



Recursos hídricos en Nicaragua

Una visión estratégica

Katherine Vammen¹
Coordinadora

Iris Hurtado¹, Francisco Picado¹, Yelba Flores¹, Heyddy Calderón¹, Valeria Delgado¹, Selvia Flores¹, Yader Caballero¹, Mario Jiménez^{1,2}, Rosario Sáenz³

¹Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

²Facultad de Medicina de la UNAN Managua.

³Fundación Nicaragüense de Desarrollo Sostenible.

1. Introducción

Nicaragua es un país especialmente privilegiado en recursos hídricos. El recurso agua disponible es de 38 668 metros cúbicos por cápita por año ($m^3/cápita/año$), lo que posiciona al país por encima del promedio de Centroamérica. Se destaca que posee aproximadamente cuatro veces la disponibilidad de agua que Estados Unidos o algunos países de Europa como Suiza ([Cuadro 1.1](#)).

En comparaciones en el mundo, la disponibilidad de agua en Nicaragua expresada en escorrentía (m^3) por persona también llega a niveles altos de $>10\,000$ ([Figura 1.1](#)).

Es importante destacar que Nicaragua ha sido evaluado por el sistema de Índices de Desempeño Ambiental (Yale Center for Environmental Law & Policy, 2010) en la categoría *Estrés de agua* (situación de escasez en el territorio al considerar el volumen de agua que tiene que compartir cierta población) con el nivel óptimo mundialmente con un puntaje de 100, con 0% del territorio bajo estrés hídrico. También en la categoría *Escasez de agua* con un puntaje de 100.

Cuadro 1.1. Disponibilidad del recurso hídrico per cápita

País	Recurso hídrico disponible per cápita m ³ /cáp.	
Guatemala	12 121	
Honduras	15 211	
Belice	64 817	
Nicaragua	38 668	
El Salvador	2 876	
Costa Rica	31 318	
Panamá	52 437	
Centroamérica	31 064	
Brasil	32 256	= C.A.
Estados Unidos	8 906	29% C.A.
Reino Unido	2 471	8% C.A.
Suiza	7 427	24% C.A.
Sudáfrica	1 187	4% C.A.
Holanda	5 758	18% C.A.
México	4 742	15% C.A.

Fuente: Banco Mundial, 2001

Sin embargo, el país tiene un nivel de pobreza nacional de 45,8% y de extrema pobreza de 15,1%. En las regiones rurales, dos de cada tres personas son pobres y la extrema pobreza llega a 27,4%, casi una tercera parte de la población. (INIDE, 2005).

Toda la región centroamericana ha sido evaluada con escasez económica de agua por la falta de recursos financieros para utilizar y mantener las fuentes de agua con la calidad adecuada para el consumo humano, lo que implica problemas en la gobernabilidad relacionados con una buena gestión integral del recurso (Figura 1.2).

El mismo sistema de Índices de Desempeño Ambiental evalúa a Nicaragua en la categoría *Calidad de agua* (con información de UNEP/GEMS) con un puntaje de 42,3; así, el país queda en la posición 136 de los 163 países evaluados. La contaminación es resultado del crecimiento de la población en sinergia con la deficiente infraestructura sanitaria (tanto para desechos líquidos como para sólidos) y la ausencia de medidas de ordenamiento territorial que ha provocado el deterioro ambiental que se refleja en la calidad del agua. La continuación de la contaminación ha sido promovida por la tendencia del uso actual de los suelos que no es de acuerdo a su potencial, es decir, la deforestación y conversión de suelos, con potencial para bosque, a pastos para la ganadería u otros sistemas agrícolas. La falta de calidad de agua resulta en problemas que afectan directamente a la población en lo relacionado a la calidad de vida e impactos en la salud (Sección 7).

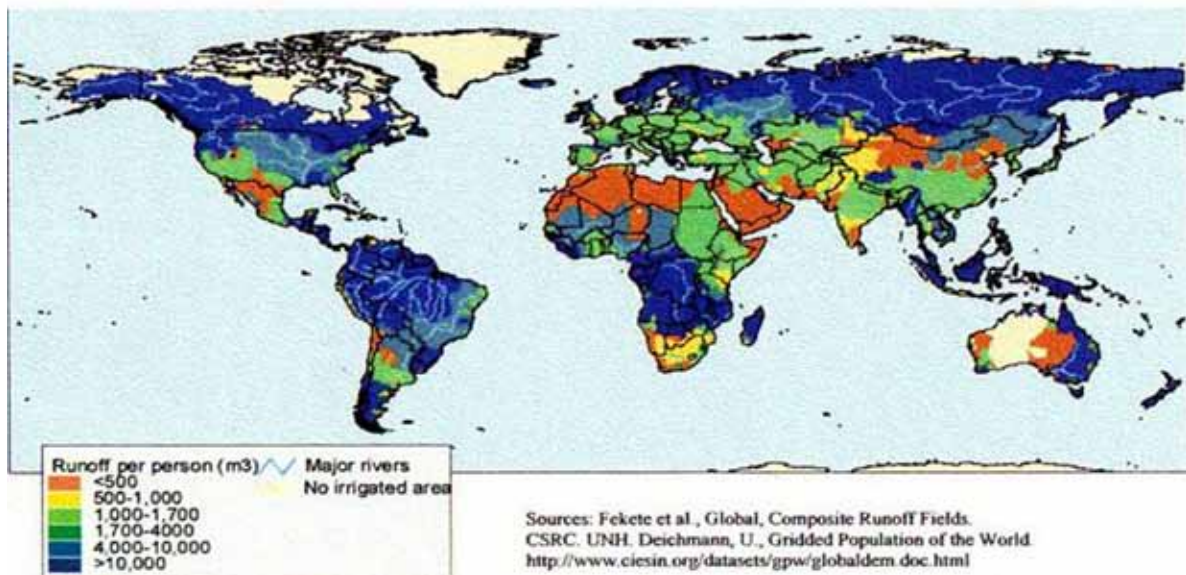
Cuadro 2.1. Áreas y precipitación por cuencas y vertientes

Vertiente del Mar Caribe			
	Nombre de la cuenca/Río principal	Área km ²	Precipitación media anual (mm)
45	Río Coco	19 969	1 927
47	Río Ulang	3 777	2 405
49	Río Wawa	5 372	2 820
51	Río Kukalaya	3 910	2 800
53	Río Prinzapolca	11 292	2 586
55	Río Grande de Metagalpa	18 445	2 095
57	Río Kurinwas	4 457	2 725
59	Río Kurinwas y río Escondido	2 034	3 564
61	río Escondido	11 650	2 722
63	Entre río Escondido y río Punta Gorda	1 593	3 710
65	Río Punta Gorda	2 867	3 552
67	Entre río Punta Gorda y río San Juan	2 229	4 510
69	Río San Juan en Nicaragua	29 824	1 694
Total		117 420	
Vertiente del Pacífico			
	Nombre de la cuenca/Río principal	Área km ²	Precipitación media anual (mm)
58	Río Negro	1 428	1 859
60	Río Estero Real	3 690	1 682
62	Entre río Estero Real y volcán Cosiguina	429	1 881
64	Entre volcán Cosiguina y río Tamarindo	2 950	1 670
66	Río Tamarindo	317	1 175
68	Entre Río Tamarindo y Río Brito	2 769	1 357
70	Río Brito	274	1 316
72	Entre río Brito y río Sapoá	325	1 625
Total		12 183	

Fuente: INETER

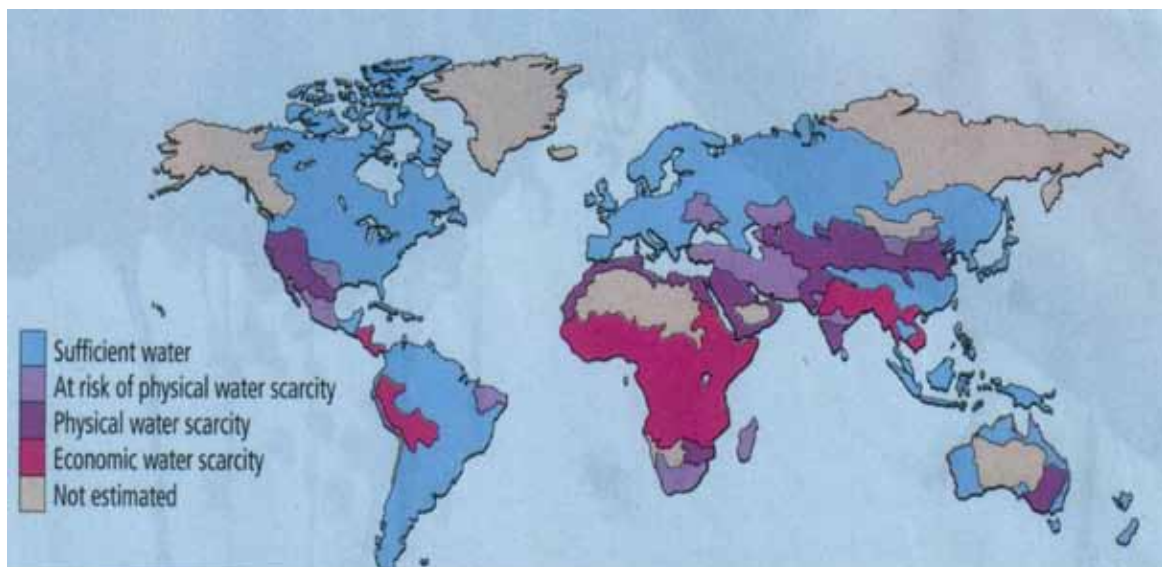
Las condiciones favorables de la disponibilidad del recurso agua en Nicaragua son esenciales y establecen condiciones básicas para mejorar la calidad de agua, la salud humana y para promover el desarrollo económico. La generación de información y mejor comprensión de las condiciones físicas, naturales y económicas, a la par del establecimiento de condiciones institucionales y legales dirigidas a una buena gestión del recurso, son esenciales para promover el desarrollo del país. Un sistema de información sobre los

Figura 1.1. Aguas epicontinentales en el mundo: disponibilidad expresada en escorrentía por persona.



FUENTE: Fekete et al., Global, Composite Runoff Fields.

Figura 1.2. Escasez económica de agua



FUENTE: International Water Management Institute, 2007.

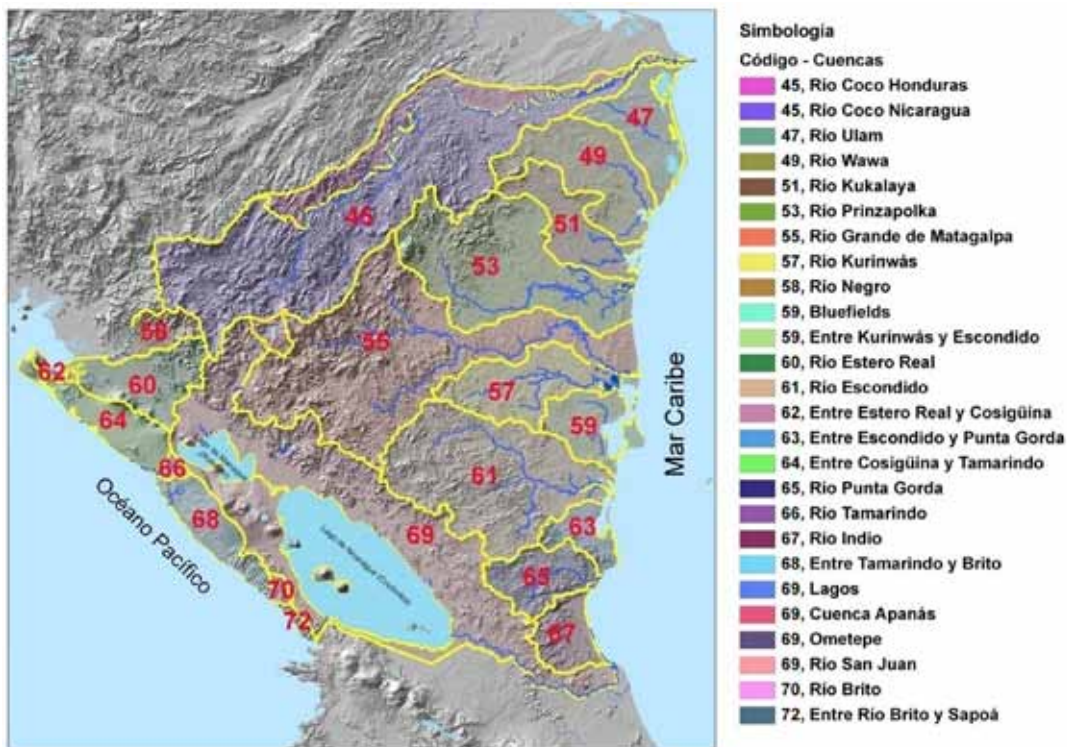
recursos hídricos es un instrumento básico para mejorar la gobernabilidad que influye en la gestión del recurso.

El objetivo de este artículo es presentar información existente y el estado actual de los recursos hídricos tomando en cuenta los factores que influyen en su aprovechamiento, con el fin de ofrecer una visión estratégica dirigida a promover el desarrollo de planes y políticas para la protección y el mejor uso del recurso y su sostenibilidad.

2. Los recursos hídricos de Nicaragua

Hidrográficamente, Nicaragua está dividida en 21 cuencas distribuidas en dos grandes vertientes hidrográficas: la vertiente del Pacífico (de 12 183,57 km²) y la del Mar Caribe (117 420,3 km²) (Cuadro 2.1). La Figura 2.1 ilustra el mapa de las cuencas de Nicaragua.

Figura 2.1. Mapa de cuencas de Nicaragua



Fuente: Elaboración CIRA/UNAN a partir de la delimitación de INETER

Hacia el Atlántico drenan 51 ríos, cuatro descargan al Lago Xolotlán y 12 al lago Cocibolca, mismos que posteriormente drenan a través del río San Juan hacia el Mar Caribe. Las cuencas del Pacífico son más pequeñas con ríos más cortos en longitud. Además, esta zona se distingue por poseer los mejores suelos agrícolas y es donde está concentrada más del 60% de la población total del país (Figura 2.2).

Hacia el Océano Pacífico desaguan directamente 12 ríos. Además de los dos grandes lagos, el país cuenta con 18 lagunas: nueve en la región Pacífica, cinco en la región Central y cuatro en la región Atlántica. También existen cuatro embalses: tres destinados para fines hidroeléctricos y uno para riego y piscicultura. Los abundantes recursos de agua superficial son estacionales y su distribución es desigual. El 93% se encuentra en la zona del Atlántico y sólo 7% en el Pacífico (Cuadro 2.1). Se distinguen cuatro acuíferos principales en el Pacífico y 21 en el Atlántico, incluidas las planicies bajas de los ríos (INETER).

Nicaragua tiene cinco de las 19 cuencas más grandes de Centroamérica, de las cuales dos son cuencas binacionales. La cuenca del río San Juan (Cuenca N° 69) es la segunda más grande de Centroamérica (Cuadro 2.2).

Figura 2.2. Distribución de la población en Nicaragua



Fuente: Elaboración CIRA/UNAN a partir de la delimitación de INETER.

3. Usos del agua

Las estrategias de extracción del recurso hídrico han priorizado el uso de agua subterránea, la cual representa el 70% del volumen de abastecimiento actual de agua potable. De la extracción total de agua en el año 2008, el sec-

Cuadro 2.2. Las 19 cuencas hidrográficas más grandes de Centroamérica

Drenaje	Cuenca	País	km ²
Atlántico	Río Usumacinta	México-Guatemala-Belice	51 190
Atlántico	Río San Juan	Nicaragua-Costa Rica	42 051
Atlántico	Río Patuca	Honduras	24 594
Atlántico	Río Coco	Honduras-Nicaragua	24 345
Atlántico	Río Ulua	Honduras	21 396
Atlántico	Río Motagua	Guatemala-Honduras	18 056
Atlántico	Río Grande de Matagalpa	Nicaragua	17 960
Pacífico	Río Lempa	El Salvador-Guatemala-Honduras	17 883
Pacífico	Río Ocosito	Guatemala	12 944
Atlántico	Río Escondido	Nicaragua	11 518
Atlántico	Río Belice	Belice	10 529
Atlántico	Río Agua	Honduras	10 311
Atlántico	Río Dulce	Guatemala	8 017
Atlántico	Río Sico, Tinto o Negro	Honduras	7 715
Atlántico	Río Choluteca	Honduras	7 430
Atlántico	Río Warunta	Honduras	6 012
Atlántico	Río Hondo	Belize	5 948
Atlántico	Río Wawa	Nicaragua	5 501
Pacífico	Río Chucunaque	Panamá	5 043

Fuente: Yelba Flores

tor agropecuario ha consumido el mayor volumen de agua (83%), seguido por el sector industrial (14%) y luego por el sector doméstico (3%) (Cuadro 3.1). Este mismo patrón de distribución de consumo de agua se ha estimado para los próximos años. El agua que consume la agricultura proviene principalmente de fuentes subterráneas. Estas aguas están concentradas en el Pacífico en los departamentos de León y Chinandega, y los principales cultivos que son regados con estas fuentes son la caña de azúcar, el arroz, el ajonjolí, el tabaco y el sorgo.

La estimación de la demanda total anual de agua en Nicaragua es de 13 462,18 Mm³/año (PHIPDA, 2003).

Según la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) (BCN, (BCN, 2010, Nicaragua en Cifras 2010), la demanda 2010, Nicaragua en Cifras 2010.), la demanda de agua en los últimos 14 años hasta el 2008, la cual no incluye los departamentos de Matagalpa y Jinotega, ha tenido el comportamiento presentado en la Figura 3.1. Se

observa que la industria nicaragüense es uno de los sectores que consume menos agua y cuya demanda permanece relativamente constante, contraria al consumo de agua del sector residencial (Sección 3.2 para más detalles sobre esta información).

La demanda de agua para uso doméstico residencial se ha incrementado anualmente como resultado del alto crecimiento poblacional del país (1,7% anual según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2005, y 1,3% anual según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo [INIDE], 2008). Este aumento oscila entre el 1 y el 2%. Sin embargo, según los datos publicados por el Banco Central de Nicaragua, del 2008 al 2010 el incremento en la demanda de agua por el sector residencial aumentó en casi un 13% (BCN, 2010). A pesar de ello, el suministro municipal no ha aumentado congruentemente. Este crecimiento poblacional se traduce en una mayor presión sobre las fuentes de agua, que aunque la competencia por el uso de este recurso sea cada vez mayor entre los sectores

Cuadro 3.1. Consumo de agua por sector (MAGFOR, 2008; CONAGUA y WWC, 2006) en 2008.

