

# **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](http://www.foroconsultivo.org.mx)

[foro@foroconsultivo.org.mx](mailto: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 <b>Argentina</b> : 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 <b>Bolivia</b> : 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 <b>Brasil</b> .....	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



# Manejo de los recursos hídricos en Venezuela

## Aspectos generales

Ernesto J. González<sup>1</sup> y María Leny Matos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Limnología, Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela. Punto Focal Nacional de Venezuela-IANAS, Programa de Aguas.

<sup>2</sup>Hidroven, Laboratorio de Plancton.

Palabras clave: recursos hídricos, problemas y manejo de recursos hídricos, instrumentos legales, normas regulatorias, Venezuela

## 1. Introducción

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos distribuidos en siete sistemas hidrográficos y 16 regiones hidrográficas. El país tiene más de 100 embalses, los cuales se han construido con la finalidad de satisfacer diversos propósitos: suministro de agua potable y para las industrias, riego, control de inundaciones, recreación y generación de energía hidroeléctrica. Dentro de las cuencas hidrográficas venezolanas se desarrolla una gran cantidad de actividades humanas, las cuales afectan la calidad de las aguas de ríos, lagos y embalses. Algunos de estos problemas son: eutrofización, contaminación, disminución de los flujos de agua, alta demanda de agua para riego, usos industriales y domésticos, entre otros. En Venezuela se han formulado varias normas regulatorias y leyes relacionadas con la conservación del agua y el manejo de los recursos hídricos. También existen varias instituciones relacionadas con la investigación y el manejo de estos recursos que incluyen ministerios, empresas gubernamentales, universidades e institutos de investigación, entre otras. En este trabajo también se discuten algunos casos de buenas y malas prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos.

## 2. El recurso hídrico

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos, especialmente en la región sur (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000). Se ha calculado que el volumen de los recursos hídricos es de 1.320 km<sup>3</sup> por año (Cañizales *et al.*, 2006). El proceso de ocupación del territorio nacional se ha caracterizado por una concentración poblacional progresiva en el arco Andino-Costero del país y, especialmente, en las grandes ciudades ubicadas en el área Centro-Norte, la cual tiene la menor disponibilidad de agua (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000; Cañizales *et al.*, 2006).

La demanda de agua en Venezuela está asociada a las actividades de riego, usos urbanos e industriales y la generación de energía eléctrica (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000). Los usos para la navegación y la recreación representan una demanda relativamente menor, con un carácter no consuntivo.

Para satisfacer la demanda de agua, en Venezuela se han construido 110 embalses (MINAMB, 2006), los cuales tienen usos diversos: suministro de agua potable y para fines industriales, riego, control de inundaciones, recreación y generación de hidroelectricidad (González *et al.*, 2004a; MINAMB, 2006; González *et al.*, 2009a). Sin embargo, el uso incorrecto de los recursos hídricos y las activi-

dades humanas en sus cuencas de drenaje han generado varios problemas, entre ellos, el cultivo de peces sin una evaluación limnológica previa (Infante *et al.*, 1992; 1995), la contaminación agroquímica (Infante *et al.*, 1992) y la eutrofización (González y Ortaz, 1998; Ortaz *et al.*, 1999; González *et al.*, 2004b).

Para tratar o resolver algunos de estos problemas se han sugerido algunas medidas de mitigación (por ejemplo, González *et al.*, 2002; Estaba *et al.*, 2006), así como también la creación de áreas protegidas y de normas regulatorias para el control de nutrientes en las aguas servidas (Gaceta Oficial, 1995), con la finalidad de proteger los cuerpos de agua y la calidad de sus aguas.

El propósito de este trabajo es el de presentar una visión general y analizar tanto algunas buenas y malas prácticas como leyes y decretos regulatorios relacionados con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela.

## 3. Venezuela en el mundo

Venezuela está localizada en la región norte de América del Sur entre los 00° 38' 53" y los 12° 11' 46" de latitud N y los 58° 10' 00" y los 73° 25' 00" de longitud O (MINAMB, 2006), y cubre un área de 916.445 km<sup>2</sup>. Limita al norte con el Mar Caribe y el Océano Atlántico Norte, al este con Guyana, al sur con Brasil y Colombia y al oeste con Colombia.

Aunque Venezuela está situada completamente en el trópico, su clima varía entre planicies húmedas de baja elevación ("llanos"), donde la temperatura promedio anual alcanza valores tan altos como los 28°C, hasta glaciares y tierras altas ("páramos") con una temperatura promedio de 8°C. Las precipitaciones promedio varían entre 430 mm<sup>3</sup> en las regiones semiáridas del noroeste hasta más de 4.000 mm<sup>3</sup> en la región sur. La mayor parte de las precipitaciones se presenta entre junio y octubre (estación lluviosa o "invierno"); al resto del año, más cálido y seco, se le conoce como "verano" (estación seca), aunque la variación de temperatura a lo largo del año es poco pronunciada si se le compara con las latitudes templadas (Gobierno en Línea, 2009). Venezuela tiene 24.127.351 habitantes (estimado para el año 2004), especialmente en la región andina y en la región costera, con una densidad poblacional media de 28,9 hab./km<sup>2</sup>.

