumentos de planificación como los que actualmente propone la política nacional para la gestión integral del agua, así como instrumentos como el estudio nacional del agua, que permite avanzar en el análisis de la información para identificar el estado del arte del recurso hídrico en nuestro país.

El estudio nacional del agua (IDEAM, 2010) menciona que es necesario fortalecer el monitoreo y los sistemas de información para obtener datos más actualizados y representativos de la realidad.

También es necesario avanzar en los estudios de aguas subterráneas, ya que constituyen un recurso fundamental para el abastecimiento de agua de las futuras generaciones, teniendo en cuenta el descenso en disponibilidad de agua superficial para atender las demandas de agua de nuestra población.

El cambio climático es un hecho a tener en cuenta a la hora de analizar la información, y Colombia no es una excepción, dado que el efecto de la variabilidad climática natural hoy en día suscita enormes riesgos a los sectores sociales y económicos debido a la intensidad de los eventos que se vienen presentando en los últimos años. Por este motivo, los análisis a futuro deben tener en cuenta las proyecciones de agua ante escenarios de variabilidad climática y cambios en los usos y coberturas del suelo.

El IDEAM recomienda desarrollar estrategias de adaptación a la actual variabilidad climática del país dentro de los planes de gestión y ordenación del territorio y del recurso hídrico, estrategias que estarían en pro del aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático.

Se espera que la evolución en términos de políticas, como el que propone la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, permita hacer una mejor planificación y control del recurso hídrico; sin embargo, la desarticulación interinstitucional e intersectorial pone en tela de juicio su efectividad y se convierte en una amenaza latente para el cuidado y protección del mismo.

21. Referencias

1. ALLEN, R. N., 1972. The Anchicayá hydroelectric project in Colombia: design and sedimentation problems. En: M. T. Farvar y J. P. Milton (Eds). The careless technology. Ecology and International Development. Natural History Press: 318-342.
2. CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. Estado de los recursos naturales y el ambiente 2007-2008. Editorial Imprenta Nacional, mayo de 2007.
3. GUHL NANNETI, ERNESTO. La Gobernanza del Agua, ¿Pública o privada? Diario El Tiempo, 19 de marzo de 2009.