Extracción total de agua en Nicaragua (Mm ³)	Consumo de agua por sector (% Mm ³)		
	Agropecuario	Doméstico	Industrial
1 794.9	83%	3%	14%

ya mencionados, la demanda nacional aumentará año con año. Por otra parte, se estima que 94% de las fuentes de aguas superficiales son renovables, mientras que 70% de las aguas de origen subterráneo no lo son (FAO-Aquastat, 2005) (Secciones 3.5 y 4.1 para más detalles).

3.1 Agua para consumo humano: cantidad y acceso

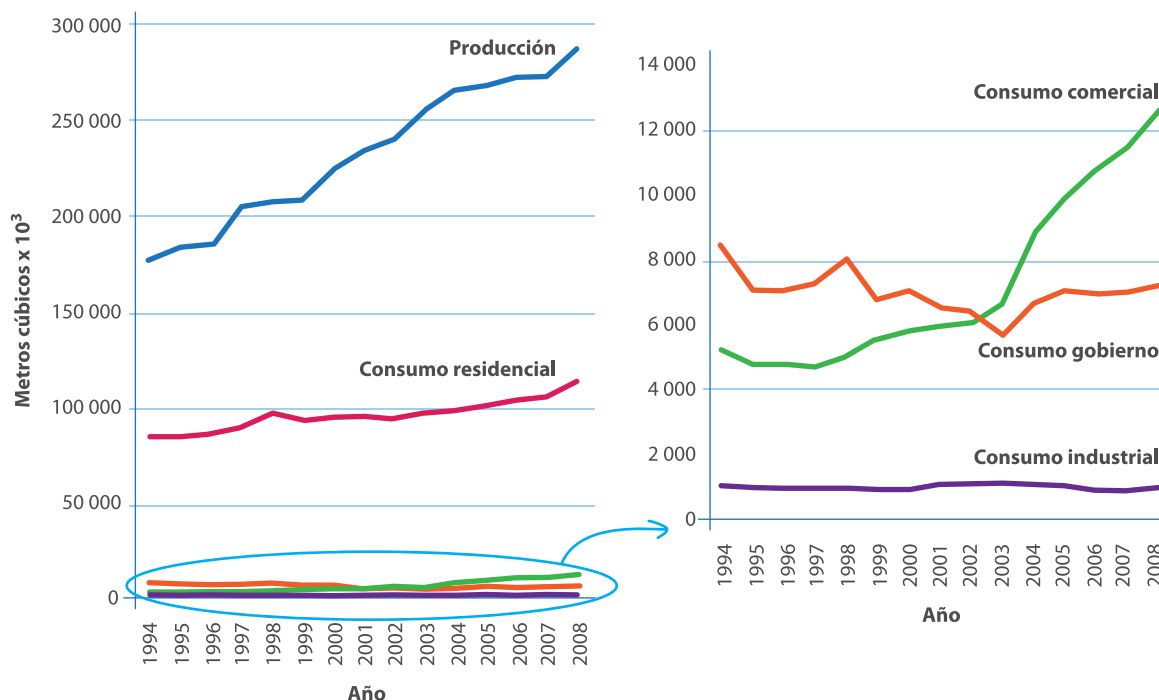
3.1.1 Disponibilidad de agua para consumo humano

Aunque Nicaragua cuenta con abundantes fuentes de agua superficial y subterránea de tal modo que la cantidad de este recurso es la suficiente para satisfacer la demanda actual, estas fuentes son estacionalmente dependientes y por eso las estimaciones acerca de la disponibilidad de agua en el país difieren entre los datos publicados. Estas estimaciones van desde 137 448 hasta 192 690 Mm³/año (PANic, 2001–2005; FAO Aquastat, 2005), y sólo 7% corresponden a la vertiente del Pacífico del país. Si se asume el dato de disponibilidad de 192 690 Mm³/año y el dato de la población actual nicaragüense de 5 995 928 habitantes al 2010 (<https://cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>), la cantidad de agua anual per cápita sería de 32,14 × 1 000 m³.

A pesar del gran volumen de agua superficial disponible en el país, la principal fuente de suministro es de origen subterráneo debido a que las aguas superficiales presentan más problemas de contaminación. Las aguas subterráneas se encuentran en acuíferos aluviales cuaternarios y coexisten con arenas piroclásticas terciarias y depósitos volcánicos cuaternarios, en fracturas, en la depresión de Nicaragua y en las planicies del Pacífico y del Caribe. Los principales acuíferos están ubicados en la región del Pacífico debido a que la formación geológica favorece la presencia del agua subterránea (Figura 3.2). Como se mencionó anteriormente, esta fuente de agua constituye el recurso principal para la agricultura en esta zona del país. Al contrario, la región del Atlántico —llamada también la Costa Atlántica—, la más extensa del país (46 600 km²), presenta mayor disponibilidad de recursos hídricos superficiales, mientras que la región Central presenta condiciones intermedias con algunos ríos de caudal constante y valles de agua subterránea productivos.

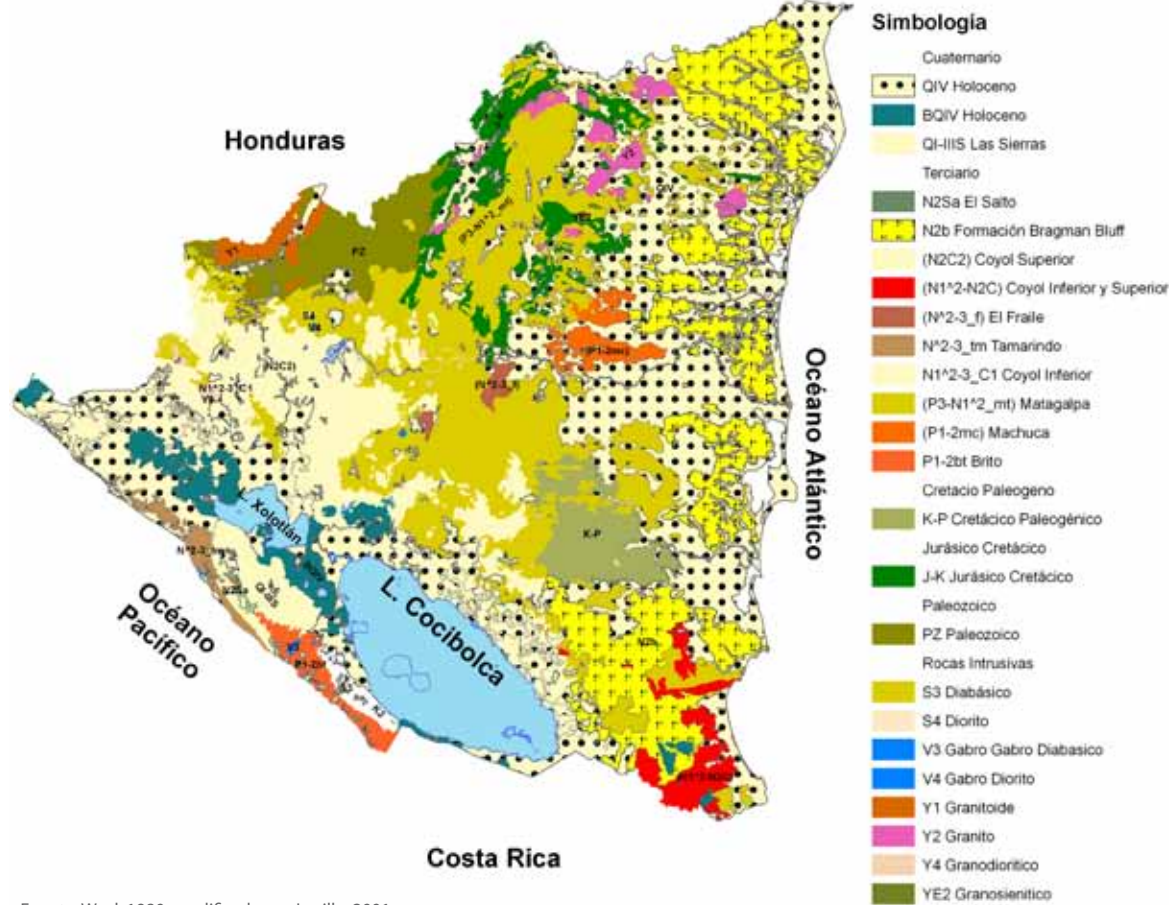
El mayor potencial de agua superficial para agua de consumo está concentrado en el lago Cocibolca, que tiene un área de 8 264 km², para un volumen promedio de descarga hacia el río San Juan de 12 614,4 Mm³/año. El lago ha sido

Figura 3.1. Consumo facturado y producción nacional de agua



Fuente: BCN, Anuario Estadístico 2001-2008. Estos datos no incluyen los departamentos de Jinotega y Matagalpa.

Figura 3.2. Consumo facturado y producción nacional de agua



Fuente: Weyl, 1980, modificado por Losilla, 2001

declarado como reservorio natural destinado en un futuro para uso de consumo humano y riego en la Ley General de Aguas Nacionales, Ley 620 (La Gaceta, 2007b).

3.1.2 Disponibilidad de agua superficial

La disponibilidad de agua superficial en Nicaragua es de aproximadamente 309 284 Mm³/año (IEA-MARENA, 2001). De esta cantidad de agua superficial, aproximadamente 44% conforma la escorrentía superficial nacional. Sin embargo, estos datos son aproximaciones de los valores reales debido a que la información hidrométrica no cubre todas las cuencas hidrográficas. De las 21 cuencas hidrográficas existentes, ocho drenan al Océano Pacífico y el resto hacia el mar Caribe. Las cuencas del Pacífico cubren aproximadamente 10% del territorio nacional, en donde las precipitaciones varían de 500 mm a 1 000 mm a lo largo del año. En la vertiente del Caribe, las precipitaciones alcanzan valores de hasta 4 000 mm al año. La Figura 3.3 ilustra la distribución de la precipitación pluvial. Las zonas de menor precipitación son las más vulnerables en eventos de sequía.

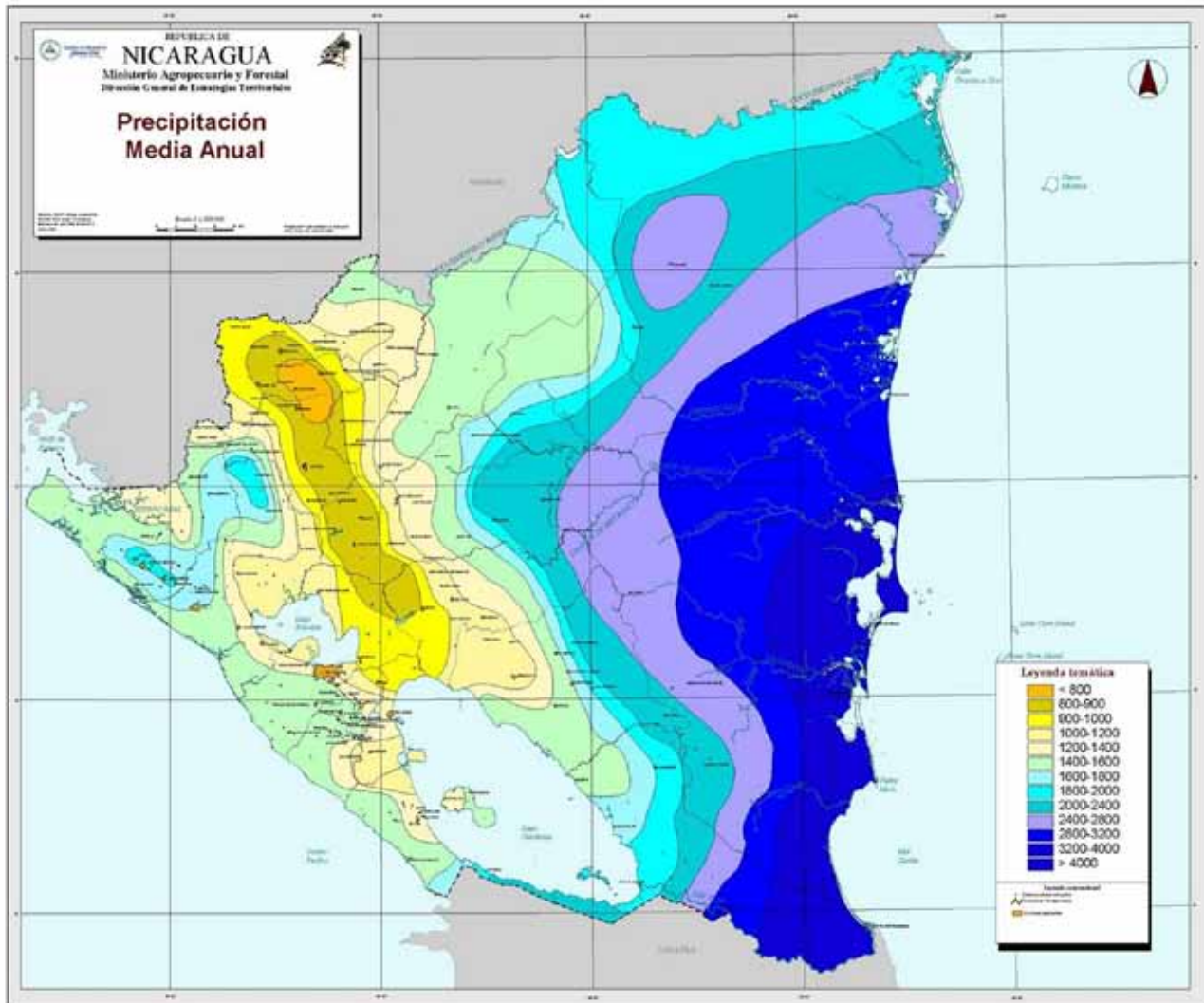
Entre los cuerpos de aguas superficiales permanentes, intermitentes y temporales existentes en el país hay alrededor de 63 ríos. Los grandes lagos nicaragüenses son el lago Cocibolca, con un área superficial de 8 133 km², y el Xolotlán, con una superficie de 1 016 km² (GWP CA, 2006). De las 21 cuencas hídricas, dos tienen carácter transfronterizo: a) la cuenca del río Coco, con una extensión de 24 476 km², de los cuales 21% pertenece a Honduras, y b) la cuenca del río San Juan, con 41 870 km², de los cuales 32% es territorio costarricense.

Como ya se mencionó, los abundantes recursos de agua superficial de Nicaragua son estacionales y su distribución es desigual. El Cuadro 3.2 muestra una estimación de la disponibilidad de los recursos hídricos nacionales y por región presentada por OPS-OMS.

3.1.3 Disponibilidad de agua subterránea

Las fuentes principales de aguas subterráneas en el país están concentradas en la región del Pacífico y se consideran

Figura 3.3. Precipitación media anual



Fuente: MAGFOR, 2002

las más importantes por el potencial disponible debido a las buenas condiciones de recarga. Los principales acuíferos en la región del Pacífico, en su mayoría de carácter freático, corresponden a sistemas de reservorios asociados a depósitos volcánicos del Plioceno al cuaternario reciente, lo cual hace posible estimar el potencial de agua subterránea en el orden de los 2 959 Mm³/año (GWP CA, 2006). En la región Central las estimaciones de disponibilidad de las aguas subterráneas son de 172,3 Mm³/año (GWP CA, 2006), mientras que en la región del Atlántico la OPS-OMS ha reportado un dato de 30 Mm³/año (OMS, 2004) (Cuadro 3.2). Los acuíferos del Atlántico no han sido estudiados en detalle, por lo que se carece de información sobre los mismos.

Aproximadamente 90% del abastecimiento de agua potable en el país proviene de pozos. Como se ha mencio-

nado anteriormente, los recursos subterráneos son más abundantes en el Pacífico debido al medio hidrogeológico favorable para infiltración y almacenamiento de agua. En la región Central predominan acuíferos con reservas para abastecimiento de comunidades pequeñas desarrollados principalmente en medio fracturado. Otros datos de la estimación de la disponibilidad de algunos acuíferos de la región del Pacífico y de la región Central reportados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) se presentan en el Cuadro 3.3.

3.1.4 Acceso a los recursos hídricos

El acceso al agua se presenta en términos de cobertura de abastecimiento nacional; sin embargo, es necesario señalar que, aunque se han cuantificado volúmenes suficientes tanto de agua superficial como de agua subterránea,

Cuadro 3.2. Disponibilidad de recursos hídricos en el país (OPS-OMS, 2004)

Región	Agua superficial (Mm ³)	Agua subterránea (Mm ³)	Total (Mm ³)
Pacífico	4 023	2 862	6 885
Central	18 798	172	18 970
Atlántico	72 192	30	72 222
Total	95 013	3 064	98 077

Mm³: millones de metros cúbicos

se presentan serias deficiencias en el acceso domiciliario. Aunque el país cuenta con un gran potencial de agua —el volumen total de las fuentes de agua renovables es de aproximadamente 197 km³/año (FAO-Aquastat, 2005)—, el suministro actual no cubre en su totalidad la demanda de los sectores doméstico, agrícola e industrial (Secciones 5.1 y 5.11 para más detalles, específicamente para la zona rural).

3.2. Usos industriales

El número de industrias grandes en Nicaragua para la década de los 90 era de 260, de las cuales 234 estaban ubicadas en el Pacífico. De este número, las industrias de alimentos y bebidas eran las más numerosas, y en la actualidad estas industrias están catalogadas como las más contaminantes. La industria nicaragüense se abastece de agua subterránea; sin embargo, el gasto de agua por este sector económico es pequeño comparado con el consumo de otros sectores (Figura 3.1). Según datos reportados en el Informe Estado del Ambiente en Nicaragua (IEA-MARENA, 2001), la industria y la agricultura juntas extraen unos 7,0 Mm³. Sin embargo, a pesar de que la industria es el sector que consume menos agua en Nicaragua, el índice de consumo industrial es superior al índice de las normas internacionales (IEA-MARENA, 2001).