Figura 1. Sistemas hidrográficos de Venezuela



Fuente: Modificado de MINAMB (2006)

Biogeográficamente, Venezuela está situada en la región Neotropical, la cual incluye los dominios Caribe, Amazonas, Guayana y Andino (Cabrera y Willink, 1980); por eso, el país tiene varios pisos altitudinales, varios tipos de vegetación y fauna, y variadas y distintivas cuencas de drenaje.

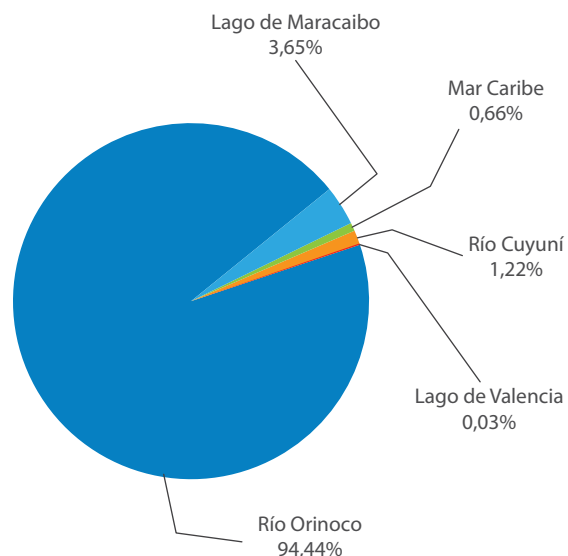
En Venezuela pueden distinguirse siete sistemas hidrográficos: Mar Caribe, Río Orinoco, Golfo de Paria, Casiquiare-Río Negro, Río Esequibo, Lago de Maracaibo y Lago de Valencia (Figura 1). Entre ellas, el sistema Orinoco es el más importante, ya que agrupa 49 subcuencas que drenan sus aguas hacia el canal principal del río Orinoco, lo que representa el 94,436% del volumen total drenado en las cuencas hidrográficas venezolanas (Figura 2) (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000), y descarga sus aguas al Océano Atlántico Occidental. Dentro de los sistemas hidrográficos, el del Lago de Valencia es particular, ya que es una cuenca endorreica, la cual recibe aguas de tributarios originados de la región sur de la Cordillera Centro-Norte; esta cuenca hidrográfica representa sólo el 0,029% del volumen total drenado.

Más recientemente, Cañizales *et al.* (2006) distinguieron 16 regiones hidrográficas en la clasificación previa (Figura 3): 1) Lago de Maracaibo-Golfo de Venezuela, 2) Falconiana, 3) Centro-Occidental (Tocuyo-Aroa-Yaracuy), 4) Lago de Valencia, 5) Central (Tuy-Litoral Central), 6) Centro-Oriental, 7) Oriental, 8) Llanos Centrales, 9) Llanos Centro-Occidentales, 10) Alto Apure, 11) Apure, 12) Alto Orinoco, 13) Caura, 14) Caroní, 15) Cuyuní y 16) Delta. Se debe destacar que en las áreas con menor drenaje en el país se localizan las áreas más densamente pobladas, lo cual genera problemas relacionados con el suministro de agua para propósitos diversos.

#### 4. Embalses en Venezuela

Para finales de 2006, en Venezuela se contaban 110 embalses operativos (MINAMB, 2006; 2007) distribuidos a lo largo del territorio nacional y construidos para satisfacer fines diversos: suministro de agua para usos domésticos (potable) e industriales, generación de energía hidroeléctrica, riego, recreación, entre otros usos. El Ministerio del Ambiente es el propietario de los embalses nacionales y rige las funciones de estos cuerpos de agua a través de la Dirección General de Cuencas Hidrográficas, de la Dirección de Estudios y Proyectos y de la Dirección de Operación y Mantenimiento de Obras de Saneamiento Ambiental.

Figura 2. Porcentajes volumétricos de las principales cuencas hidrográficas de Venezuela



Fuente: Tomado de Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre (2000)

Figura 3. Regiones hidrográficas de Venezuela



Fuente: Modificado de MINAMB (2006)

Las compañías hidrológicas regionales administran los trabajos que tienen que ver con la conducción, tratamiento y distribución del agua potable a las ciudades, mientras que el Instituto Nacional para el Desarrollo Rural se encarga de los asuntos relacionados con el riego (MINAMB 2007).

El Ministerio del Ambiente agrupó los embalses nacionales en ocho circuitos, de acuerdo con su localización geográfica, a fin de planificar el mantenimiento de ellos (Cuadro 1).

## 5. Algunos problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos

En las regiones hidrográficas de Venezuela se desarrolla un gran número de actividades humanas, las cuales afectan la calidad de las aguas en ríos, lagos y embalses. Algunos de estos problemas son: eutrofización, contaminación, disminución del flujo de agua, alta demanda de agua para riego, usos domésticos e industriales, entre otros.

### Eutrofización

La eutrofización ha sido registrada en varios cuerpos de agua en Venezuela, y varios de ellos son empleados para el suministro de agua potable a las principales ciudades del país.