4. GUHL NANNETI, ERNESTO. El agua en el futuro sostenible de Colombia: para que queremos el agua? Economía Colombiana Ed. 312, Revista de la Contraloría General de la Republica, mayo de 2006.
5. HERNANI, A. y J. J. RAMÍREZ, 2002. Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, 26(101): 511-518.
6. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. El medio ambiente en Colombia, 2da. edición, Bogotá, agosto de 2001.
7. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005. Estudio Nacional del Agua.
8. IDEAM. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia, (2008). Estudio Nacional del Agua-Relaciones de Demanda de Agua y Oferta Hídrica.
9. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010. Estudio Nacional del Agua.
10. IDEAM. El Estudio Nacional del Agua: un compendio sobre el recurso hídrico en Colombia, Efraín Antonio Domínguez Calle, Grupo de Investigación en Hidrología, noviembre de 2005.
11. IDEAM, 2007. Presentación Mitos y realidades sobre el consumo de agua en Colombia, Hebert Gonzalo Rivera, Ingeniero Hidrólogo, Ph. D., Subdirección de Hidrológica, Barranquilla.
12. IDEAM, 1998. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global.
13. IDEAM-UNAL, 1997. Estudio de Alta Montaña Colombiana.
14. MANCERA, N. y P. CALA, 1997. Aspectos bioecológicos de la comunidad íctica asociada a un cultivo de tilapia roja en jaulas flotantes en el embalse de Betania, Colombia. Dalia Revista de la Asociación Colombiana de Ictiología 2:31-53.
15. MÁRQUEZ, G. y G. GUILLLOT, 2001. Ecología y efecto ambiental de embalses. Aproximación con casos colombianos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 218 pp.
16. MEDINA, H., 1983. Problemas de operación de origen ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé. Revista EE.PP.MM., 5(1):53-77.
17. OROZCO, A., 1981. Fósforo y eutroficación en la protección de los recursos hidroenergéticos del departamento de Antioquia. Revista AINSA, No. 1, Año 1, agosto de 1981.
18. RAMIREZ, J. J., 1999. Limnología de represas de altitud en Colombia con énfasis en los embalses la Fe y El Peñol. Ecología de Reservatários, 4:79-107.
19. RAMIREZ, J. J., C. BICUDO, G. ROLDÁN y L. C. GARCÍA, 2000. Temporal and vertical variations in phytoplankton community structure and its relation to some morphometric parameters of four Colombian reservoirs, Caldasia 22(1):108-126.
20. RAMIREZ, J. J., C. BICUDO, G. ROLDÁN y L. C. GARCÍA, 2001. Variación vertical de parámetros físicos y químicos en cuatro embalses tropicales y su relación con el área, la altitud y el tiempo de retención hidráulica. Acta Limnol. Bras., 13:19-34.
21. ROLDÁN, G., 1978. Problemas de eutroficación en lagos y embalses colombianos. Revista Contaminación Ambiental, 2(3): 51-56.
22. ROLDÁN, G., 1982. Algunas consideraciones ecológicas acerca de los embalses. Revista Contaminación Ambiental, 6(10): 13-20.
23. ROLDÁN, G., M. CORREA, T. MACHADO, J. J. RAMÍREZ, L. F. VELÁSQUEZ y F. ZULUAGA, 1984. Estudio Limnológico de la represa El Peñol. Actual. Biol., 13(50):95-105.
24. ROLDÁN, G., 1988. Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia, Ed. Presencia Ltda., Bogotá, 217 pp.
25. ROLDÁN, G., 1992. Fundamentos de Limnología Tropical. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 529 pp.
26. ROLDÁN, G., A. BOHÓRQUEZ, R. CASTAÑO y J. I. ARDILA, 2000. Estudio limnológico del embalse de El Guavio, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales. XXIV (90): 73-84.
27. ROLDÁN, G y E. RUÍZ, 2001. Development of Limnology in Colombia. In: Wetzel, R. y B. Gopal: Limnology in Developing Countries. 3:69-119. International Association of Theoretical and Applied Limnology-SIL.
28. ROLDÁN, G., 2002. Treating industrial wastes in Colombia using water hyacinth. Waterlines, 21(1):6-8.
29. ROLDÁN, G., 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. El método BMWP/Col. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 170 pp.
30. ROLDÁN, G. y J. J. RAMÍREZ, 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2da. edición. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 440 pp.
31. SALAZAR, A. y R. DÍEZ DE ARANGO, 1987. Control de plantas acuáticas en el embalse La Fe. Revista AINSA, Medellín, 2:7-31.

32. SIERRA, O. y J. J. RAMÍREZ, 2000. Variación espacio-temporal de biopelículas asociadas a sustratos artificiales en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia, Colombia. *Actual. Biol.*, 22:153-168.
33. Universidad de los Andes, MAVDT, 2002. Bases para la formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales.
34. URIBE, A. y G. ROLDÁN, 1975. Estudio comparativo de algunas características fisicoquímicas y biológicas del embalse El Peñol (Nare). *Actual. Biol.*, 4(11):2-12.
35. VALDERRAMA, M., 1984. Análisis de la situación actual y perspectivas de desarrollo pesquero en embalses de Colombia. *Divulgación Pesquera*, INDERENA, Bogotá, XXII (2, 3, 4):72-91.
36. VALDERRAMA, M., 1985. Embalses y problemática pesquera, Colombia. *Ciencia y Tecnología*, Vol. 3(3):11-14, Colciencias, Bogotá.
37. VARGAS, R. A. y J. J. RAMÍREZ, 2002. Variación espacio-temporal de las tasas de sedimentación del material sestónico en un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Antioquia, Colombia. *Actual. Biol.* 24(77):13-170.
38. VEGA, E. R. DÍEZ y O. RUIZ, 1992. Limnología de dos embalses del oriente antioqueño. *Contaminación Ambiental*, Antioquia, 13:10.
39. <http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril97/para iso.html>