El sector industrial aporta casi 30% del producto interno bruto (PIB) nicaragüense. En los países altamente endeudados, este porcentaje es de 26% (WWAP, 2006). Entre las principales industrias destacan la de la construcción, la manufactura y la minería. La industria manufacturera está conformada principalmente por bebidas, alimentos, tabaco, metal-mecánica, pinturas, textil, química farmacéutica, lácteos y madera, las cuales funcionan con un porcentaje importante de agua. Sin embargo, el volumen es mucho menor al consumido por otros sectores (Figura 3.1). Esto se explica porque la mayoría de las grandes industrias del país poseen fuentes propias de abastecimiento de agua (ENACAL, 2005), las cuales son de origen subterráneo, pero como **no han sido registradas ni son facturadas**, no se cuenta con datos de extracción. Una parte de

la industria es abastecida por la ENACAL (INEC, 2003). El Cuadro 3.4 muestra los datos históricos del consumo de agua en las industrias abastecidas por la ENACAL. En el año 2008, la ENACAL facturó 745,4 Mm³ (23,64 m³/s) de agua a las industrias que abastece.

En Nicaragua el consumo de agua para la industria se estima en 14% (Cuadro 3.1) de la extracción total anual de agua (CONAGUA y WWC, 2006). Como antes se mencionó, se carece de un dato exacto del consumo de agua para la industria debido a que la empresa distribuidora de agua no abastece a todas las empresas.

Cuadro 3.3. Disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos

Cuencas subterráneas	Potencial estimado (Mm ³ /año)
Región del Pacífico	
León–Chinandega	462
Nagarote–La Paz Centro	114
Tonalá–Río Negro–Estero Real	54
Los Brasiles–Chiltepe	4,5
Tipitapa–Malacatoya	118
Managua–Granada	75
Nandaime–Rivas	120
Meseta de Carazo	75
Valles Costa Pacífico Sur	40
Sinecapa–Río Viejo	114
Punta Huete	40
Costa Este Lago de Nicaragua	150
Región Central	
Valle de Jalapa	10
Valle de Ocotal	5
Valle de El Júcaro	5
Valle de San Juan de Limay	5
Valle de Estelí	5
Valle de El Sauce	10
Valle de Sébaco	23

Tomado de www.ineter.gob.ni (Mm³: millones de metros cúbicos)

Cuadro 3.4. Producción y consumo facturado por la empresa distribuidora de agua ENACAL

Año	Volumen de producción	Consumo facturado (Mm ³ /año)					Total
		Residencial	Comercial	Industrial	Gobierno	Municipal	
1995	182 753.7	85 331.5	4 683.4	711.8	7 041.4	97 056.3	97 768.1
1996	184 760.0	86 665.7	4 631.1	719.9	6 970.0	98 266.8	98 986.7
1997	203 776.5	88 549.3	4 562.8	737.5	7 168.5	100 280.6	101 018.1
1998	207 735.5	95 964.1	4 896.5	776.0	7 864.5	108 725.1	109 501.1
1999	208 172.6	92 623.1	5 437.7	708.5	6 688.6	104 749.4	105 457.9
2000	224 022.8	94 557.5	5 694.7	739.8	6 897.2	107 149.4	107 889.2
2001	233 217.5	96 245.3	5 863.2	846.2	6 425.4	108 533.9	109 380.1
2002	240 499.4	94 239.8	5 958.6	848.8	6 342.5	106 540.9	107 389.7
2003	254 961.8	96 832.0	6 546.0	875.8	5 632.2	109 010.2	109 886.0
2004	264 930.3	98 599.7	8 853.6	838.0	6 600.2	114 053.5	114 891.5
2005	267 609.7	99 852.0	9 865.5	815.2	6 996.0	116 713.5	117 528.7
2006	271 065.5	103 336.7	10 742.2	756.8	6 874.6	120 953.5	121 710.2
2007	272 960.8	105 100.3	11 520.0	692.7	6 894.2	123 514.5	124 207.2
2008	286 974.0	112 519.6	12 701.2	745.4	7 120.0	132 340.8	133 086.2

Fuente: Datos no publicados.

3.2.1 Características de la industria nacional

La actividad industrial en Nicaragua se ha limitado a pocos aspectos por concentrarse el desarrollo económico en el rubro agropecuario. Un número importante de empresas industriales aún se encuentran operando con maquinaria obsoleta, lo que les resulta en altos costos de producción y un alto consumo de agua; sin embargo, existen industrias destacadas que cuentan con tecnología actualizada. Por otro lado, algunas industrias han realizado esfuerzos en el desarrollo de tecnología local, entre las cuales pueden mencionarse la industria alimenticia, la de la madera y la industria del cuero (MIFIC, 2006).

Aproximadamente 581 industrias manufactureras están concentradas en la ciudad de Managua (INEC, 2003), lo que podría representar más del 18% del total del país (MARENA, 2001). Estas industrias pertenecen mayoritariamente a las ramas de alimentos, mineral no metálica o material de construcción, textiles, vestuarios y calzado y química (refinado de petróleo, producción de fármacos, jabones, pinturas, etc.), de las cuales 190 pertenecen a la mediana y gran industria de Managua (ENACAL, 2005).

3.2.2 Fuentes de agua para el uso industrial

Al igual que en otras sociedades humanas (WWAP, 2006), la industria en Nicaragua se ha asentado estratégicamente cerca de las fuentes de agua limpia (aguas superficiales, aguas subterráneas) para el aprovechamiento de este recurso productivo. Un alto número de industrias se concen-

tran en el parque industrial de Managua establecido en la franja costera del lago de Xolotlán. También las industrias buscaron cuerpos de agua como receptores de sus aguas efluentes. La mediana industria posee fuentes propias de abastecimiento de agua (ENACAL, 2005) a través de pozos perforados, los que aún no han sido inventariados. El resto de la industria es abastecida por la ENACAL (INEC, 2003). Las tecnologías de procesamiento actuales que se emplean no permiten un aprovechamiento máximo del agua que pasa a formar parte de los efluentes industriales.

3.2.3 Uso y consumo industrial del agua

El agua en la industria es utilizada como materia prima, solvente, medio de transporte, medio de calefacción o enfriamiento, etc. Según datos del Banco Mundial (2001), el volumen de agua utilizado por la industria nicaragüense en el año 2000 fue de 30,0 Mm³. Este consumo no coincide con los datos facturados ese mismo año por ENACAL (Cuadro 3.4), lo cual así representa sólo 2,5% del consumo reportado por el Banco Mundial del año 2000 (Figura 3.1).

El valor agregado industrial (IVA) y la productividad industrial del agua, definido como la relación entre el IVA y el volumen de agua extraído anualmente por la industria desde las fuentes de suministro, para el año 2000 fue de US\$0,48 billones y 14,34 US\$/m³, respectivamente (WWAP, 2006). El IVA para el año 2005 fue de aproximadamente US\$0,75 billones. Aunque este valor supera el de

años anteriores, se mantiene inferior al IVA del resto de Centroamérica (WWAP, 2006).

Los bajos niveles en la productividad industrial del agua reflejan la valoración irreal del recurso y su mal uso en la industria. Esto es común en países donde son bajas las tarifas para el agua de uso industrial, como el caso de Nicaragua. En otros países de Centro América la productividad industrial del agua oscila entre 9 y 17 US\$/m³.

El consumo de agua facturado para uso industrial en los años 2000, 2001 y 2002, sin incluir los departamentos de Matagalpa y Jinotega, fue de 739 775, 847 085 y 849 236 m³, respectivamente, de los cuales entre 60 y 65% se consumen en las industrias de Managua (INEC, 2003). Para este período se facturaron aproximadamente 812 000 m³, que representa 0,75% del promedio total de consumo facturado 233×10^6 m³ para todo el sistema: industrial, gobierno, residencial, comercial (INEC, 2009).

Como puede observarse en la [Figura 3.1](#), el consumo facturado de agua para el sector industrial se mantiene constante desde los años 90 hasta el 2008; sin embargo, no significa que no ha habido un aumento en el consumo de agua por este sector. Aún no existe el sistema de "cobro de cánones por el uso, aprovechamiento, vertido y protección de los recursos hídricos" como está estipulado en la Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales, establecido en 2007.

3.3 Usos agropecuarios

Históricamente la principal actividad económica del país ha sido la agropecuaria y tiene una de las más altas tasas de uso de suelo agropecuario en Centroamérica ([Cuadro 3.5](#)).

Los reportes del Banco Central de Nicaragua en su Anuario Estadístico 2001-2008 indican que al año 2008 el aporte

de los sectores agricultura, ganadería, silvicultura y pesca representaron el 19,1% del PIB. Este dato indica que las actividades agrícolas mantienen un lugar importante en la economía del país. El porcentaje de ocupados en la actividad económica de agricultura y pecuaria ha sido registrado con el valor más alto de todas las actividades, el cual oscila entre 27 y 30% del 2000 al 2008 (BCN, 2009: basado en proyecciones de cifras originales del INIDE, Encuesta de Hogares para la Medición de Empleo, 2005). La ganadería representa del 9 al 10% del PIB nacional y su actividad ha sido constante en la última década (CONAGAN, 2009).

Es importante destacar que la contribución al PIB disminuyó del 20,1% en 2006 al 19,1% en 2008 como resultado de los efectos del huracán Félix, que causó pérdidas considerables en el sector. El desarrollo de las actividades agrícolas de Nicaragua está estrechamente vinculado a la disponibilidad de agua. Los indígenas practicaban la agricultura de subsistencia y se asentaban a las orillas de fuentes de agua. La época colonial definió la inserción del país al mercado mundial en el rubro agroexportador, situación que ha prevalecido hasta hoy en día sin tendencia de cambio. Los mejores suelos fértiles en Nicaragua se localizan en las vertientes del Pacífico donde hay disponibilidad de agua de buena calidad. En la actualidad, en todo el territorio nacional las áreas regadas oscilan entre las 30 000 y 50 000 ha, y los principales cultivos irrigados son los siguientes: caña de azúcar (66%), arroz (25%), banano (3%) y frutales, hortalizas, granos básicos (1%) (IEA-MARENA, 2001). En la zona Central las corrientes de agua superficial no cubren toda la demanda de la región y las fuentes de agua subterránea son más limitadas.

El lago Cocibolca ha sido considerado como una posible fuente para la irrigación futura de cultivos, pues se estima que su potencial para riego es del orden de 15 000 Mm³ año (IEA-MARENA, 2001).

Cuadro 3.5. Uso de suelo para la agricultura en Centroamérica

País	Uso de suelo agrícola (% del área total)	% agrícola del PIB (%1999)	% suelos bajo riesgo
Guatemala	41.6	23	6.6
Honduras	6.1	19	3.4
Belice	77.4	10	4.4
Nicaragua	32	16	3.7
El Salvador	62.3	32	3.2
Costa Rica	55.7	11	25
Panamá	28.6	7	4.9
	43.4	16.8	7.3

Fuente: World Bank: Agricultural Land Use; Selected Countries, 2001

3.3.1. Antecedentes históricos

En Nicaragua, el 1.82% (2 372,73 km²) de la extensión total territorial es ocupada actualmente por cultivos permanentes. La agricultura bajo riego en Nicaragua se inició en la década de los años 50. Las zonas de riego se localizan en los departamentos de León y Chinandega, en el perímetro de los lagos de Nicaragua y Managua y en Nandaime-Rivas, y en la región Central norte, en las zonas del valle de Sébaco y valles de Estelí y Jalapa.

Al inicio de la década de los 70 se estimaba que el área con infraestructura de riego superaba las 40 000 hectáreas, básicamente por aspersión convencional y gravedad, con un volumen de agua subterránea disponible bajo un régimen de explotación intensiva de 1 076 Mm³ (Cuadro 3.6). Para 1978 el área de riego se extendió hasta 70 000 hectáreas. A principios de la década de los 80 se empiezan a usar los sistemas de riego por aspersión con pivote central automatizado, los cuales, en la actualidad, están en estado de semiabandono (FAO, 1992).

En cuanto a las aguas superficiales, un volumen de 4 977 340 m³ se proyecta en la irrigación de 36 970 Mz a través de seis embalses (Cuadro 3.7).

La evolución histórica del área irrigada fue en incremento hasta el año 1991 (Cuadro 3.8). Sin embargo, a partir de 1993 los registros reportan una disminución como consecuencia, principalmente, del deterioro de los equipos de bombeo por falta de mantenimiento (altos costos de importación de repuestos) y falta de asistencia técnica en el manejo de los equipos. Asimismo debido a los incrementos

Cuadro 3.6. Disponibilidad de aguas subterráneas en 1973

Cuenca	Área (km ²)	Volumen anual disponible ¹ (Mm ³)	
		A	B
León-Chinandega	1 548	462	528
Villa Salvadorita	217	29	54
Nagarote	562	54	114
Los Brasiles-Chiltepe	123	4	5
Tipitapa	938	44	118
Nandaime-Rivas	456	48	120
Sinecapa-Viejo	585	54	114
Sébaco-Darío	259	12	23
Total	4 688	707	1 076

¹ A. Sin modificar substancialmente las condiciones actuales del acuífero

¹ B. Régimen de "explotación intensiva"

Nota: no se tiene información de las zonas de Somotillo-Estero Real, Costa Norte del Lago de Managua, Valles de Estelí y Jalapa

Fuente: Catastro e inventario de recursos naturales 1973

Cuadro 3.7. Proyección de utilización de corrientes superficiales (con embalses) en 1973

Sitio	Río	Volumen de presa ¹ (m ³)	Área re-gable (Mz) ²
Mata de Caña	Villanueva	529 840	13 850
Mata Palo	Negro	1 109 660	10 840
Juigalpa	Mayales	201 600	2 830
Toro Negro	Sinecapa	304 140	1 890
La Calabaza	Grande-Matagalpa	1 645 110	3 220
Mal Paso	Villanueva	1 186 990	4 340
Total		4 977 340	36 970

¹ Volumen de captación en base de cálculos del Bureau of Reclamation

² Sobre la base de una lámina de 1 750 mm anuales calculados a la presa

Fuente: Tabla modificada de Diagnóstico de Posibilidades de Riego, 1977

Cuadro 3.8. Evolución histórica de la superficie de riego

Año	Área (ha)
1970	63 000
1985	86 000
1991*	93 000
1993	30 000
Estimado 1996	61 000
Estimado ¹ 1998	61 000

* Máximo histórico ¹ Criterio del consultor Fuente: CCO 2001.

Cuadro 3.9. Uso del agua subterránea por sector, 1991

Sector	Extracción (Mm ³)
INAA/ENACAL	98,01
Municipal	6,65
Industrial	5,88
Agrícola	1,24
Total	111,82

Fuente: Kokusai, Kogyo, 1993. Resumen del Estudio de Suministro de Agua en Managua

Cuadro 3.10. Estimados de eficiencia en irrigación por tipo y fuente de agua

Sistema	Fuente de agua	Eficiencia
Rocío/Pivote	Agua subterránea	63%
Gravedad	Agua subterránea	51%
Arroz	Agua subterránea	63%
Rocío/Pivote	Agua superficial	42%
Gravedad	Agua superficial	34%
Arroz	Agua superficial	42%

Fuente: PARH, 1997. Plan de Acción de los Recursos Hídricos en Nicaragua

de la tarifa de energía para el sector riego y a las frecuentes interrupciones en el suministro de energía que han contribuido a la disminución del área regada (CCO, 1998).

En 1991, los usos y necesidades agrícolas de agua subterránea comparados con las extracciones de la ENACAL para uso doméstico o el sector industrial son muy pequeños (Cuadro 3.9). Se estima un potencial subterráneo para irrigación de 17 196 Mm³ y superficial de 16,23 Mm³, incluidos el lago de Nicaragua con 15 800 Mm³, el río Viejo con 100 Mm³ y tres posibles reservorios de 100 Mm³ (CCO, 2001).

En la región del Pacífico aproximadamente 30% del potencial de agua subterránea y 15% del agua superficial explotable es usada. La mayor parte del agua capturada (subterránea y superficial) se usa para irrigación de 75 000 hectáreas (CCO, 2001).

El Cuadro 3.10 muestra la eficiencia mundial por método de irrigación y fuente de agua con sistemas en buenas condiciones. Sin embargo, la eficiencia se reduce debido al deterioro de los sistemas de pivote o roció; a la falta de nivelación en los sistemas por gravedad, y a la falta de asistencia técnica y mantenimiento de los sistemas. La eficiencia del sistema tipo arroz es alta debido a la permeabilidad de los suelos. El grado general de eficiencia de los sistemas de irrigación en el país se estima en menos de 20%.

3.3.2 Situación del riego en Nicaragua

Se han considerado once unidades de planificación (Cuadro 3.11), con una superficie total de unas de 61000 hectáreas y denominadas "área regable actualmente", que cuentan con infraestructura para riego.

El área disponible para suelo hasta una altura de 200 msnm es de aproximadamente 1 200 000 hectáreas (Cuadro 3.11). Teniendo en cuenta además la disponibilidad de agua, especialmente las aguas del Lago Cocibolca, se ha determinado un área adicional de 230 000 hectáreas.

3.4 Otros usos

Del total de recursos hidroeléctricos con que cuenta Nicaragua, el 94% está concentrado en la vertiente del Atlántico. De acuerdo con la disponibilidad hídrica de Nicaragua, se estima en hasta 3 760 MW el potencial de energía hidroeléctrica que se podría generar. En el año 2000, la generación hidroeléctrica en el país representó el 8,0% del total de energía que se generaba en ese entonces para un consumo per cápita de 474 kWh. Sin embargo, actualmente la generación de energía hidroeléctrica ha venido en aumento y el consumo per cápita sigue siendo el más bajo de la región.

3.4.1 Hidroeléctricas

La demanda de energía eléctrica en Nicaragua, tanto como servicio para la población como para todas las actividades de desarrollo, se encuentra parcialmente satisfecha debido a la dependencia del país de la importación de petróleo. Las plantas hidroeléctricas representan, al año 2006, el 10% de la electricidad producida en Nicaragua. La compañía pública HIDROGESA opera las dos plantas existentes (Centroamérica y Santa Bárbara). Ante esto, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha identificado el potencial y el nivel de aprovechamiento de energía renovable para el país, el cual se resume en el Cuadro 3.12.