La ciudad de Caracas y su área metropolitana (aproximadamente 4.000.000 de habitantes) recibe agua desde las cuencas de los ríos Tuy y Guárico, a través del "Sistema Tuy" (González *et al.*, 2009a), una compleja red de tuberías que conecta nueve embalses: Camatagua, Lagartijo, Taguaza, Quebrada Seca, Ocumarito, Taguacita, Macarao, La Pereza y La Mariposa. Sólo los embalses Lagartijo, Taguaza y Taguacita se localizan en áreas protegidas; el resto de

ellos se encuentran impactados por las actividades humanas que se realizan en sus cuencas de drenaje, lo que se refleja en las consecuencias del proceso de eutrofización: altas concentraciones de fósforo total y de nitrógeno total, altas densidades fitoplanctónicas y de macrófitas (plantas acuáticas superiores), floraciones de cianobacterias y baja calidad de sus aguas (Infante *et al.*, 1992, 1995; Ortaz *et al.*, 1999; González *et al.*, 2003; González, 2008; González *et al.*, 2009a).

Los embalses de la región centro-norte del país también están afectados por otras actividades humanas. El embalse Pao-Cachinche, que se emplea para el suministro de agua potable a las ciudades de Valencia, Maracay y San Carlos (2.000.000 de habitantes) y para el riego con fines agrícolas, recibe tributarios a los cuales se les vierten aguas domésticas sin tratamiento o con tratamiento deficiente de la ciudad de Valencia (1,7 millones de habitantes) y aguas de desecho desde granjas avícolas y porcinas (González *et al.*, 2004a; 2004b). La baja calidad de las aguas y las altas densidades fitoplanctónicas eran características comunes antes de la aplicación del proceso de desestratificación artificial (Estaba *et al.*, 2006). Otro embalse, Suata, el cual se emplea para el riego de campos vecinos, recibe altas cargas de fósforo a través de su tributario principal y de las granjas avícolas que rodean el cuerpo de agua. Las concentraciones de fósforo total alcanzan valores de 2.400 µg/L, lo que produce una alta productividad biológica (González *et al.*, 2009b).

**Cuadro 1. Circuito nacional de embalses agrupados según las regiones geográficas para la planificación de su mantenimiento**

Circuitos	Estados	Embalses
Nº 1 (17)	Aragua, Carabobo, Miranda, Cojedes y Vargas	Suata, Taiguaiguay, Canoabo, Guataparó, Pao-Cachinche, La Mariposa, Agua Fria, El Guapo, La Pereza, Lagartijo, Ocumarito, Quebrada Seca, Taguacita, Taguaza, Capaya, Pao La Balsa, Petaquire
Nº 2 (23)	Guárico y Anzoátegui (y Aragua)	El Pueblito, Guanapito, Guárico, Jabillal, La Becerra, Santa Rosa, Tamanaco, Taparito, Tierra Blanca, Tiznados, Vilchez, El Cigarrón, Coco 'e Mono, Camatagua, El Andino, El Cují, Guacamayal, La Estancia, La Tigra, La Tigrita, Santa Clara, Vista Alegre, San Miguel
Nº 3 (9)	Sucre, Monagas y Nueva Esparta	Clavellinos, El Pilar, Turimiquire, Guamo, Guatamare, La Asunción, San Juan Bautista, San Francisco de Macanao, San Antonio
Nº 4 (7)	Barinas, Portuguesa, Mérida y Trujillo	Masparro, Boconó-Tucupido, Las Majaguas, Las Mercedes, Las Palmas, Onia, Agua Viva
Nº 5 (19)	Falcón, Lara y Yaracuy	Camare o Pedregal, Cruz Verde, El Cristo, El Isiro, El Hueque III, Las Barrancas, Mamito, Mapara, Tocuyo de La Costa, Atarigua, Dos Bocas, Dos Cerritos, El Ermitaño, El Zamuro, Los Quediches, Cabuy, Cumaripa, Papelón, Durute
Nº 6 (6)	Zulia y Falcón	El Tablazo, Machango, Burro Negro, Socuy, Matícora, Tulé
Nº 7 (9)	Táchira y Mérida	Uribante, La Honda, Doradas, Las Cuevas, Camburito, Caparo, Borde Seco, La Vueltosa, Santo Domingo
Nº 8 (7)	Bolívar	Caruachi, Copapucito, El Palmar, Macagua, Puente Blanco, San Pedro, Tocoma

Fuente: Modificado de MINAMB (2007)

Los embalses de los llanos venezolanos están influenciados por el uso de fertilizantes en sus alrededores, lo que genera problemas de eutrofización (Infante *et al.*, 1995; González, 2000). El grupo de las Cyanobacteria domina la comunidad del fitoplancton en la mayoría de ellos.

Los embalses de la región occidental de Venezuela también presentan problemas de eutrofización. El embalse Tulé es un cuerpo de agua somero que se emplea para el suministro de agua potable a la ciudad de Maracaibo (aproximadamente 3.000.000 de habitantes), por lo que muestra bajos valores de transparencia y altas concentraciones de nitrógeno (Páez *et al.*, 2001).