Cuadro 3.11. Disponibilidad y área potencial de riego con el área potencial máxima de riego en base a suelos y recursos hídricos disponibles

Disponibilidad de tierras y área potencial de riego		Área con potencial máximo de riego con base en suelos y recursos hídricos disponibles			
Zonas	Área total (ha)	Regiones	Fuente	Unidad de planificación	Área
Golfo de Fonseca (Pacífico)	162 800	Pacífico Norte	Superf./Subterránea	1 y 2	71 000
Lago de Managua (Central-Lacustre)	138 300	Pacífico Central	Subterránea	3-7	18 000
Cosiguina-Tamarindo (Pacífico)	178 600	Pacífico Sur	Subterránea	4	3 200
Carmen-Bahía Salinas (Pacífico)	185 500	Inferior Norte	Subterránea	11	800
Lago de Nicaragua (Lacustre)	436 700	Inferior Central	Superficial	8 y 11	6 800
Valles Intermontanos	108 200	Inferior Sur	Subterránea	9 y 10	13 000
		Lago de Nicaragua	Superficial	5, 9 y 10	120 000
Total	1 210 100	Total	70% superficial/ 30% subterránea		232 800

Fuente: CCO, 1998

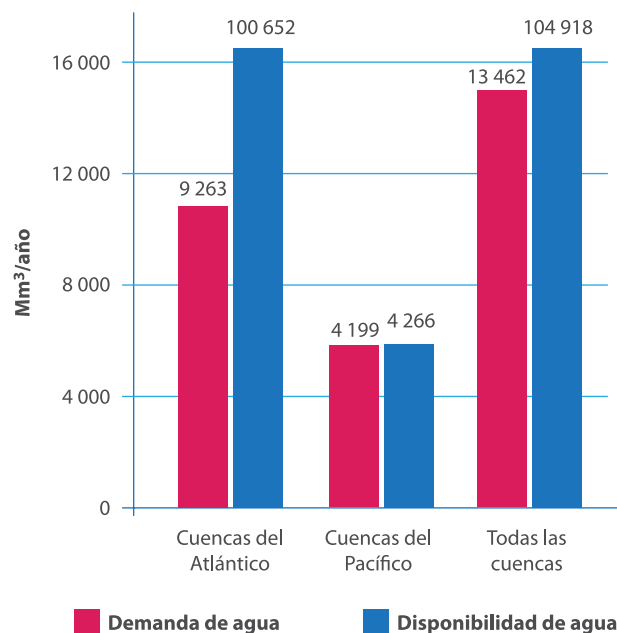
lo que ha resultado en la pérdida de volumen de almacenamiento por sedimentación. También es importante que se consideren los efectos climáticos globales a largo plazo una vez que sean aprobados estos proyectos.

3.5 Demanda versus disponibilidad

La disponibilidad nacional de agua es suficiente para cubrir la demanda existente. En la [Figura 3.5](#) se ilustra que la disponibilidad total de agua de todas las cuencas es suficiente para cubrir la demanda existente. Sin embargo, para las cuencas que drenan al Pacífico, si bien es cierto que actualmente la disponibilidad es mayor a la demanda, la brecha existente es poco significativa, y apunta, por lo tanto, a un problema de escasez en años futuros. De hecho, la Cuenca N° 64 (entre Cosigüiná y Tamarindo) ya ha sufrido desabasto por falta de una buena distribución de agua y por sobreexplotación del acuífero para uso agrícola, en especial en la estación seca (noviembre a abril) (MARENA, 2008a).

La demanda de agua según proyecciones de la población por departamento se presenta en el [Cuadro 3.14](#).

Figura 3.5. Estimaciones de demanda total de agua en Mm³/año



Fuente: PHIPDA, 2003.

Cuadro 3.14. Proyecciones de población y demanda de agua actual en el país

Departamento	Población año 2010 (habitantes)			Demanda de agua año 2010 (Mm ³ /año)	
	Total	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Nueva Segovia	246 466	101 544	144 922	7,36	9,06
Jinotega	374 875	80 223	294 652	5,82	18,42
Madriz	146 964	45 118	101 846	2,94	6,37
Estelí	216 057	127 474	88 583	9,24	5,54
Chinandega	394 373	235 441	158 932	17,07	9,93
León	364 763	215 210	149 553	15,60	9,35
Matagalpa	518 004	193 215	324 788	14,01	20,30
Boaco	158 320	49 712	108 607	3,24	6,79
Managua	1 353 897	1 225 277	128 620	88,83	8,04
Masaya	317 044	175 642	141 401	12,73	8,84
Chontales	158 606	92 150	66 456	6,68	4,15
Granada	175 022	112 014	63 008	8,12	3,94
Carazo	175 410	108 228	67 182	7,85	4,20
Rivas	165 070	78 243	86 827	5,67	5,43
Río San Juan	111 361	27 283	84 078	1,58	5,25
RAAN	399 013	111 724	287 289	8,10	17,96
RAAS	325 347	120 053	205 294	8,70	12,83
Total	5 600 591	3 098 552	2 502 039	223,56	156,38
Demanda de agua total				379,94	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos poblacionales del Censo INEC, 2005, y Normas de INAA, 1999

La demanda de agua en los últimos cinco años para los sectores municipales, industriales y agropecuarios se muestra en los Cuadros 3.15, 3.16 y 3.17.

3.6 Calidad natural del agua

3.6.1 Estado de la calidad del agua para consumo humano

La calidad natural de las aguas subterráneas se considera buena para el consumo humano de acuerdo con las normas de calidad usadas en Nicaragua (EPA, CAPRE). Se determinan tres tipos hidrogeoquímicos predominantes: $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ y $\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{2+}$ en las tres zonas de Nicaragua (Cuadro 3.18).

Cuadro 3.15. Datos históricos del uso municipal de agua, PIB municipal y población

Año	Uso municipal (Mm ³ /año)	Tarifa municipal promedio (US\$/m ³)	PIB servicios (US\$)
2005	116 713,5	0,34	0,89
2006	120 953,5	0,32	0,96
2007	123 514,5	0,31	0,00
2008	132 340,8	0,30	0,00

Fuente: ENACAL, BCN, Anuario Estadístico 2001-2008.

Cuadro 3.16. Datos históricos del uso industrial de agua, PIB municipal y tarifa

Año	Agua para uso industrial (Mm ³ /año)	Tarifa de agua industrial (US\$/m ³)	PIB industrial (US\$)
2005	6 996,0	0,88	4,13
2006	6 874,6	0,86	4,30
2007	6 894,2	0,83	4,46
2008	7 120,0	1,10	4,59

Fuente: ENACAL, BCN, Anuario Estadístico 2001-2008.

Cuadro 3.17. Datos históricos del uso agropecuario de agua, PIB municipal y tarifa

Año	Agua para uso agropecuario (Mm ³ /año)	Tarifa de agua industrial (US\$/m ³)	PIB agropecuario (US\$)
2005	-	-	0,95
2006	-	-	0,98
2007	-	-	0,96
2008	12 701,2	0,239	1,01

Fuente: MAGFOR, Subprograma Desarrollo y Reactivación del Riego para Contribuir a la Seguridad Alimentaria en Nicaragua, Anuario Estadístico 2001-2008, BCN, octubre de 2008

Dentro de los contaminantes naturales presentes en las aguas se destacan el hierro y el flúor (10,5% y 0,9% de 1 488 muestras, con valores que superan los 3,0 mg/L y 1,5 mg/L, respectivamente; UNICEF *et al.*, 2005) y arsénico (Sección 4.3.1). La calidad del agua presenta mayores amenazas en la región del Pacífico por la alta concentración de la población y la industria, así como por la fuerte actividad agropecuaria en esa zona (OPS-OMS, 2004) (Sección 4.1).

3.6.2 Clasificación de agua para riego

La mayoría de las aguas de la zona del Pacífico del país se consideran de buena calidad para irrigación. En el Cuadro 3.19 se condensa la clasificación de las aguas del Pacífico para riego (Krásný, J., 1995).

En la región Central y parte del Atlántico, evaluada por hoja topográfica 1:25000, se han clasificado 13 tipos de agua para riego (Cuadro 3.20) en los que predominan los tipos C1-1, C2-S1 y C2-S2 con 50%.

Del área total (Cuadro 3.21) de la zona de estudio, el 85,06% se puede utilizar ampliamente para riego en todos los cultivos sin restricción, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad (INETER, 2004).

4. Situación ambiental de los recursos hídricos

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas prevalece a lo largo del país como consecuencia de actividades agropecuarias; descarga sin tratamiento previo de los desechos domésticos, industriales y agroindustriales por lo que la mayor parte de estos vertidos llega a lagos y ríos, y procesos de erosión que son resultado del cambio de uso de suelo. Adicionalmente, la pérdida de la cobertura boscosa está causando excesivas cargas de sedimento en los cuerpos de agua superficial, lo que implica un aumento en la eutrofización de los cuerpos de agua promovido por la entrada de la carga acompañante de nutrientes.

4.1 Impactos de la agricultura

Las prácticas agropecuarias inapropiadas son la principal causa de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en Nicaragua. En las zonas Pacífica y Central, donde se da la mayor parte de la actividad agropecuaria, se han encontrado problemas de contaminación por agroquímicos en las aguas superficiales y subterráneas, en especial en el acuífero más importante del

Cuadro 3.18. Tipo hidrogeoquímico, valores de pH y conductividad eléctrica

Zona del país	Tipo predominante de agua	Segundo tipo predominante de agua	pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)
Pacífico	* HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	* HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - Mg ²⁺	*** 6,18–8,80	*** < 500
Centro	** HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	** HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺ HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺ - Ca ²⁺	*** (Norte) 4,20–9,96 (Sur) 4,83–9,42	*** < 500–3.550
Atlántico	** HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	** HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺	*** 5,16–9,40	*** < 500

Fuente: *INETER, 1989. **INETER, 2004. ***UNICEF *et al.*, 2005**Cuadro 3.19. Clasificación de agua para riego y área de distribución en la zona del Pacífico**

Hoja 1:250000 Clase	Chinandega (km ²)	Managua (km ²)	Granada (km ²)	Total (km ²)
C1-S1	-	2 619,9	74,6	2 694,5
C2-S1	1 519,2	9 924,2	4 010,9	15 454,3
C3-S1	747,9	2 535,3	723,4	4 006,6
C4-S1	582,1	50,2	10,0	642,3
C1-S2	-	-	-	-
C2-S2	-	75,0	11,3	86,3
C3-S2	16,5	158,1	53,8	228,4
C4-S2	1,8	32,8	5,3	39,9
C1-S3	-	-	-	-
C2-S3	-	2,0	-	2,0
C3-S3	-	52,8	-	52,8
C4-S3	2,2	43,4	7,3	52,9
C1-S4	-	-	-	-
C2-S4	-	-	-	-
C3-S4	-	45,0	-	45,0
C4-S4	1,3	52,0	16,1	69,4
Total (km²)	2 871,0	15 590,7	4 912,7	23 374,4

Fuente: Krásný, J., 1995.

país, el de León-Chinandega, ubicado en una zona de intensa actividad agrícola. Aquí se han detectado plaguicidas organoclorados (utilizados en el monocultivo del algodón) y organofosforados, seguidos por triazinas y carbamatos (Álvarez Castillo, 1994; Briemberg, 1995; INETER/OIEA, 1997; CIRA/MEL/DIPS, 1996-1998; CIRA/IAEA, 1999; CIRA/UNAN, 1999a y b; Centro Humboldt, 2002; Delgado, V., 2003). Para la zona del Atlántico, son pocos los estudios realizados. Dumailo (2003) realizó un estudio integral para la bahía de Bluefields, la desembocadura del río Escondido, donde se identificó contaminación por hidrocarburos, plaguicidas y bacterias patógenas. Existen iniciativas para establecer un sistema de monitoreo para reducir el escurrimiento de plaguicidas a la zona caribeña (Sección 4.6.3).

En la actualidad existe en Nicaragua un total de 1 446 agroquímicos registrados, de los cuales 23% corresponde a fertilizantes, 16% a herbicidas e insecticidas, más 15% a fun-

gicidas, principalmente. El 85% de los plaguicidas se utiliza en la agricultura, 10% se utiliza en salud pública, y otros usos son doméstico, ganadería y control de cultivos ilícitos (MAGFOR, 2004). En el período de 2004 a 2009 se importó un total de 16 290 666,45 kg de plaguicidas, expresado en unidades de ingrediente activo; el porcentaje de plaguicidas importado por grupo de acción biocida son 61,87% de herbicidas, 26,58% de fungicidas y 10,45% de insecticidas (Proyecto RepCar, 2010).

Hasta 2006, el consumo de plaguicidas fue de aproximadamente 15 toneladas métricas. Este incremento se debe a la expansión de las áreas de cultivos y su utilización en la producción agropecuaria para el combate de plagas y enfermedades que afectan el rendimiento (PNUMA-MARENA, 2000). Los residuos de estos productos representan un riesgo permanente de degradación de la calidad de los recursos hídricos.

Cuadro 3.20. Áreas de las clases de aguas para riego en las hojas Estelí, San Carlos, Juigalpa, Siuna y Bocay

Clases	Área de las hojas escala 1:250,000 (km ²)						Área (%)
	Estelí	San Carlos	Juigalpa	Siuna	Bocay	Total	
C1-S1	4 442,66	3 285,63	6 130,49	16 747,17	8 981,11	39 587,06	53,215
C1-S2	389,89	929,37	120,51	11,25	0,00	1 451,02	1,951
C1-S3	126,80	130,01	0,00	0,00	0,00	256,81	0,345
C1-S4	5,62	230,25	0,00	0,00	0,00	235,87	0,317
C2-S1	5 457,18	4 483,38	7 388,91	1 087,71	1 594,98	20 012,16	26,901
C2-S2	1 566,94	1 314,16	2 335,81	107,12	0,00	5 324,03	7,157
C2-S3	522,96	528,82	904,62	0,00	0,00	1 956,40	2,630
C2-S4	363,43	381,06	1 084,21	10,33	0,00	1 839,03	2,472
C3-S1	474,23	564,58	48,35	5,32	0,00	1 092,48	1,469
C3-S2	420,93	1 029,99	0,00	0,00	0,00	1 450,92	1,950
C3-S3	241,63	466,12	0,00	0,00	0,00	707,75	0,951
C3-S4	96,21	344,33	36,73	0,00	0,00	477,27	0,642
C4-S1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total						74 390,80	100,00

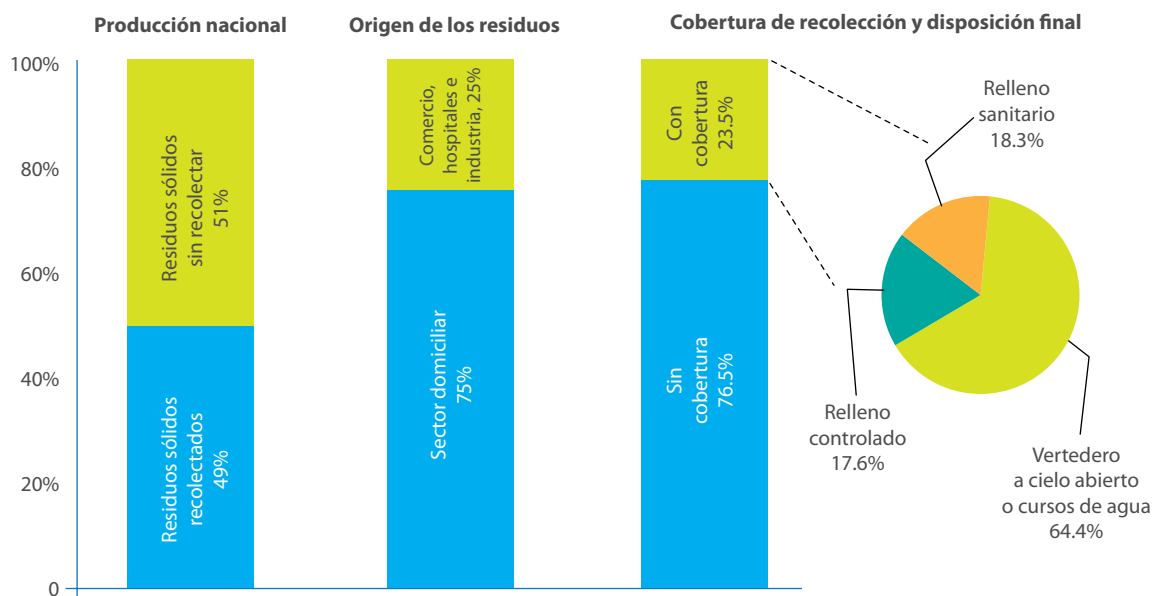
Fuente: Krásný, J., 1995

Cuadro 3.21. Áreas de las clases de aguas sin restricciones para riego del total del área de estudio

Total del área de estudio (km ²)	Pacífico		Centro y Atlántico		Total	
	(km ²)	%	(km ²)	%	(km ²)	%
97 765,20	18 235,10	18,65	64 923,25	66,41	83 158,35	85,06

Fuente: INETER, 2004.

Figura 4.1. Estimado del manejo de la producción de desechos sólidos a nivel nacional



Fuente: Agenda 21-Nicaragua

En la actualidad, 90% de los productores del país utiliza plaguicidas y sólo 10% está probando otras alternativas amigables con el ambiente y la población (PNUMA-MARENA, 2000).

Se calcula que el arrastre de los plaguicidas hacia el Mar Caribe del país ha alcanzado hasta 13 toneladas métricas de ingrediente activo por año. Esto se conjuga con el avance acelerado de la frontera agrícola en la cuenca del Atlántico, lo que eleva los riesgos de contaminación al grado que ésta podría alcanzar las reservas naturales y los ecosistemas marinos de la plataforma Atlántica y del Gran Caribe en general, por ahora diversificados pero muy frágiles (OPS/OMS-DANIDA, 2002).

4.2 Impactos de la industria y actividades domésticas en los recursos hídricos

De acuerdo con las cifras del inventario del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), en el Pacífico se producen más de 275 000 toneladas anuales de basura doméstica y unas 60 000 toneladas anuales de basuras industriales que se abandonan en sitios sin control ni regulación alguna.

En la **Figura 4.1** se presenta un estimado del manejo de la producción de desechos sólidos a nivel nacional. De los desechos colectados se estima que 75% proviene del sec-

tor domiciliario y que el restante 25% proviene del comercio, hospitales e industria. La ciudad de Managua produce 61% de la basura recolectada en todo el país.

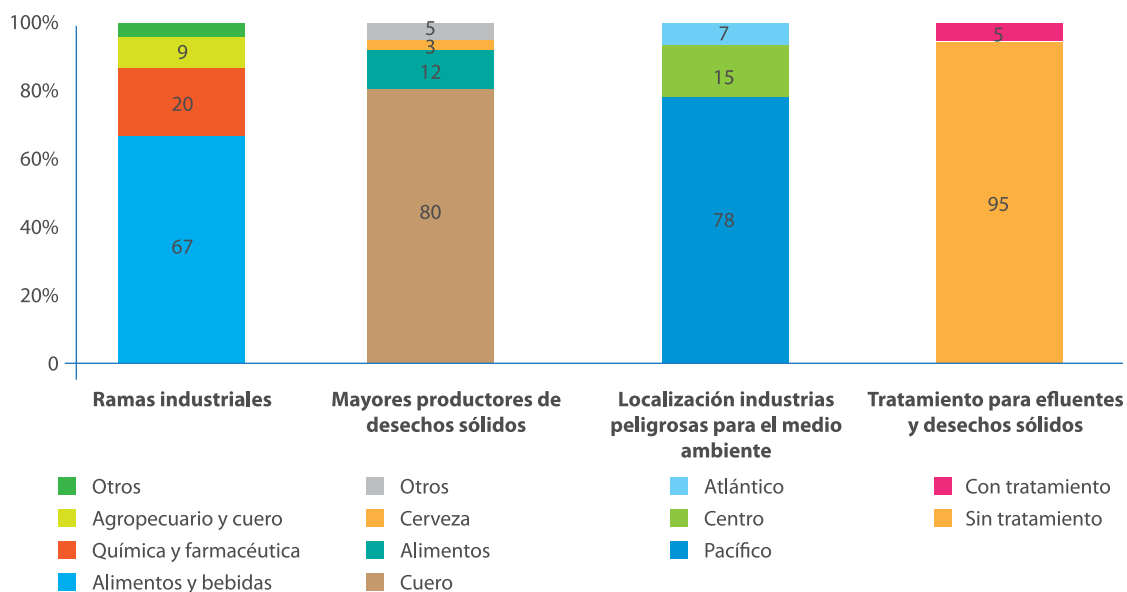
Los desechos sólidos industriales son recolectados y enviados a los basureros municipales sin previa clasificación. Eventualmente las sustancias contaminantes alcanzan las fuentes subterráneas o corrientes superficiales. Los desechos hospitalarios se mezclan con los desechos sólidos y son enviados a los vertederos municipales; algunos centros cuentan con incineradores (MARENA, 2004).

En la **Figura 4.2** se observa la distribución de la producción de los desechos sólidos industriales a nivel nacional.

Una gran cantidad de los desechos no recolectados son arrastrados por las corrientes a los cuerpos de agua; se destaca el lago Xolotlán, en la ciudad de Managua, al que se derivan alrededor de 260 000 toneladas de desechos sólidos urbanos al año.

En el sistema de alcantarillado sanitario se mezclan las aguas domésticas y desechos de laboratorios, hospitalarios, industriales y comerciales, sin previo tratamiento en la mayoría de los casos. El más impactado es el lago Xolotlán, donde se han vertido desde 1926 las cargas contaminantes provenientes de la ciudad de Managua, en un volumen estimado de 1,75 m³/s.

Figura 4.2. Distribución de la producción de desechos sólidos industriales a nivel nacional



Fuente: Agenda 21-Nicaragua

En la **Figura 4.3** se presenta la cobertura y disposición de los residuos líquidos y las excretas y se observa que hasta el 2005 se aplicaba tratamiento al 50% de los desechos. Sin embargo, muchos de estos sistemas funcionan deficientemente, ya que descargan efluentes que no cumplen con las disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias (Decreto 33-95; La Gaceta, 1995) debido al incremento de la carga contaminante producida por el crecimiento poblacional.

En el **Cuadro 4.1** se presentan los resultados de fósforo total (PT), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspensos (SS) en tres efluentes de residuos líquidos municipales que descargan en cuerpos receptores naturales. En los tres casos, la DQO y los SS no cumplen con los valores establecidos por el decreto 33-95 (180 mg.l⁻¹ y 80 mg.l⁻¹, respectivamente). El nuevo reglamento (aún no vigente) para los vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios establece un valor de 10 mg.l⁻¹ para PT, el cual es considerado muy alto, ya que es un nutriente que promueve el proceso de eutrofización en los cuerpos de agua superficiales.

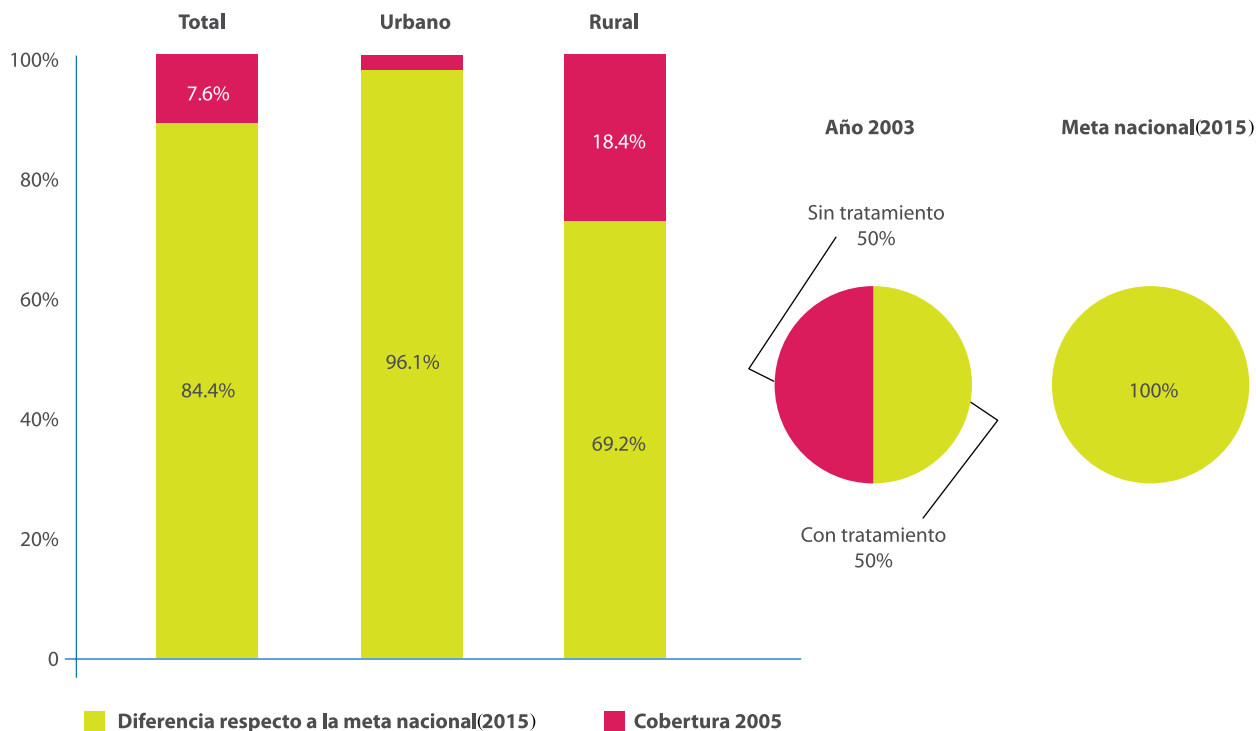
Ecosistemas acuáticos como el lago Xolotlán, las lagunas de Masaya y Tiscapa se encuentran en un avanzado estado de eutrofización que los hacen inutilizables para cualquier uso. Como parte del proyecto de salvamento y recuperación del lago Xolotlán, la nueva estación depuradora de aguas residuales comenzó a funcionar en febrero de 2009. Allí se está tratando, previamente a su descarga al lago Xolotlán, el 75% del volumen generado por la ciudad de Managua.

En el **Cuadro 4.2** se presentan algunos ecosistemas acuáticos receptores de desechos líquidos y sólidos crudos que provocan la degradación del recurso que limita su uso.

4.3 Impacto de contaminación por metales pesados

La contaminación por metales ha causado problemas más relevantes en cuanto a la calidad de los recursos hídricos (UNICEF, 2004; Altamirano, 2005). Éstos provienen tanto de fuentes naturales como de origen humano. Algunas zonas del centro y norte del país han sido identificadas con contaminación natural por arsénico. Algunas de las lagunas cratéricas del Pacífico tienen altos niveles de arsénico,

Figura 4.3. Cobertura y disposición de residuos líquidos y de excretas



Fuente: INEC, 2005

Cuadro 4.1. Resultados de PT, DQO y SS en efluentes de aguas municipales

Ciudad	Tipo de efluente	PT (mg.l ⁻¹)	DQO (mg.l ⁻¹)	SS (mg.l ⁻¹)	Receptor de la carga contaminante
Boaco	Efluente sin tratar	25,09	1 690,14	1 253,00	Río Fonseca
Granada	Efluente de lagunas de oxidación	10,11	306,73	147,00	Lago Cocibolca
Rivas	Efluente de lagunas de oxidación	16,33	237,87	165,71	Río de Oro

Fuente: CIRA/UNAN, 2007.

Cuadro 4.2. Cuerpos de agua receptores de residuos sólidos y líquidos

Cuerpos de agua	Residuos			
	Sólidos		Líquidos	
	Domiciliar	Industrial	Domiciliar	Industrial
Río Acome (Chinandega)	x		x	
Río Atoya (El Viejo)	x	x		
Río Chiquito (León)	x	x	x	x
Río La Zopilotería (Chichigalpa)	x	x	x	x
Estero El Realejo	x			x
Xolotlán	x	x	x	x
Tiscapa	x		x	x
Xiloá	x			
Cocibolca	x	x	x	x
Masaya			x	
Río de Oro (Rivas)	x		x	
Río Fonseca			x	
Malacatoya				
Mayales	x		x	
Acoyapa			x	
Tepenaguasapa			x	x

Fuente: CIRA/UNAN, 2007; Flores, S., 2005; MARENA, 2004c, y MARENA, 2003.

como Apoyo, Xiloá, Asososca de León y Apoyeque (Parello *et al.*, 2008). Entre las fuentes de origen humano de metales, son contaminantes las siguientes: la minería artesanal, que utiliza mercurio; las tenerías, que usan cromo, y las industrias de fabricación de baterías, que usan plomo.

4.3.1 Problemas por arsénico

Debido a las formaciones volcánicas en algunas zonas del país existen problemas de contaminación natural del agua subterránea por arsénico. Esto ocurre en estructuras mineralizadas o alteradas hidrotermalmente que son fuente primaria de arsénico y que se ubican en los lineamientos tectónicos paralelos al Graben de Nicaragua. La ocurrencia de fallas y fracturas próximas al flujo de agua subterránea son los conductos para que el contaminante entre al acuífero (Altamirano y Bundschuh, 2009). La Figura 4.4 muestra la ubicación de siete fuentes de agua potable que resultaron con concentraciones de arsénico arriba de la norma ($>10\mu\text{g l}^{-1}$, OMS) en varias campañas

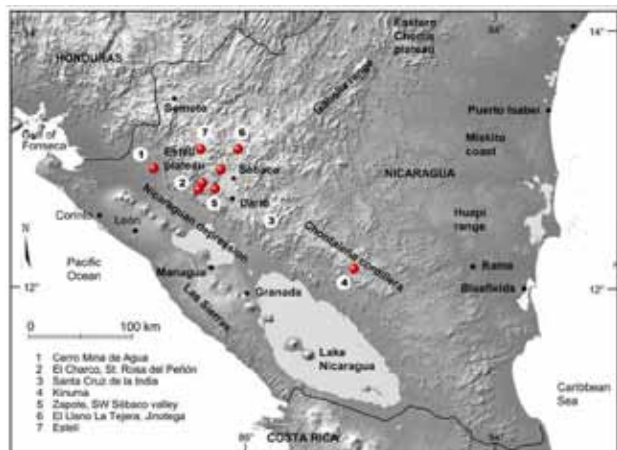
de monitoreo del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN).

En un estudio sobre la incidencia de arsénico en aguas subterráneas de la región noroeste y suroeste de Nicaragua (Estrada, 2002), donde se monitorearon con prioridad las fuentes de agua que abastecen a poblaciones próximas a cuerpos mineralizados y con alteraciones por procesos hidrotermales ubicadas en estructuras tectónicas paralelas a la depresión de Nicaragua, se identificaron cinco áreas anómalas (El Zapote, Santa Rosa del Peñón, La Cruz de la India, Susucayán y Rincón de García) con un contenido por arriba de los $10\mu\text{g/L}$. Todos estos pozos se encuentran en comunidades en extrema pobreza.

4.3.2 Problemas por mercurio

El mercurio ha sido considerado como uno de los contaminantes que ha causado los más serios impactos de origen

Figura 4.4. Ubicación de siete fuentes de agua potable con concentraciones de arsénico por arriba del valor guía (>10µg/l⁻¹, OMS)



Fuente: Altamirano y Bundschuh, 2009.

humano al ambiente en el mundo. En Nicaragua el mercurio se usa en la actividad minera de oro. Su uso no controlado en los procesos de amalgamación y destilación resulta no sólo en contaminación ambiental, sino también en la exposición humana al mercurio (Lacerda, 2003; Telmer *et al.*, 2006). El lago de Managua ha sido afectado por residuos líquidos con alto contenido de mercurio provenientes del complejo Hercasa-Elpesa (Pennwalt) que estuvo operando en la costa sur del lago Xolotlán, al oeste de la ciudad de Managua, para producir hipoclorito de sodio y gas cloruro desde 1967 hasta 1992. Aunque la minería de oro ha caído en su producción y representa <0,8% del PIB de Nicaragua, existen todavía dos grandes empresas mineras activas y tres pequeñas. El empleo de mercurio para amalgamación se concentra en la pequeña minería artesanal de Santo Domingo, Distrito de Coco Mina y Bonanza. Se estima que las emisiones totales de mercurio para Nicaragua en los últimos 100 años han sido de 40 toneladas (Andre *et al.*, 1997), y que las emisiones anuales recientes son de 60 kg a 180 kg (Andre *et al.*, 1997, y Velásquez, 1994).

Un área en la cual ha sido estudiado el impacto por mercurio en los recursos hídricos es el río Sucio, un río pequeño que históricamente ha sido expuesto a la actividad minera de oro en el municipio de Santo Domingo, Departamento de Chontales. Los mineros artesanales y las cooperativas mineras todavía usan mercurio para enriquecer el oro. Se ha encontrado presencia de mercurio en la fase suspendida del agua de río en concentraciones que fluctúan con el tiempo en correspondencia con la operación de las plantas de procesamiento de oro y la distancia a los sitios de amal-

gamación. Las concentraciones de mercurio encontradas oscilaron entre 0,1 µg/L hasta 5 µg/L, lo que excede el criterio de la OMS para agua de consumo humano. Se detectó mercurio también en el agua subterránea, así como en los sedimentos del río, en concentraciones de 10 µg/g a distancias hasta de 2 y 3 km río abajo y valores de 0,1 µg/g a 45 km de la fuente de descarga de dos plantas de tratamiento. El riesgo de contaminación del agua potable es bajo, ya que la contaminación está limitada al área cercana a las plantas de procesamiento (Picado, 2008).

Las aguas residuales del complejo Hercasa-Elpesa (Pennwalt) con alto contenido de mercurio fueron descargadas en el lago Xolotlán sin ningún tipo de tratamiento. Se ha estimado que este complejo descargó aproximadamente 18 000 kg (40 toneladas) de mercurio (Hg) en el lago, lo que representa una de sus principales causas de contaminación (Corrales, *et al.*, 1982). Recientemente, el Instituto de la Enfermedad de Minamata, en Japón, y el CIRA/UNAN realizaron el estudio “Contaminación Ambiental por Mercurio en el Lago Xolotlán, Nicaragua, en Relación a la Evaluación de Riesgo a la Salud Humana” con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta evaluación incluyó la determinación de mercurio en agua, suelos, sedimentos y su bioacumulación en cabello humano y peces de la microcuenca sur del lago Xolotlán. Los resultados indicaron que en el área monitoreada (terreno de las instalaciones de la fábrica y la zona circundante) se encuentran suelos y agua subterránea contaminados por mercurio. El fondo de un cauce usado para verter los desechos líquidos al lago también mostró acumulación de mercurio y metilmercurio. Los residentes de la zona que consumen pescado regularmente no mostraron niveles de mercurio en el cabello ni tampoco efectos epidemiológicos visibles. El contenido de mercurio en peces resultó también bajo (Jiménez *et al.*, 2009; Nicaraguan Research Center for Aquatic Resources, 2007).

4.4 Impacto de la contaminación por procesos de erosión

Se estima que entre 1990 y 2015 la población de Nicaragua incrementará en casi 67% (Vargas, 2007), crecimiento que ocurrirá principalmente en las zonas urbanas (la tasa de urbanización del país es la más alta de Centroamérica con 50% de población citadina en 2005). Este crecimiento, en sinergia con la deficiente infraestructura sanitaria (tanto para desechos líquidos como sólidos), la alta densidad poblacional, la pobreza y la ausencia de medidas de ordenamiento territorial ha provocado el deterioro ambiental que se refleja en la calidad del agua.

La deforestación de las cuencas hidrográficas avanza a una velocidad muy rápida. En 1950 Nicaragua tenía 7 millones de hectáreas de bosque, las que en 2006 se redujeron a sólo 3,2 millones (Vargas, 2007). El uso de suelo para sistemas agropecuarios ha sido la causa de la deforestación (Figura 4.5), lo cual induce la erosión de las cuencas hidrográficas y el uso intensivo de plaguicidas. La conversión de los suelos con potencial forestal a pastos para la ganadería extensiva es común en la cuenca del gran lago Cocibolca, donde el suelo para pasto se estima en 75,1% (Vammen *et al.*, 2006).

En el año 2000 el área de bosques era de 56 195 km² (43,1% del territorio nacional), de los cuales 48 875 km², es decir, 37,5% del territorio, se empleaba para fines agropecuarios. Durante una evaluación del uso de suelo potencial (Figura 4.6) se catalogó 55,3% para uso forestal, mientras que el restante 44,7% se consideró apto para uso agropecuario, del cual 37,8% del total es apto para fines ganaderos y solamente 6,9% para uso agrícola (MARENA, 2004a y b), cifras que contrastan con las del uso actual del suelo, pero que también han significado la contaminación de las aguas superficiales por sedimentación y eutrofización, y de éstas, más las aguas subterráneas, por plaguicidas en algunas cuencas.