### Contaminación

Varios embalses reciben tributarios con sustancias contaminantes, los cuales no han sido cuantificados y, por ello, representan graves riesgos para la salud humana.

Ortiz *et al.* (1999) observaron que las aguas residuales de una fábrica de galvanizados se vertían libremente hacia la cubeta del embalse La Pereza. Estos residuos aún no han sido estudiados ni cuantificados.

Las áreas adyacentes al embalse Guanapito (que suministra agua potable a unos 44.000 habitantes de la población de Altigracia de Orituco) se emplean para la ganadería extensiva y el cultivo de hortalizas y frutas, cuyas actividades aportan fertilizantes y biocidas directamente al cuerpo de agua a través de sus tributarios y de la escorrentía (Infante *et al.*, 1992; González *et al.*, 2009a). Las concentraciones de biocidas necesitan ser cuantificadas.

En los sedimentos de varios embalses se han encontrado metales pesados. Álvarez *et al.* (2007) registraron concentraciones de Co, Cr, Cu, Ni y Zn superiores a los valores bases en los embalses Quebrada Seca, Lagartijo y La Pereza. La presencia de esta contaminación en los sedimentos pudiera ser relacionada con el agua bombeada hacia estos embalses desde el río Tuy, el cual recibe altas descargas de aguas domésticas e industriales (González *et al.*, 2009a).

### Disminución del flujo de agua y alta demanda de agua

El aumento de la demanda de agua desde las ciudades pudiera tener un impacto negativo sobre los niveles de agua de algunos embalses. Ésta es la situación del embalse Agua Fría, un cuerpo de agua oligotrófico localizado en un parque nacional (área protegida) que provee de agua potable a la ciudad de Los Teques (aproximadamente 172.000 habitantes). Esto pudiera afectar la calidad de sus aguas, ya que la vegetación sumergida pudiera quedar expuesta

fuera del agua, lo que conllevaría a su descomposición y al subsiguiente aporte de nutrientes al embalse (González, 2002; González *et al.*, 2009a).

Otro ejemplo lo puede representar el embalse Camatagua, que constituye actualmente la mayor reserva de agua para la ciudad de Caracas. En años recientes, el cuerpo de agua sufrió una disminución significativa de su volumen que afectó el suministro de agua potable a la ciudad de Caracas. Este cambio pudiera ser atribuido a las actividades humanas en su cuenca de drenaje (deforestación, principalmente) y, probablemente, al cambio en los patrones de precipitaciones en la región. Desde el año 2001 hasta el año 2004, el nivel de las aguas permaneció 20 m por debajo de su nivel normal de operación, lo que generó un plan de racionamiento en el suministro de agua potable a la ciudad de Caracas (González *et al.*, 2009a).

## 6. Instrumentos legales y algunas normas regulatorias para el manejo de los recursos hídricos en Venezuela

En Venezuela existen muchas normas regulatorias y leyes relacionadas con el manejo y la conservación de los recursos hídricos, los cuales constituyen en sí mismos ejemplos de buenas prácticas relacionadas con el manejo de dichos recursos. La principal de ellas es la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, promulgada en el año 1999. Además de las resoluciones tradicionales de la soberanía nacional sobre sus espacios acuáticos (lacustre y fluvial, mar territorial y aguas marinas interiores), la Constitución Nacional establece artículos relacionados con los aspectos ambientales de los recursos hídricos y de la calidad de las aguas (MINAMB, 2006), y declara todas las aguas del dominio público del Estado, de conformidad con el Código Civil.

Otros ejemplos de leyes importantes se enumeran a continuación (según MINAMB, 2006):

- Ley Forestal de Suelos y de Aguas (1966): contiene una declaración de utilidad pública sobre la protección de las cuencas hidrográficas, las corrientes y las caídas de agua.
- Ley Orgánica del Ambiente (1976): se refiere, de modo holístico, a la protección del ambiente, incluidos los componentes acuáticos y los cuerpos de agua.

- Ley Penal del Ambiente (1992): establece sanciones para aquellas acciones y actividades que perjudiquen el ambiente.
- Ley de Zonas Costeras (2001): regula la administración, uso y manejo de estas zonas con la finalidad de lograr su conservación y uso sostenible, lo cual incluye la protección de la diversidad biológica, el control de las actividades que pueden deteriorar el ambiente y el control de los contaminantes provenientes de fuentes terrestres y acuáticas, el tratamiento de las aguas servidas, la valoración económica de los recursos naturales, entre otras regulaciones.
- Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (2001): prohíbe la aplicación aérea de biocidas sobre los cuerpos de agua destinados para el consumo humano, riego y ganadería.
- Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2001): favorece la utilización racional de las aguas que pudieran ser usadas para el riego y la acuicultura.
- Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Ambiental (2001): atribuye competencias a los municipios para el control y la prestación de los servicios de agua.
- Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos e Insulares (2002): promueve la cooperación internacional en asuntos relacionados con los cursos de agua y las cuencas hidrográficas transfronterizas.
- Ley de Pesca y Acuicultura (2003): consagra el principio de precaución para la protección del medio acuático.
- Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2005-2006): establece disposiciones que regirán el proceso general para la planificación y gestión de la ordenación del territorio, en concordancia con las realidades ecológicas y los principios, criterios y objetivos estratégicos del desarrollo sustentable.
- Ley de Aguas (actualmente en discusión en la Asamblea Nacional): establecerá las disposiciones que regirán la gestión integral de las aguas como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano, el desarrollo sostenible del país y de carácter estratégico e interés de Estado.