4.5 Impacto de las obras hidráulicas en los recursos hídricos

En algunos ríos se ha fomentado la construcción de embalses como una de las principales fuentes de generación hidroeléctrica y suministro de agua para las poblaciones. Generalmente, los embalses en Nicaragua son importantes para la vida y desarrollo de los asentamientos humanos que viven en su alrededor, ya que se utilizan para la producción de peces, recreación, irrigación y la generación de energía eléctrica. Sin embargo, el problema principal de la construcción de los embalses es que ésta siempre ha ido asociada a fuertes procesos de deforestación y a un posterior aumento de la erosión que ocasiona la sedimentación y luego su colmatación en el fondo de la cubeta de agua, con lo cual disminuye su potencial para la generación de energía eléctrica y otros usos al variar la cantidad y calidad de las aguas. Algunos embalses en Nicaragua han sido modificados por procesos acelerados de colmatación y eutrofización por la llegada de materiales alóctonos provenientes de la cuenca (actividades agrícolas y vertimientos industriales y domésticos).

La construcción de los embalses trae diversos beneficios, como son la producción de electricidad, aumento de pro-

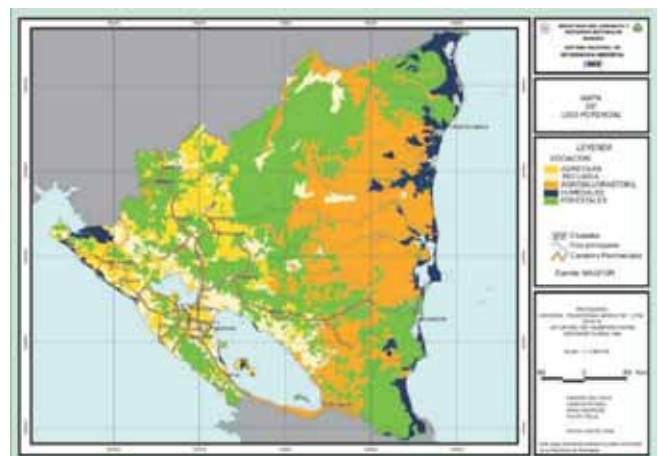
ducción de biomasa (pesca y acuicultura), retención de agua, recreación, turismo, aumento de potencial de irrigación y reserva de agua para abastecimiento. Entre los efectos negativos producidos por la construcción de embalses están la reubicación de poblaciones, emigración de personas hacia la zona de construcción, pérdida de especies nativas de peces, pérdida de áreas inundadas, pérdida de biodiversidad en los ríos, disminución del flujo de agua, pérdida de tierra para la agricultura, efectos en la composición química del agua, barrera para la migración de peces y degradación de la calidad del agua. Sin embargo, el problema mayor es el efecto ambiental que proviene de la alteración del caudal del río porque tiene impactos di-

Figura 4.5. Mapa forestal con frontera agrícola



Fuente: MAG-FOR, 2002

Figura 4.6. Mapa de uso potencial



Fuente: MAGFOR, 1997

rectos en los suelos, la vegetación, la fauna, la pesca y, especialmente, en las poblaciones humanas de la parte baja de la cuenca.

En Nicaragua han sido construidos algunos embalses como el lago Apanás-Asturias, por medio de la represa del río Tuma, para la generación de energía hidroeléctrica que es distribuida a nivel nacional a través de la planta Centroamérica. En el caso del lago Apanás, la deforestación en su cuenca ha sido generada por el mal uso de los suelos. Esto ha provocado una alta erosión y que gran parte de las partículas del suelo sean transportadas y depositadas por escorrentías superficiales en la cubeta de agua, lo que, a su vez, provoca que la sedimentación que se acumula en el fondo del cuerpo del agua aumente. Por otro lado, el deterioro de la calidad del agua o eutrofización de las aguas del lago Apanás se ha incrementado en los últimos años por la deforestación, agricultura, desechos domésticos e industriales y carencia de servicios sanitarios.

Otro ejemplo que cabe mencionar es el embalse Las Canoas, el cual fue construido a inicios de la década de los años 80 para riego de las plantaciones de caña de azúcar del complejo Tipitapa-Malacatoya, para generación de energía eléctrica, y como fuente de alimento para las comunidades aledañas a través de la pesca. Actualmente, al igual que el lago Apanás, los niveles de agua del embalse Las Canoas han bajado por los malos inviernos. Esto pone en peligro la

existencia de ambos embalses y provoca una mayor tensión entre los usuarios por la competencia del recurso, ya que del agua no sólo depende la subsistencia de miles de pequeños y medianos agricultores y ganaderos de la zona, sino también de gran parte de la siembra de arroz en la parte baja de las cuencas.

4.6 Algunos problemas específicos de contaminación del país

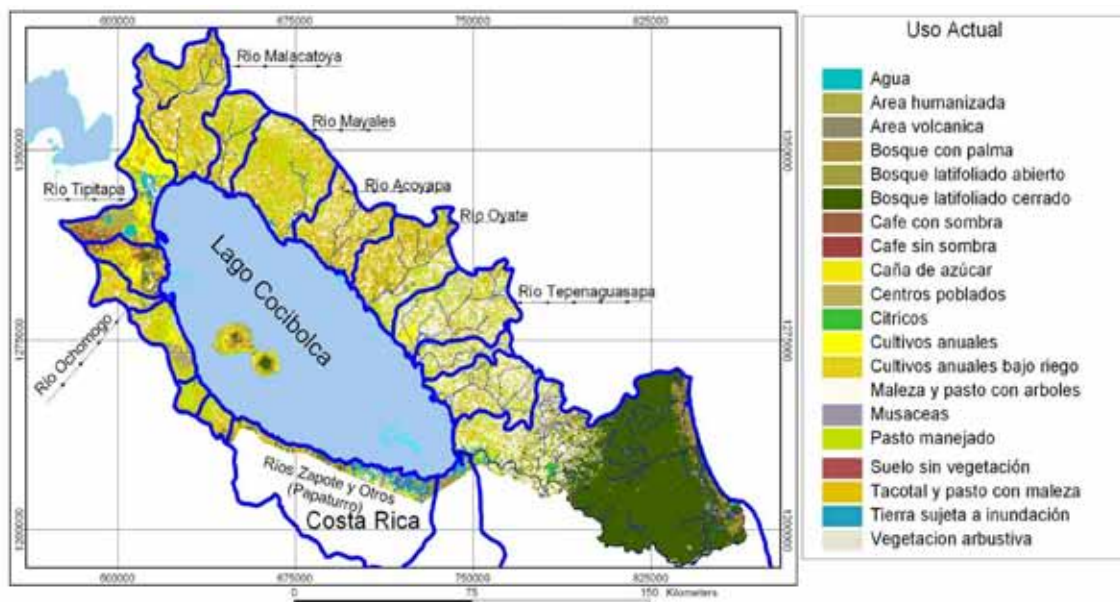
4.6.1 Cuenca N° 69, río San Juan

La Cuenca N° 69 abarca el río San Juan y los grandes lagos nicaragüenses, el lago Xolotlán y el lago Cocibolca, que son parte de los recursos hídricos más importantes de Nicaragua por ser factor clave de desarrollo. Como se mencionó anteriormente, el lago Cocibolca adicionalmente ha sido declarado como reservorio nacional de agua potable. Su caudal promedio de salida (475 m³/s) al río San Juan representa un volumen que no es actualmente aprovechado.

Lago Xolotlán

La contaminación del lago Xolotlán (conocido también como lago de Managua) ha limitado drásticamente el uso de su agua. La ciudad capital de Managua, con 24,2% de la población de Nicaragua (1 335 204 habitantes) en 2009, se ubica en la ribera sur. El lago tiene un área de 1 016 km² y una cuenca de 6 668 km² (Hydrobiological Bulletin, 1991).

Figura 4.7. Uso de suelo de la cuenca del río San Juan. Área del lago Cocibolca



Fuente: Vammen, 2006. Mapa elaborado por Yelba Flores

Como anteriormente mencionado, desde el año 1927 recibe sin tratamiento alguno las aguas negras de Managua, mismas que incluyen aguas residuales industriales, domésticas y pluviales. Además, las regiones norte y sur de la cuenca han sufrido deforestación, por lo que hay un aporte importante de nutrientes y sólidos al lago a causa de la erosión. En la actualidad, el agua del lago no puede ser directamente utilizada para consumo humano; tampoco puede ser incluida para riego debido a las altas concentraciones de sales (sólidos totales disueltos). Además, la entrada de los desechos líquidos de la ciudad ha creado una situación sanitaria insoportable por los olores y la carga bacteriana que limita cualquier uso, incluido el contacto directo (CIRA/UNAN, 2008). Para promover su recuperación al nivel de uso clasificado como recreación sin contacto, ENACAL ha instalado una planta de tratamiento, la cual fue inaugurada en 2009. Pero el lago Xolotlán no sólo recibe las aguas residuales de la ciudad, sino también contaminantes provenientes del basurero municipal de Managua conocido como la Chureca. Éste se originó de forma espontánea y sin ninguna planificación en 1972 al comenzar el depósito de los escombros de la ciudad producidos durante el terremoto de ese año. Actualmente, el basurero tiene una extensión aproximada de 47 hectáreas y recibe alrededor de 1 200 toneladas de desechos sólidos por día sin tratamiento previo ni separación (CIRA/UNAN, 2009). En el estudio "Evaluación del Impacto de los Lixiviados del Basurero de la Ciudad de Managua, la Chureca, a las Aguas del Lago Xolotlán, al Acuífero Afectado y a la Laguna Acahualinca" se encontró evidencia de la infiltración de lixiviados al subsuelo y de este movimiento al lago. La presencia de lixiviados en el lago Xolotlán ha provocado contaminación con sustancias orgánicas recalcitrantes y sales, compuestos que complican aún más la recuperación de este cuerpo de agua. El problema es grave, ya que incluso los desechos sólidos llegan a estar directamente dentro del lago cuando el nivel sube durante los meses de alta precipitación. La Alcaldía de Managua, a través del proyecto "Desarrollo Integral del Barrio de Acahualinca (Managua)" y en coordinación con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), actualmente está desarrollando una propuesta para aminorar los efectos de los lixiviados tanto en el lago como en las aguas subterráneas. El proyecto incluye el sellado del vertedero, la instalación de una planta de tratamiento para lixiviados y la separación ordenada de los desechos sólidos que llegan al basurero.

Lago Cocibolca

El lago Cocibolca es el cuerpo de agua superficial más grande de Centroamérica y, a la vez, el lago tropical más grande de las Américas. El lago representa un po-

tencial hídrico muy importante para Nicaragua, ya que la calidad de su agua es muy buena y apta para consumo humano. Es importante mencionar que el caudal promedio de agua en el único sitio de salida del gran lago Cocibolca ocurre en San Carlos, donde inicia el río San Juan. El volumen calculado por INETER es de 4,75 m³/s o 41 Mm³/d.

Estudios de limnología del CIRA/UNAN han revelado una aceleración en el proceso de eutrofización en las últimas décadas. Esto ha sido notado por un aumento en la biomasa de fitoplancton; la simplificación estructural del fitoplancton y zooplancton, y la dominancia de algas verde-azules, Cyanophyta, que son indicadores de eutrofización (Procuenca San Juan, 2004a y b). La causa de estos cambios ha sido el aumento del aporte de macronutrientes por sus tributarios, cuyas cuencas se caracterizan por la deforestación y la conversión de extensas zonas para pasto de ganadería (Figura 4.7) que han provocado erosión (Vammen, 2006).

En los tributarios del lago Cocibolca de Nicaragua, los ríos Malacatoya (en sus tres tramos), Mayales, Acoyapa, Oyate, Piedra (parte media), Camastro, Tule y Sapoá presentaron concentraciones de fósforo total sobre lo recomendado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para prevenir los procesos de eutrofización en cuerpos de agua lóticos (aguas corrientes) (CIRA/UNAN, 2007). La EPA recomienda utilizar el valor guía de 0,05 mg.l⁻¹ de fósforo total (PT) en todo curso que ingrese a un lago o reservorio. Todas estas corrientes superficiales que descargan sus aguas en el lago Cocibolca sirven como abrevaderos; son utilizadas para la irrigación de tierras agrícolas (río Malacatoya), y son receptoras de vertidos municipales (río Mayales), residuos de procesamiento lácteo, curtiembre, entre otros. Las aguas del lago Cocibolca son extraídas para inundar extensas áreas para el cultivo de arroz, y el mismo ecosistema es el receptor de las aguas de retorno.

A través de mediciones realizadas por el CIRA/UNAN entre 2002 y 2003 para calcular la carga superficial de nutrientes del lago Cocibolca, se identificaron los tributarios Oyate y Tepenaguasapa, localizados en la vertiente este del lago, como los mayores contribuyentes de fósforo, con 41 y 123 toneladas anuales, y nitrógeno, con 123 y 345 toneladas anuales, respectivamente, lo que equivale al 92% del total transportado por los ríos hacia el ecosistema. Los resultados mostraron que los mayores aportes ocurren con las descargas de los primeros eventos lluviosos cuando el suelo se encuentra desprovisto de vegetación en áreas dedicadas a la actividad ganadera y agrícola (Flores, S., 2005).

La importancia de tomar medidas en la cuenca del lago para prevenir la continuación de la degradación de sus aguas ha sido reconocida en la Ley General de Aguas Nacionales que nombra el lago como "reserva nacional de agua potable": "el lago deberá considerarse como reserva natural de agua potable, siendo del más elevado interés y prioridad nacional para la seguridad nacional, debiéndose establecer mecanismos y regulaciones específicas que aseguren y regulen la productividad del agua y al mismo tiempo que aseguren el mantenimiento e incremento de los caudales que permita el desarrollo de las actividades económicas, sin menoscabo de la producción de agua, tanto en cantidad como en calidad, prohibiendo la introducción y cultivo de especies exóticas invasoras, igual que evitando la contaminación del recurso y el deterioro de su ecosistema por vertidos industriales y domésticos" (Ley General de Aguas Nacionales, Ley 620, La Gaceta, 2007b). También la Asamblea Nacional decretó el establecimiento de la "Comisión de Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y el Río San Juan", con el objetivo de elaborar un Plan de Gestión Integral para la Cuenca N° 69.

4.6.2 Cuenca N° 64

La Cuenca N° 64 se ubica en el noroeste de Nicaragua, entre el volcán Cosigüina y el río Tamarindo (Figura 2.1). En ella se encuentran los acuíferos más productivos del país ($27,5 \times 10^9$ m³, ONU, 1974). El acuífero tiene un área de 1 300 km² y sustenta una población de casi 700 000 habitantes (16% de la población total de Nicaragua). Los suelos agrícolas de la cuenca son de los más extensos y fértiles del país. Las actividades de producción están dominadas por cultivos de agroexportación bajo el sistema de monocultivo y mecanización intensiva. El riego se hace principalmente con agua del acuífero, del cual el 74,4% del volumen total que se extrae es destinado a esta actividad (MARENA, 2008a y b). Actualmente, los cultivos bajo riego y principales de agroexportación son caña (65%), maní (29%) y bananos (6%). En estos cultivos se aplica una gran cantidad de agroquímicos. Entre 1950 y 1980, los plaguicidas empleados en su gran mayoría fueron organoclorados de alta persistencia. Como el acuífero de León-Chinandega es somero y no confinado, su vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas es muy alta. Tan sólo de 1973 a 1981 se aplicaron 70 270 toneladas de plaguicidas, 80% de ellas en cultivo de algodón (Briemberg, 1994). Diversos estudios han revelado la presencia de dieldrin, pp-DDT, pp-DDE, pp-DDD, y toxafeno por arriba de la norma de potabilidad en profundidades hasta de 12 metros por debajo del nivel freático en tres sitios de pozos de muestreo ubicados en diferentes campos que históricamente fueron usados para el cultivo de algodón (Delgado, 2003). Estos compuestos

también se encontraron en los suelos (Briemberg, 1994; CIRA/UNAN, 1999a; Centro Humboldt, 2001).

Por otra parte, el acuífero de León-Chinandega posee un sistema más profundo que se recarga en la cordillera mientras que el sistema somero lo hace a partir de la planicie central (ONU, 1974). Este acuífero profundo es muy vulnerable a cualquier cambio climático y a las condiciones de caudal de los ríos locales. La presencia de agroquímicos en la zona somera del acuífero representa un riesgo para el acuífero profundo por el aumento del bombeo de agua o por condiciones de sequía que reducen el caudal de los ríos, lo que promueve un intercambio de agua entre ambos (Delgado, 2003; CIRA/UNAN, 1999b; Calderón, 2003). La evaluación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación indica que ésta aumenta significativamente durante los años lluviosos (MARENA, 2008a) y sobre todo durante eventos extremos, como fue el caso del huracán Mitch, debido a las inundaciones que arrastran toda clase de contaminantes del suelo a los pozos. También resultó que el acuífero tiene una alta permeabilidad, lo que lo hace muy dinámico. En un análisis de la calidad toxicológica del suelo y el agua de pozos excavados en la zona de Posoltega después del huracán Mitch se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados en concentraciones por arriba de la norma de la EPA en ocho pozos y organofosforados en 11 pozos (CIRA/UNAN, 1999a).

4.6.3 Contaminación en la vertiente del Caribe

El rápido avance de la frontera agrícola hacia la costa Caribe (Figura 4.5); la deforestación acelerada que ocasiona la erosión de los suelos, y el uso intensivo de plaguicidas en la agricultura han generado una creciente preocupación por la contaminación de ecosistemas y el escurrimiento de tóxicos a ríos, lagunas costeras y bancos de pesca situados en las aguas del Mar Caribe. Debido a que el 93% de las aguas superficiales se vierten en la costa caribeña de Nicaragua, actualmente un proyecto de "Monitoreo del Escurrimiento de Plaguicidas al Caribe Nicaragüense" está siendo ejecutado por el CIRA/UNAN bajo la coordinación de MARENA y en el marco del proyecto regional "Colombia, Costa Rica y Nicaragua: Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe" (Proyecto RepCar, 2009). Con ello, concretamente se dispondrá de información sobre el escurrimiento e impacto de plaguicidas en la costa caribeña a la salida de tres cuencas: a) Cuenca N° 45 del río Coco (cuenca binacional con Honduras donde se encuentra el sistema hidrográfico del río Coco o Wangki, el más largo del país); b) Cuenca N° 61 del río Escondido (en conexión a la laguna costera, bahía de Bluefields, donde recibe residuos de plaguicidas aplicados a cultivos asentados

en la parte norte de la cuenca, y c) Cuenca N° 63 entre río Escondido y Punta Gorda (donde se encuentra asentada gran parte de la población de la Región Autónoma Atlántica Sur-RAAS).