Otras normas sublegales, relacionadas con la protección jurídica del agua y de los cuerpos de agua, son:

- Normas para la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y las Cuencas Hidrográficas.
- Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto 883, 1995).
- Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.
- Normas para Regular las Actividades Capaces de Provocar Cambios de Flujo, Obstrucción de Cauces y Problemas de Sedimentación (1992).
- Decreto que rige el Uso de los Embalses Construidos por el Estado Venezolano y sus Áreas Adyacentes (1991).

El Estado venezolano tiene una preocupación relevante sobre sus recursos hídricos, aunque algunas malas prácticas pueden ser observadas en algunas regiones del país. Otros ejemplos de buenas y malas prácticas relativas al manejo de los recursos hídricos en Venezuela se ilustran en las siguientes secciones.

## 7. Instituciones relacionadas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos

Hay varias instituciones involucradas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos en Venezuela. MINAMB (2006) presenta una lista de algunas instituciones ligadas a la Administración Pública Nacional:

- Ministerio del Ambiente. Este Ministerio es la Autoridad Nacional sobre el agua.
- Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Ministerio de Planificación y Desarrollo.
- Ministerio de Agricultura y Tierras.
- Ministerio de Salud.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Administraciones Públicas Estatales y Municipales: ligadas a las Gobernaciones y Alcaldías.
- Administración Pública Descentralizada y Empresas Gubernamentales: tales como Petróleos de Venezuela (PDVSA), Corporaciones Regionales de Desarrollo, Institutos Autónomos.
- Universidades Nacionales y Centros de Investigación: incluyen un Instituto Limnológico y Laboratorios de Limnología.
- Compañías hidrológicas, compañías privadas que dependen o están adscritas al Ministerio del Ambiente y están vinculadas con las actividades de suministro de agua potable y el saneamiento.



## 8. Ejemplos de prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela

En Venezuela se pueden citar ejemplos de prácticas exitosas y no tan exitosas en el manejo de los recursos hídricos y la calidad de las aguas. El Estado venezolano, tal como se ha mencionado anteriormente, tiene una preocupación relevante en lo referente a sus recursos hídricos, y ha promulgado varias leyes y normas regulatorias para asegurar la protección de sus recursos naturales (acuáticos) y la calidad de las aguas suministradas para diversos propósitos. Además, el Ministerio del Ambiente ha invertido una gran cantidad de recursos monetarios para recuperar la calidad de las aguas en algunos embalses, así como también ha invertido bastante tiempo en la organización de las comunidades con la finalidad de capacitarlas para resolver sus problemas y proteger sus recursos naturales. Algunos ejemplos se detallan en las siguientes líneas.

### 8.1 Caso del embalse La Mariposa

El embalse sufre grandes y frecuentes fluctuaciones de su nivel como consecuencia de la alta demanda de agua de la ciudad de Caracas y por el bombeo de agua desde los embalses Camatagua y Lagartijo. Su cuenca está altamente impactada y erosionada, lo cual contribuye directamente con la entrada de altas cantidades de nutrientes y de sedimentos al cuerpo de agua.

En octubre de 2005, el jacinto de agua *Eichhornia crassipes*, también conocido localmente como "bora", comenzó a cubrir la superficie del embalse, lo que afectó aún más la calidad de sus aguas.

Desde enero hasta mayo de 2007 se realizó un proceso de remoción irregular de la macrófita, y debido a esta irregularidad, no tuvo éxito; las plantas cubrieron hasta 85% de la superficie del embalse. En mayo de 2007 se ordenó, desde el Ministerio del Ambiente, la remoción del jacinto de agua. La población de *E. crassipes* fue casi completamente removida en pocos días mediante cosecha mecánica. Sin embargo, la calidad del agua permaneció afectada, tal como puede observarse en el Cuadro 2, debido a que grandes cantidades de materia orgánica, proveniente de las plantas muertas, se acumularon en el lecho del embalse.

**Cuadro 2. Calidad de las aguas en el embalse La Mariposa antes, durante y después de la presencia de *Eichhornia crassipes***

	Enero 2001	Enero 2007	Enero 2008
Transparencia (m)	0,7	1,3	0,3
Temperatura (°C)	24,9	24,6	25,2
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,0	3,8	2,7
Conductividad (µS/cm)	302	347	416
pH	8,05	7,60	8,13
P total (µg/L)	123	153	308
N total (µg/L)	1.383	844	2.261
Condición	Sin <i>E. crassipes</i>	Cubierto con <i>E. crassipes</i>	<i>E. crassipes</i> removida

La remoción del jacinto de agua fue la acción correcta, pero a fines del año 2008 la macrófita aumentó nuevamente su densidad poblacional a niveles elevados debido a la falta de una remoción sistemática de estas plantas. *E. crassipes* cubrió más del 50% de la superficie del agua nuevamente en febrero de 2009, y un nuevo plan de remoción se está aplicando en la actualidad. Las fuentes de eutrofización aún siguen presentes en el embalse y, por ello, si no es controlada, *E. crassipes* volverá a incrementar su abundancia una y otra vez.