5. Agua y saneamiento

5.1 Demanda de agua para consumo humano

Nicaragua ha experimentado un crecimiento demográfico significativo en los últimos 50 años; su población ha incrementado de 1 049 611 habitantes en 1950 a 5 142 098 habitantes al año 2005 (INEC, 2005). De acuerdo con proyecciones de crecimiento poblacional, la demografía del país presenta el mismo comportamiento al año 2010, lo que implica un incremento en la demanda de agua para consumo.

Tomando en consideración los datos poblacionales y la tasa de crecimiento poblacional publicada en el censo poblacional más reciente (INEC, 2005), se estimó la población actual en 5 600 591 habitantes que demandan 379,94 Mm³ de agua al año. De acuerdo con el Informe del Estado del Ambiente de 2001, ENACAL estimaba que la demanda de 2010 sería de 340 Mm³. Para la estimación de la demanda de agua se consideró la dotación recomendada por la norma NTON 09003-99 del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) y se asumió un porcentaje de pérdidas de 25%. El Cuadro 3.14 muestra las estimaciones poblacionales y demanda de agua por departamento al año 2010.

Oficialmente no se cuenta con datos exactos sobre la demanda de agua, ya que la demanda de agua existente no es cubierta en su totalidad por la empresa distribuidora de acueductos y alcantarillados (ENACAL). De acuerdo con las últimas cifras publicadas, la cobertura de agua potable es de 85% en zonas urbanas, por lo que existe una gran brecha entre la demanda de agua y el servicio de abastecimiento. Sin embargo, en los últimos años la empresa distribuidora de agua ha realizado algunos esfuerzos para incrementar la oferta de agua. En la Figura 5.1 se puede observar un incremento de 9,23% en la producción de agua potable de ENACAL en el período de 2004 a 2008.

Conforme a datos de ENACAL (2007), 71,7% de la población nicaragüense tiene infraestructura de agua potable, ya sea por conexión domiciliar desde el sistema o comunal. El área urbana nicaragüense es abastecida a través de 155 puestos de distribución que cubren alrededor de

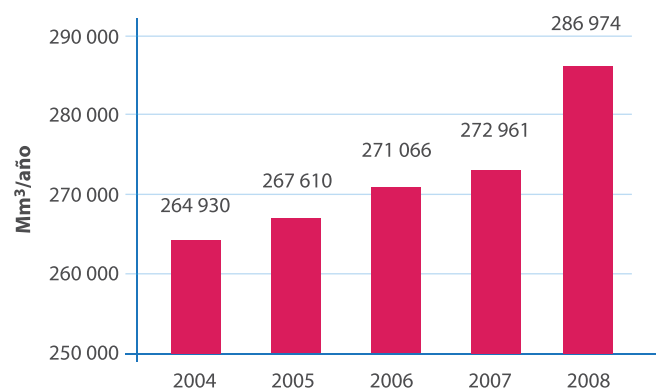
180 comunidades. Según el Programa Conjunto del Milenio (OMS/UNICEF) de Seguimiento del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (PCM), Nicaragua tiene una cobertura de 98% de uso de fuentes mejoradas de agua en zonas urbanas, mientras que la rural alcanza apenas 68% en 2008. El agua entubada que es el sistema más adecuado para mejorar la salud de la población, alcanzó 88% en 2008 en la zona urbana, y solamente 27% en la zona rural (PCM, 2010).

5.2 Redes de abastecimiento en áreas urbanas

De acuerdo con cifras presentadas por ENACAL en el borrador del IV Informe del Estado del Ambiente (SINIA-MARENA, 2009), 85% de la población urbana tiene acceso al servicio de agua potable a través de sistemas de redes de abastecimiento, lo que significa que en las áreas urbanas aún existe un porcentaje considerable de la población que no tiene acceso a agua potable, bien sea porque estas personas no están registradas o porque se abastecen por otros medios.

Por otra parte, las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento de agua potable del país debido a que la mayor parte de la población y los principales cascos urbanos y ciudades se ubican en la región del Pacífico, cuyas características hidrográficas presentan poca disponibilidad de agua superficial y grandes reservorios de aguas subterráneas. Esta situación obliga a explotar las aguas subterráneas como principal fuente de abastecimiento, lo que incrementa los costos de distribución por el requerimiento energético para la captación e impulsión del agua a través del sistema de redes y, por tanto, limita el desarrollo del sector por los altos costos de inversión.

Figura 5.1. Producción de agua potable ENACAL período 2004-2008



Fuente: SINIA-MARENA, 2009.

El abastecimiento de agua potable en el país es brindado en las áreas urbanas por ENACAL, las empresas descentralizadas de AMAT (Empresa Aguadora de Matagalpa) y EMAJIN (Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Jinotega), algunas municipalidades y urbanizadoras privadas. ENACAL administra el 76% de los sistemas de agua potable del país. El Cuadro 5.1 resume el número de sistemas de abastecimiento de agua potable que alcanzan los 222, de los cuales 154 provienen de agua subterránea.

La mayor parte de los sistemas de redes de distribución de agua potable del país se encuentran en mal estado, lo que afecta la calidad del servicio en cuanto a continuidad del abastecimiento. ENACAL, la empresa distribuidora de agua del país, reporta que los principales problemas se deben a diferentes factores: mantenimiento limitado o ausente en el sistema de redes y equipos de bombeo, altos niveles de fugas de agua causados por la obsolescencia de las redes de distribución, interrupciones frecuentes y por largas horas del suministro de energía eléctrica, crecimiento desordenado de las redes y, no menos importante, la brecha existente entre la producción de agua y la demanda creciente de la población. De acuerdo con la Presidencia Ejecutiva de ENACAL, más de la mitad de los usuarios reciben el agua parcialmente (pocas horas al día), y cerca de la mitad de la población del país no cuenta con el servicio de la empresa. Solamente se logra facturar el 46% de los 286,97 Mm³ anuales de agua suministrados por ENACAL, lo que limita el desarrollo del sector por falta de disponibilidad de recursos para la inversión (ENACAL, 2008a). En las horas de mayor demanda comprendidas entre las 7:00 am y las 5:00 pm es cuando se ve más afectada la calidad del servicio debido, principalmente, a problemas de presión en el bombeo y al déficit existente entre la oferta y la demanda.

Los problemas de continuidad en el servicio se agudizan en los meses secos; los meses más problemáticos son febrero, marzo, abril y mayo, al grado que se debe incurrir en

planes de racionamiento en la distribución de agua, tanto en la capital como en el resto de los departamentos de las regiones del Pacífico y Central (FAO-CEPAL, 2009).

En el período de 2002 a 2007, ENACAL ha invertido US\$167 669,30 en obras de agua potable y saneamiento. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012, ENACAL plantea incrementar la cobertura de agua potable de 77% a 88%; elevar el tiempo de continuidad del servicio de 15 horas a 22 horas por día, e incrementar la producción de agua de 271,06 Mm³/año (8,59 m³/s) a 296,57 Mm³/año (9,40 m³/s) (ENACAL, 2008a).

5.3 Tratamiento de agua para consumo en áreas urbanas

Como se ha mencionado anteriormente, la principal fuente de abastecimiento de agua potable es el agua subterránea, la cual representa el 70% del total; el 30% restante proviene de agua superficial o subsuperficial (FAO-CEPAL, 2009). Esto se debe a que más del 86% de la población se ubica en la vertiente del Pacífico (20% del territorio) donde hay sólo 6% del agua superficial (Montenegro, 2009). Estas características demográficas e hidrográficas han orientado a los diferentes gobiernos a dirigir las estrategias de explotación de los recursos hídricos a la extracción de agua subterránea, tanto porque presentan costos más viables en obras de captación y desinfección como por la excelente calidad de las aguas subterráneas. Esta situación ha implicado un desarrollo desigual en los aspectos tecnológicos. Las capacidades y experiencia en la explotación de aguas subterráneas, como perforación de pozos y técnicas de desinfección, se encuentran más desarrolladas en comparación con tecnologías para la captación de aguas superficiales y potabilización de agua.

En Nicaragua existen 17 plantas potabilizadoras instaladas: cuatro de filtración lenta, 12 de filtración rápida y una planta desalinizadora. La mayoría de las plantas potabilizado-

Cuadro 5.1. Número de sistemas por tipo de fuente de abastecimiento

Empresas distribuidoras	Número de sistemas	Número de sistemas por tipos de efluentes		
		Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Combinación de ambas
ENACAL	169	138	23	8
AMAT/AMAJIN	19	11	8	-
Municipalidades	33	4	29	-
Privadas	1	1	-	-
Totales	222	154	60	8

Fuente: ENACAL, 2008a

ras del país son de tecnologías de bajos costos y operan aprovechando la energía hidráulica del sistema. Existen solamente tres plantas de tratamiento de tecnología avanzada que demanda una cantidad considerable de energía para operar y altos costos de mantenimiento; entre ellas destaca la planta de ósmosis inversa (desalinizadora) que, lamentablemente, por los altos costos de operación y mantenimiento en la actualidad se encuentra deshabilitada (ENACAL, 2008a).

La mayoría de las plantas potabilizadoras del país se ubican en la región norte y central; las principales y más grandes se localizan en las ciudades de Ocotal, Juigalpa, Boaco y Camoapa. En la región del Atlántico, la planta desalinizadora capta agua de la bahía de Bluefields para abastecer a la ciudad del mismo nombre, lo que implica costos operativos y de mantenimiento altos (ENACAL, 2008a).

El agua, antes de ser distribuida a través de las redes de distribución, recibe tratamiento de desinfección para lo cual emplean el método de cloración. Alrededor de la problemática de potabilización y desinfección del agua para consumo, diversas organizaciones no gubernamentales, universidades nacionales y organismos de cooperación han realizado esfuerzos a manera de proyectos de desarrollo comunitario mediante la aplicación de diversas técnicas de tratamiento de agua como técnicas de filtración, exposición a la radiación solar, aireación, entre otras. Los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS-<http://capsnicaragua.blogspot.com>) son organizaciones comunitarias rurales que realizan gestiones organizativas y operativas para llevar agua y saneamiento a los hogares. Los CAPS administran el agua para 1 200 000 nicaragüenses.

5.4 Cobertura y situación actual del alcantarillado sanitario

Los diferentes gobiernos del país han realizado diversos esfuerzos en el tema del saneamiento; sin embargo, las condiciones higiénicas siguen siendo malas. Según el Censo de 2005, en Nicaragua sólo 25% de la población tiene acceso a un sistema de alcantarillado. Si se toma una definición más amplia del servicio de saneamiento y se incluye excusado o letrina, las cifras aumentan a 59%, las cuales resultan bajas si se considera que la población del país es de más de 5 millones de habitantes (FAO-CEPAL, 2009).

Al igual que para el agua potable, la brecha existente entre la zona urbana y la zona rural en el sector saneamiento es significativa: 43% de la población urbana dispone de inodoro, en tanto que en el área rural sólo 2,1% lo posee.

Pese a ser mayoritario el uso de letrina entre la población rural, todavía 30% de la misma no tiene acceso a ningún tipo de servicio (INEC, 2005), lo que implica que aún existe un alto porcentaje de personas que practican fecalismo al aire libre, situación que amenaza la salud de la población. En 2008, Nicaragua reportaba 21% de defecación al aire libre en las zonas rurales, 4% en zonas urbanas y 11% del total de la población (PCM, 2010).

La cobertura de alcantarillado sanitario es menor del 42% y son las áreas marginales de los cascos urbanos y las zonas rurales del país las que no poseen este servicio (ENACAL, 2008a). Esto trae como consecuencia una disposición inadecuada de las aguas grises, las cuales fluyen por escorrentía a través de patios, calles, cauces o barrancas; una buena parte se infiltra en el suelo y el resto drena en algún cuerpo de agua superficial.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012, existen 36 ciudades con sistemas de alcantarillado, lo que representa 20% de las cabeceras departamentales y municipales del país que se ubican en las regiones del Pacífico y Central. Sin embargo, la problemática aún es más alarmante si se considera que la mayor parte de los sistemas de alcantarillado han cumplido su vida útil, lo que hace necesario que se lleven a cabo ampliaciones, rehabilitaciones y, en algunos casos, clausura y reemplazo de los mismos.

Los sistemas de alcantarillado son de tubería de cemento con pozos de visita contruidos de ladrillos. Poseen colectores principales y secundarios; el sistema es de tipo separado, es decir, manejan las aguas sanitarias y pluviales en redes diferentes. Debido a la edad del sistema de drenaje y al deficiente mantenimiento, éstos se encuentran en mal estado, con diversos ramales atascados e incomunicados debido a la acumulación de grasas, cuerpos sólidos y sedimentos aportados por los caudales pluviales (FAO-CEPAL, 2009).

Los sistemas de alcantarillado pluvial presentan una cobertura menor que la del alcantarillado sanitario, lo que trae como consecuencia conexiones ilegales de descarga de agua pluvial al sistema de alcantarillado sanitario que limita el buen funcionamiento del mismo. Durante eventos de lluvia de gran magnitud, muchas veces el caudal que circula por la tubería rebasa la capacidad de diseño de la misma, y situaciones como éstas han provocado en frecuentes ocasiones el colapso del sistema de alcantarillado sanitario (FAO-CEPAL, 2009).

5.5 Volumen de aguas residuales producidas

No se dispone de cifras oficiales sobre el volumen de agua residual producida, por lo que se estimó el volumen de aguas residuales domésticas producidas al año 2010 considerando que la producción de aguas residuales representa aproximadamente 80% del consumo de agua potable. Los resultados se muestran en la [Figura 5.2](#).

5.6 Cobertura y porcentaje de aguas residuales tratadas

En Nicaragua existen 36 ciudades que cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario, de los cuales sólo 27 poseen plantas de tratamiento de aguas residuales para una cobertura del 38% de las aguas residuales colectadas (SINIA-MARENA, 2009). Es importante destacar que en Nicaragua 215 ciudades están consideradas como áreas urbanas (Arguello, 2008), de las cuales solamente 27 brindan tratamiento a sus aguas residuales, lo que resulta en una cobertura total de tratamiento de las aguas servidas urbanas de 12,5%. Los sistemas de alcantarillado sanitario que no cuentan con una planta de tratamiento descargan los efluentes en cuerpos de aguas superficiales (ríos y lagos), lo que contamina indiscriminadamente los recursos hídricos (FAO-CEPAL, 2009).

En las zonas rurales, la situación es aún más deprimida porque existen sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que la política de desarrollo del sector en las áreas rurales está dirigida al abastecimiento de agua para consumo humano, dotación de letrinas y educación en salud y dejan de lado el manejo del agua residual, de manera que las aguas residuales o aguas grises fluyen por escorrentía a través de calles, avenidas y cauces (FAO-CEPAL, 2009).

En el año 2008, el volumen de agua residual doméstica tratada en el país por los diferentes sistemas de tratamiento se estimó en 44,6 Mm³/año (1.41 m³/s). A inicios del año 2009 entró en operación la planta de tratamiento de aguas residuales más grande de Centroamérica que se ubica en Managua. Ésta trata 66,6 Mm³/año (2.11 m³/s), con lo que se incrementa el volumen total de agua residual tratada del país (ENACAL, 2008). Según las últimas cifras presentadas por ENACAL para el IV Informe del Estado del Ambiente, el índice de tratamiento de agua residual incrementa de 17% en el año 2006 a 31,40% al año 2008.

Las aguas residuales que fluyen por los alcantarillados sanitarios están compuestas por aguas grises, aguas negras,

y en época de lluvia, aguas pluviales de algunas viviendas conectadas de forma ilegal. Esta situación trae como consecuencias que la composición de las aguas residuales domésticas presente una alta carga orgánica, alta concentración de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y abundante presencia de patógenos, sedimentos y detritos.

5.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Tradicionalmente en Nicaragua se han considerado como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas las lagunas de estabilización. De las 27 plantas depuradoras existentes en el país, se emplean lagunas de estabilización en 13 de ellas como método de tratamiento. Además, existe un sistema, la planta de Managua, integrado por un reactor anaerobio seguido de lagunas facultativas y de laguna de maduración, seis tanques Imhoff con filtros anaerobios de flujo ascendente, cinco fosas sépticas con filtro anaerobio de flujo ascendente, un sistema de fosa séptica con zanja de infiltración y un compuesto por sedimentación primaria, filtro biológico por goteo y sedimentación secundaria (FAO-CEPAL, 2009).

Los sistemas que se encuentran bien operados tienen una buena eficiencia de remoción de carga orgánica y sólidos en suspensión, pero son ineficaces para remover nutrientes y patógenos; sin embargo, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del país se encuentran en un estado avanzado de deterioro por la falta de mantenimiento y una mala operación, así como por limitaciones de diseño que van desde un inadecuado dimensionamiento hasta la ausencia de obras preliminares para el tratamiento previo de los efluentes, lo que ocasiona problemas ambientales graves para los cuerpos de agua que reciben las descargas de aguas tratadas. Un ejemplo es el caso del lago de Masaya que, por la entrada directa del efluente de la laguna de oxidación del Municipio de Masaya, se encuentra en un grado alto de eutrofización (FAO-CEPAL, 2009).

5.8 Tecnologías aplicadas para tratar aguas residuales

En la actualidad todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas existentes operan a través de procesos físicos y biológicos, aerobios, anaerobios o combinados con sistemas hidráulicos. Los sistemas de tratamiento ubicados en urbanizaciones de clase media a alta, y que han emergido en las últimas décadas, emplean tecnología convencional. Dentro de este tipo de sistemas, el más común es el de las plantas compactas de los lodos activados, las cuales demandan energía eléctrica para su operación.

La tecnología de tratamiento en las industrias se ha encaminado a opciones convencionales: los lodos activados, filtros biológicos, plantas de tratamiento compactas, entre otras. En estos casos, la tecnología depende mucho de la composición o características del efluente, lo cual es un factor determinante para establecer el tipo de tratamiento y tecnología que deberá aplicarse.