### 8.2 Caso del embalse Pao-Cachinche

Los tributarios del embalse transportan aguas servidas sin tratamiento previo desde la ciudad de Valencia, además de aguas servidas provenientes de granjas avícolas y porcinas en sus alrededores. Así, los tributarios introducen grandes cantidades de nutrientes hacia el embalse (González *et al.*, 2004a; 2004b). Las floraciones de Cyanobacteria eran comunes durante el período de lluvias. Por todo ello, el embalse fue catalogado como altamente eutrofizado.

Luego de su caracterización limnológica, ejecutada por el Laboratorio de Limnología de la Universidad Central de Venezuela, fue sugerida una medida de mitigación a las compañías hidrológicas. De esta forma, a partir de noviembre del año 2001 se inició el proceso de desestratificación artificial del embalse, el cual controló efectivamente los efectos de eutrofización después de un año de operación continua, lo que representó el primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad de agua de un embalse en Venezuela (Estaba *et al.*, 2006). Los resultados de la desestratificación artificial se enumeran a continuación:

- Aumento de la transparencia del agua.
- Pérdida gradual de la estratificación térmica.
- Disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto en el epilimnion (estrato superior de temperatura más elevada) en comparación con los valores previos de sobresaturación.
- Oxigenación del hipolimnion (estrato profundo de temperatura más fría).
- Disminución de los valores superficiales de pH.
- Disminución de las concentraciones de amonio, N-Kjeldahl y fósforo total.
- Homogeneización de las condiciones físicas y químicas.
- Disminución de las proporciones relativas de las cianobacterias.
- Ausencia de floraciones de cianobacterias.
- Aumento de las proporciones relativas de algas verdes (Chlorophyta).

Este caso representó un buen ejemplo de interacción entre científicos, planificadores, compañías hidrológicas y universidades, la cual logró el mejoramiento de la calidad del agua potable suministrada a la población. Sin embargo, el embalse Pao-Cachinche fue luego afectado como consecuencia del aumento del nivel de las aguas del lago de Valencia.

A finales de la década de los 70, el lago de Valencia sufrió un proceso natural de desecación, el cual fue acelerado por las actividades humanas, y así alcanzó su nivel más bajo (402 msnm). Desde entonces, el nivel de las aguas fue elevándose debido al desvío de los cursos de agua vecinos, principalmente el río Cabriales, hacia el lago. Como una consecuencia de este desvío, las aguas del lago de Valencia inundaron áreas agrícolas y urbanas, estas últimas construidas a pesar de que los asentamientos humanos estaban prohibidos en sus alrededores.

Debido a estos hechos, aunados a la presión de la población y de los medios de comunicación, desde noviembre de 2005 se desviaron los ríos Maruria y Cabriales desde el lago hacia la cuenca del río Pao a través del río Paito, uno de los afluentes principales del embalse Pao-Cachinche. La alta carga orgánica contenida en estos cursos de agua causó un nuevo agotamiento del oxígeno hipolimnético en la columna de agua del embalse, lo que revirtió todos los beneficios logrados luego de la desestratificación artificial. Actualmente, también se bombea agua del lago de Valencia directamente al río Paito.

Para mitigar esta situación, debe realizarse un tratamiento efectivo de las aguas servidas antes de que sean descar-

gadas a los tributarios del embalse Pao-Cachinche. Debe imponerse un programa de reducción de nutrientes, con una protección real de la cuenca del embalse.

### 8.3 Normas regulatorias

Una de las principales normas regulatorias está representada por el Decreto 883, el cual fue promulgado en el año 1995. Entre otras disposiciones, se establecen límites máximos permitidos para las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las aguas servidas: 10.000 µg/L para el fósforo total, 40.000 µg/L para el nitrógeno total y 10.000 µg/L para los nitratos + nitritos. Estos límites son excesivamente altos y, por eso, en nada contribuyen a mejorar o proteger la calidad de las aguas de los embalses. Actualmente, este decreto debe ser sometido a revisión.

### 8.4 Mesas Técnicas del Agua

El gobierno venezolano ha estimulado a las comunidades para que se involucren en el mejoramiento de sus calidades de vida. Las Mesas Técnicas de Agua (MTA) surgieron como una alternativa para la resolución, en una forma participativa, de problemas relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento ambiental en Venezuela. El gobierno venezolano también creó los Consejos Comunales del Agua, donde convergen todas las MTA para presentar sus problemas y proponer sus ideas (Salazar, 2009). Desde el año 1999 se han conformado organizaciones comunales en zonas rurales y urbanas, las cuales han sido llamadas "Mesas Técnicas de Agua" (MTA), que tienen como objetivo el mejoramiento del mantenimiento de los servicios de suministro de agua potable y saneamiento. Estas MTA se han convertido en un mecanismo fundamental en la organización de las comunidades, además de ayudar al desarrollo de una nueva cultura en lo que a la conservación del agua respecta.

Las Mesas Técnicas de Agua (MTA) son buenos ejemplos de participación de la comunidad. Basadas en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la compañía hidrológica HIDROVEN y sus empresas filiales promovieron la conformación de estas MTA (Arconada, 2005, 2006).

La Constitución Nacional de Venezuela y la Ley Orgánica de Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (LOPSAPS) establecen el marco legal y los mecanismos para la transferencia del manejo de los servicios de agua desde las compañías hidrológicas a los municipios.

Las compañías hidrológicas, conjuntamente con las MTA, son corresponsables del diagnóstico de problemas, diseño y ejecución de proyectos y del ejercicio de funciones contraloras.

El gobierno venezolano creó el Fondo para el Financiamiento de los Proyectos Comunitarios a fin de darle soporte a estas MTA, las cuales se han convertido en una experiencia pionera en el manejo directo de los recursos financieros para la ejecución de los proyectos relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento. Las comunidades han diseñado estos proyectos por sí mismas. Así, el funcionamiento de las MTA es como sigue: las comunidades se reúnen, presentan sus problemas y exponen sus proyectos, y cuando se otorga el financiamiento, se lleva a cabo el trabajo.

Actualmente, en Venezuela operan más de 6.500 MTA. Algunos de sus logros son:

- Más de 1.200.000 habitantes han sido beneficiados.
- Más de 1.000 proyectos han sido ejecutados con una inversión de más de US\$ 100.000.000.
- Inclusión de más de 600.000 habitantes en el sistema nacional de suministro de agua.

Esta estrategia de participación ha contribuido decisivamente con el objetivo principal de extender el acceso de la población al suministro de agua potable y al saneamiento. Además, las comunidades han ido ampliando su intervalo de intereses, ya que inicialmente sólo se preocupaban por los problemas inmediatos de acceso al suministro de agua potable y su calidad, pero ahora también consideran problemas más amplios, incluidos los problemas ambientales en las cuencas de los ríos.

En conclusión, en Venezuela hay un número creciente de comunidades que enfrentan sus propios problemas relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento, lo que aumenta la cobertura nacional de estos servicios (Cuadro 3).

## 9. Conclusiones

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos y experiencias valiosas para su manejo. Sin embargo, numerosos problemas persisten aún, los cuales deben ser afrontados. Las Academias Nacionales de Ciencias, a través del Programa de Aguas de IANAS, podrían contribuir

**Cuadro 3. Cobertura nacional de servicios de agua potable y saneamiento en Venezuela (1998-2003)**

Año	Suministro de agua potable (% de la población)	Recolección de aguas residuales (% de la población)
1998	81,57	63,77
1999	83,66	64,38
2000	85,15	66,96
2001	86,37	68,15
2002	87,65	71,27
2003	89,27	71,69

Fuente: Modificado de Arconada (2005)

mediante las siguientes acciones: promoción de mejores relaciones entre los científicos y los entes y las personas responsables de la toma de decisiones; promoción de cursos de especialización nacionales y regionales; promoción del fortalecimiento de las capacidades científicas entre los países; promoción de proyectos conjuntos; elaboración de guías que promuevan un manejo integrado de los recursos hídricos; promoción de los vínculos entre las agencias gubernamentales y las asociaciones profesionales relacionadas con el manejo de los recursos hídricos; promoción de la articulación entre los grupos científicos en las regiones; promoción de estudios que evalúen el valor ambiental del servicio de agua en términos de bienes ambientales y servicios; sensibilización sobre la necesidad de monitoreo sistemático y a largo plazo; sensibilización para incluir como prioridades en las agendas políticas el tratamiento y disposición de las aguas servidas. Todas estas acciones fortalecerían las capacidades nacionales para un manejo adecuado de los recursos hídricos.

## 10. Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a las compañías hidrológicas HIDROVEN e HIDROCAPITAL, las cuales facilitaron la obtención de las referencias bibliográficas para la elaboración de este manuscrito.

## 11. Referencias

1. Álvarez, M. A., F. Méndez y J. Chirinos (2007). Estudio ambiental preliminar de los sedimentos de tres embalses de la región centro-norte de Venezuela. *Ciencia*, 15: 259-269.

2. Arconada, S. (2005). La experiencia venezolana en la lucha por un servicio de agua potable y saneamiento encaminado a cubrir las necesidades de la población. En: B. Balanyá, B. Brennan, O. Hoedeman, S. Kishimoto y P. Terhorst. Por un modelo público de agua. Triunfos, luchas y sueños. Transnational Institute, Corporate Europe Observatory y El viejo topo, Amsterdam: 141-146.
3. Arconada, S. (2006). Mesas Técnicas de Agua y Consejos Comunitarios de Agua. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, 12: 127-132.
4. Cabrera, A. L y A. Willink (1980). Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico. Serie de Biología N° 13. Washington, D. C., 122 pp.
5. Cañizales, A., S. Peñuela, D. Díaz Martín, M. E. Febres, O. Caldera, L. Valderrama y E. Mujica (2006). Gestión integrada de los recursos hídricos en Venezuela. Informe del Proyecto de Gestión Integrada de Hídricos. Vitales. Caracas, 60 pp.
6. Estaba, M. de, E. J. González y M. L. Matos (2006). Desestratificación artificial en el embalse Pao-Cachinche: Primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad del agua en 17 Venezuela. En: J. G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi y C. Sidagis-Galli (eds.). Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão. Rede EUTROSUL, PROSUL, Instituto Internacional de Ecología. São Carlos, Brasil: 439-456.
7. Gaceta Oficial (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Decreto 883. República de Venezuela. Caracas.
8. Gobierno en Línea (2009). Venezuela. En: [www.gobiernoenlinea.ve/venezuela](http://www.gobiernoenlinea.ve/venezuela) (consulta: 17 de febrero de 2009).
9. González, E. J. (2000). Nutrient enrichment and zooplankton effects on the phytoplankton community in microcosms from El Andino reservoir (Venezuela). Hydrobiologia, 434(1): 81-96.
10. González, E. J. (2002). Caracterización limnológica de los embalses Agua Fría (Estado Miranda) y Tierra Blanca (Estado Guárico). Proyecto S1-98001361. Etapa I: Caracterización limnológica del embalse Agua Fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda). Informe técnico presentado al FONACIT. Caracas.
11. González, E. J. (2008). Eutrofización de embalses en Venezuela. Memorias del Instituto de Biología Experimental, 5: 169-172.
12. González, E. J. y M. Ortaz (1998). Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Revista de Biología Tropical, 46: 27-34.
13. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y M. L. Matos (2002). Eutrofización y manejo de embalses en Venezuela. Caso del embalse Pao-Cachinche. En: A. Fernández-Cirelli y G. Chalar-Marquisá (eds.). El agua en Iberoamérica. De la Limnología a la Gestión en Sudamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED XVII. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos; Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua; Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: 81-90.
14. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera, E. Montes, M. L. Matos y J. Mendoza (2003). Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. Limnetica, 22: 15-35.
15. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y A. Infante (2004). Physical and chemical features of a tropical hypertrophic reservoir permanently stratified. Hydrobiologia, 522: 301-310.
16. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y M. L. Matos (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria. Interciencia, 29: 548-555.
17. González; E. J., M. L. Matos y M. Ortaz (2009a). Management and general problems of ten reservoirs in North-Central Venezuela. Interacademy Panel Water Programme Regional Workshop for the Americas.
18. González, E. J., M. A. Álvarez, M. Barrero y H. Finol (2009b). Limnología y efecto de los impactos antrópicos sobre los peces de interés comercial del embalse de Suata (Estado Aragua) y del Lago de Valencia (Estados Aragua y Carabobo). Informe final de la Etapa I del Proyecto de Grupo PG 03.00.6495.2006. Informe técnico presentado al CDCH-UCV. Caracas.
19. Infante, A., O. Infante, T. Vegas y W. Riehl (1992). Proyecto multinacional de medio ambiente y de los recursos naturales. Informe I etapa (embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo, Venezuela, y Las Canoas, Nicaragua). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas.
20. Infante, A., O. Infante y E. J. González (1995). Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y de

- los Recursos Naturales. Informe final: II etapa (embalses El Andino y El Cují). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas.
21. MINAMB (2006). Recursos hídricos de Venezuela. Ministerio del Ambiente y Fundambiente. Caracas, 167 pp.
  22. MINAMB (2007). Rehabilitación de presas a nivel nacional. Organización para la rehabilitación y mantenimiento de embalses. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB). Serie de Informes Técnicos, DGEA/IT/864. No. X-002/P-129/02 Rev. B. Caracas.
  23. Ortaz, M., E. J. González, J. Manduca, C. Peñaherrera y E. Montes (1999). Características limnológicas de los embalses La Pereza, Lagartijo, La Mariposa y Quebrada Seca y preservación del zooplancton como controlador de microalgas, mediante técnicas de biomanipulación. Informe técnico presentado a las compañías Hidroimpacto C.A. e Hidrocapital. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
  24. Páez, R., G. Ruiz, R. Márquez, L. M. Soto, M. Montiel y C. López (2001). Limnological studies on a shallow reservoir in western Venezuela (Tulé reservoir). *Limnologica*, 31: 139-145.
  25. Rodríguez-Betancourt, R. y J. González-Aguirre (2000). El manejo de los recursos hídricos en Venezuela. Instituto Internacional del Manejo del Agua. IWMI, Serie Latinoamericana N° 18. México, D. F., 42 pp.
  26. Salazar, M. C. (2009). Collective Solutions to Water and Sanitation Problems. En: B. Bell, J. Conant, M. Olivera, C. Pinkstaff y P. Terhorst (eds.). *Changing the Flow: Water Movements in Latin America*. Food and Water Watch, Other Worlds, Reclaiming Public Water, Red VIDA & Transnational Institute, Amsterdam: 36-37.