5.9 Reúso de agua

En Nicaragua, reutilizar el agua tratada no es una práctica común; es posible que esto se deba a que los sistemas de tratamiento del país han resultado ser poco eficientes para la remoción de patógenos, lo que no facilita el empleo de las aguas tratadas en diversas actividades, tales como riego, aplicación en terreno, limpieza, acuicultura, entre otros. En el período 2000-2002, solamente los efluentes de seis sistemas de tratamiento fueron reutilizados en actividades agrícolas, específicamente en plantaciones forestales y cultivos de tallo alto (CEPIS-OPS, 2002). A la fecha se desconoce el porcentaje de reutilización del agua tratada, pero predomina la disposición final de los efluentes tratados en cuerpos de agua superficiales como lagos y ríos, y un pequeño porcentaje emplea pozos de infiltración, práctica empleada en algunos sistemas de tratamiento de planta compacta localizados en urbanizaciones.

5.10 Situación actual de las redes de distribución y alcantarillado

Bajo la consideración de que los **sistemas de abastecimiento de agua** son diseñados para un período de 25 años, la mayoría de las redes de distribución de agua potable en el área urbana se encuentran obsoletas. El hecho de que su tiempo de vida útil para las que fueron diseñadas ya haya transcurrido, más el deficiente mantenimiento que han recibido las tuberías de las redes y los equipos de bombeos, ha resultado en graves problemas de pérdida de agua durante la distribución, principalmente debido a tuberías oxidadas o rotas. Otro agravante del problema son las conexiones que por cuenta propia realizan los asentamientos humanos espontáneos, pues al emplear tuberías sin las previsiones técnicas adecuadas se agudizan la frecuencia y las dimensiones de la pérdida de agua por fuga en las redes. Para mejorar la situación de las redes de distribución, se requiere una considerable inversión para la rehabilitación y ampliación de los sistemas de acueductos de agua potable existentes.

En cuanto a las **redes de alcantarillado sanitario**, la situación es más precaria aún; como se ha mencionado, solamente 36 de las 215 ciudades consideradas como áreas

urbanas poseen sistemas de alcantarillado sanitario, cuya cobertura es de menos del 50%. Pero la problemática en este sector se agudiza al considerar el estado de obsolescencia en que se encuentra la mayor parte de las redes de alcantarillado existente, sumado al uso inadecuado que hacen de las mismas los pobladores al drenar a través de ellas las aguas pluviales domiciliarias y, en algunos casos, desechos sólidos, situación que tiene al punto del colapso a los sistemas de alcantarillado sanitario. Esto se evidencia con los constantes problemas de atascamiento y derrames de aguas servidas que se presentan en diversos pozos de visitas localizados en calles y avenidas, y que contaminan el ambiente con olores desagradables y escorrentía de aguas grises (ENACAL, 2008).

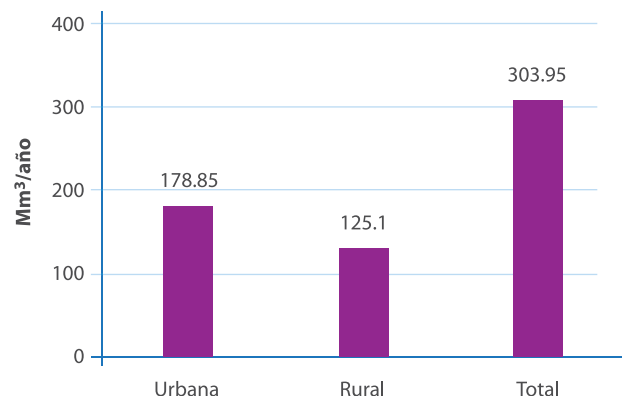
Esta situación dramática demanda una buena inversión en el sector destinada a la rehabilitación, ampliación y mantenimiento adecuado de los sistemas de redes de alcantarillado sanitario, acompañada de campañas de concientización y educación ambiental que permitan mejorar el servicio, la cobertura y el funcionamiento de las redes.

5.11 Situación de agua potable y saneamiento en áreas rurales

En las áreas rurales, el servicio de abastecimiento de agua potable lo brinda ENACAL, municipalidades y los CAPS. El INAA, ente regulador del sector, reportó para el año 2006 una cobertura en agua potable rural del 56% (ENACAL, 2008).

Al año 2008 se estimaron 5 276 sistemas de acueductos rurales que abastecen igual número de pequeñas comunidades rurales (ENACAL, 2008). La distribución de estos

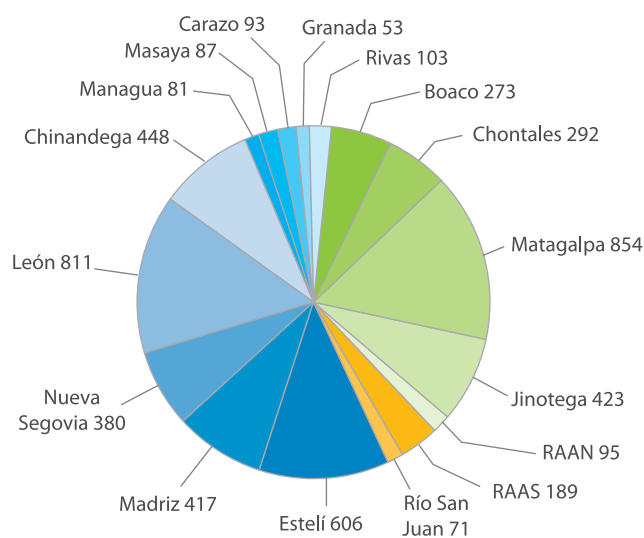
Figura 5.2. Estimaciones de la producción actual de agua residual doméstica del país



Fuente: Elaboración propia (CIRA/UNAN) con datos de proyección poblacional (INEC, 2005) y la NTON para abastecimiento de agua potable (INAA, 1999)

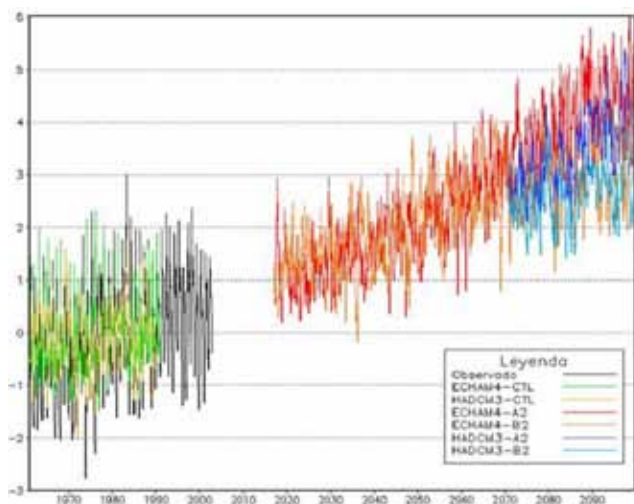
sistemas de abastecimiento de agua potable por departamento se muestra en la **Figura 5.3**. Matagalpa, León, Estelí y Jinotega son los departamentos que poseen más obras de acueductos rurales; en contraposición, las regiones del Atlántico norte son las que presentan menor cantidad de obras, lo que posiciona esta zona como la más deprimida del sector agua potable.

Figura 5.3. Distribución de acueductos rurales por departamento



Fuente: Elaboración propia (CIRA/UNAN) con datos publicados por ENACAL, 2008

Figura 6.1. Proyecciones de temperatura media mensual del aire en superficie de Nicaragua (proyecciones para Nicaragua con la aplicación del Sistema de Modelación Regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies))



Fuente: MARENA, 2009

En las áreas rurales de la región del Pacífico de Nicaragua se estima que la mitad de la población no tiene acceso al agua potable en sus domicilios, situación que los obliga a abastecerse a través de pozos comunales, pozos individuales, agua de lluvia o agua superficial de ríos, lagunas o embalses superficiales destinados para aguar el ganado. Desde el punto de vista sanitario, esto representa un alto riesgo para la salud. Pero en la región atlántica la situación es más grave debido a que 80% de la población no tiene acceso directo a agua potable.

Las comunidades dispersas son las que presentan mayores problemas de abastecimiento, ya que en ocasiones los pobladores deben caminar varios kilómetros para encontrar una fuente de agua. El sistema de abastecimiento está condicionado por el tiempo de existencia de la red, el rendimiento de los pozos y la construcción de los mismos. Otro factor que dificulta el acceso al recurso son las conexiones ilegales y nuevas conexiones al mismo sistema de red para el abastecimiento de condominios y urbanizaciones de clase media a alta, que no cuentan con pozos propios, lo que ocasiona pérdidas de presión en las redes de abastecimiento.

El abastecimiento en el área rural está cubierto por pequeños sistemas, entre los más utilizados se encuentran los sistemas de pozo excavado a mano (PEM), pozo perforado (PP), miniacueductos por bombeo eléctrico (MABE), miniacueductos por gravedad (MAG), captaciones de manantial (CM), entre otros. Hasta finales del año 2002 se habían registrado 4 886 obras de todos los sistemas mencionados (ENACAL, 2005).

El abastecimiento en los acueductos rurales no es continuo, la cantidad es racionalizada y la calidad del agua no es la más idónea en la mayoría de los casos. No existe un sistema de monitoreo para la calidad de agua en los sistemas rurales. En general, la mayor parte de los sistemas rurales de agua potable han sido construidos con cooperación externa y no se tomaron previsiones suficientes para asegurar la sostenibilidad de las obras. Asimismo, carecen de mantenimiento y seguimiento en la administración de la obra, lo que ocasiona que muchos de los sistemas se encuentren fuera de operación y que las comunidades queden desabastecidas.

Según datos del censo poblacional más reciente (INEC, 2005), 84,8% de la población dispone de algún tipo de servicio higiénico con predominio del uso de letrinas; 15,4% no cuenta con ningún tipo de servicio; 4,3% del área urbana posee inodoros, y el área rural escasamente alcanza un 2,1%.

La cobertura del alcantarillado sanitario es de menos del 50% y las aguas grises se disponen directamente al terreno en patios, calles, cauces o quebradas para eventualmente drenar a los cuerpos de agua superficial o se infiltran en el suelo.

En Nicaragua, sólo 56% de los municipios tiene un sistema regular de recolección de basura, con una cobertura de recolección promedio nacional del 49%. La mayoría de los municipios disponen de vertederos al aire libre, y sólo el 13% cumple con los requisitos técnicos y sanitarios de funcionamiento (MARENA, 2005b).

En el área rural no existe ningún sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. Se han establecido algunas experiencias aisladas donde se han empleado tecnologías aplicadas a áreas urbanas. Son sistemas de tratamiento individuales que tratan aguas grises; se emplean los principios de biofiltros o lechos filtrantes a manera de biojardinerías. Otra práctica es el empleo de fosas sépticas, sin impermeabilización de suelos, que se convierten en potenciales fuentes de contaminación.

Para el tratamiento de las excretas se han desarrollado experiencias en el uso de letrinas aboneras, con poca aceptación por razones culturales. La cobertura del servicio de recolección de basura es casi inexistente en las áreas rurales. La población emplea como prácticas comunes de eliminación de basura la quema, el entierro y botaderos ilegales, para lo cual utiliza cauces, riachuelos, riberas de ríos, costas de lagos y el océano. Durante la época intensa de lluvia, los cauces y ríos arrastran los desechos sólidos a cuerpos de aguas superficiales como lagos, lagunas y el océano mismo, lo que ocasiona un gran impacto ambiental en los ecosistemas acuáticos.

6. Cambio climático

Diferentes estudios (MARENA, 2005a, 2007, 2008a, b, c, 2009; González, 2006; MARENA, PNUD, 2000; CATHALAC, PNUD, GEF, 2008; CEPAL, GTZ, 2009; CEPAL, 1999) señalan tres efectos principales por el cambio climático en Nicaragua:

- a. El aumento de la temperatura atmosférica y el cambio en el régimen y la cantidad de precipitación pluvial que causan períodos de sequías en zonas específicas del país por disminución del nivel freático y de la escorrentía del sistema hídrico superficial.

- a. El aumento de las amenazas naturales a causa de huracanes, precipitaciones intensas, inundaciones, frecuencia y duración de sequías, incendios y olas de calor con afectaciones también en los recursos hídricos tanto en cantidad como en calidad.
- a. La elevación del nivel del mar, especialmente en la costa Atlántica donde se espera que surjan zonas más propensas a inundaciones y se incremente la erosión de las áreas costeras y la intrusión salina.

También todos estos estudios enfatizan que a los impactos negativos debidos al cambio climático hay que aunar los derivados de la degradación ambiental provocada por el hombre en cuencas hidrográficas por el inadecuado aprovechamiento del recurso, la distribución de la demanda de agua en relación con la del recurso y las actividades económicas, factores todos ellos que han impactado, como se ha descrito en este documento, el sistema hídrico en cantidad y calidad.

6.1 Modificación de la temperatura y de los regímenes de precipitación

Según las proyecciones de temperatura, debido al cambio climático (CATHALAC, PNUD, GEF, 2008) se espera un incremento de 1°C a 2°C en las primeras décadas de este siglo (2020-50), con aumentos de hasta 3°C y 4°C para finales del mismo. Se espera que el calentamiento sea menor en la costa del Caribe que en la del Pacífico, específicamente entre Guatemala y la región de la Mosquitia, ubicada entre Honduras y Nicaragua. En cuanto a la precipitación pluvial, se proyecta un decremento en la mayor parte de Centroamérica, con niveles superiores en Nicaragua, del orden del -40% (MARENA, 2009).

En la "Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático" y la aplicación del Sistema de Modelación Regional PRECIS, se obtuvieron resultados de mayor detalle para el país. Estas proyecciones muestran un clima más cálido (Figura 6.1) en donde el rango de variación de temperatura entre el mínimo y el máximo se estrecha en la zona del Pacífico.

Los incrementos en la temperatura media anual podrían producir impactos importantes en los diferentes sectores productivos y actividades humanas debido a que influyen, en gran medida, en la capacidad productiva de muchos cultivos, determinan el confort humano, la salud de la población, y podrían, en alguna medida, limitar la adaptación de la biota del territorio nacional.

En cuanto a la precipitación, se observa una disminución en la región Atlántica, en tanto que hay un posible aumento de la misma en la zona sur de Nicaragua, en el área compartida con Costa Rica y Panamá. Según la Síntesis regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba, “los aumentos en la temperatura media para las próximas décadas podrían ser mayores hacia las latitudes subtropicales. A nivel Centroamericano, la costa del Pacífico, cerca de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, se observa que los aumentos podrían ser mayores”. La región del Pacífico de Nicaragua ha sido identificada como la región con más alta vulnerabilidad por la escasez de agua, aun bajo un escenario optimista, debido a la disminución esperada en la cantidad de lluvias para el año 2030 y a la alta vulnerabilidad asociada con la tasa de crecimiento poblacional, la presencia de una agricultura intensiva y el deterioro ambiental. La región centro-norte aparece con una vulnerabilidad moderada.

En cuanto a la calidad del agua, se espera un mayor deterioro por contaminación con agroquímicos ante una agricultura más intensiva y la descarga de desechos líquidos sin tratar (MARENA, 2001). Ante este escenario, el manto freático de la cuenca del Pacífico se considera muy vulnerable al estar ya bajo presión por las actividades intensivas agropecuarias, la industria, la falta de tratamiento de aguas residuales y la intrusión salina en zonas costeras. La región central del país se considera con un nivel medio de vulnerabilidad a causa de la agricultura y deforestación.

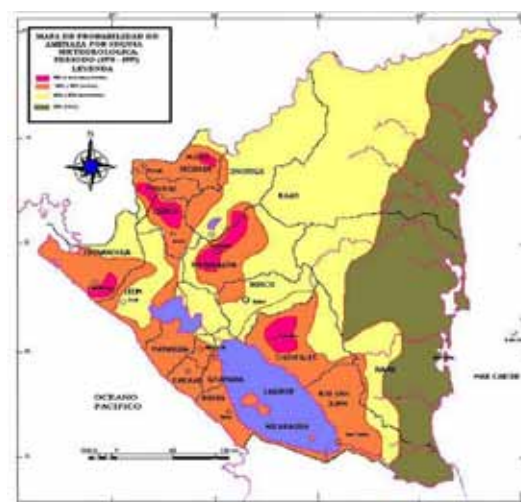
En términos de la variabilidad de la precipitación, se proyecta una reducción en los meses de julio y agosto que corresponden justamente al periodo canicular (MARENA, 2009). Esta situación, en conjunción con la necesidad de ampliar las áreas de riego debido a la reducción de lluvia, el incremento en la población y el aumento en la cantidad de industrias y la agricultura, causará el abatimiento del nivel freático y, con ello, una mayor demanda de bombeo. Los diferentes escenarios de modelaje de recarga del acuífero en años de sequía indican que la vulnerabilidad es muy alta, ya que se reduce su potencial en casi 50% y, con ello, su nivel queda por debajo del nivel seguro de explotación. Éste es un indicador de riesgo futuro muy importante, sobre todo bajo situaciones de prolongadas sequías asociadas al cambio climático (MARENA, 2005a). Por otra parte, como se explicó en la Sección 4.6.2, los bajos niveles freáticos, junto con la reducción de los caudales de los ríos de alimentación, promueven una mayor contaminación del agua subterránea.

Por otra parte, en el acuífero León-Chinandega ubicado en la Cuenca N° 64 se proyecta una escasez de agua, en términos de la infraestructura existente, a partir de 2015, lo que preocupa, ya que, como se señaló en la Sección 4.6.2, este acuífero es la principal fuente de agua para todos los usos (doméstico, riego, industrial y municipal). Además, es de esperar que las comunidades rurales más pobres –y en particular la de los pequeños productores– resulten más afectadas en estas circunstancias (MARENA, 2008a), ya que dependen de pozos individuales someros autoexplotados. Como consecuencia de la falta de agua, se incrementará la vulnerabilidad de la población por el alto riesgo de enfermedades de origen hídrico y desnutrición al haber escasez de alimentos, baja producción de granos y proliferación de plagas.

Según estudios del INETER (Figura 6.2), las zonas más expuestas a sequías son las del Pacífico occidental (Chinandega) y algunos municipios de la región Central (Chontales). En la región norte, la zona más afectada se ubica entre las cordilleras de Dipilto, Jalapa e Isabelia y las sierras de Tapesomoto (INETER, 2000).

Bajo condiciones de un clima cambiado, estas zonas recibirían anualmente menos de 500 mm, lo cual tendría repercusiones importantes en las actividades agrícolas y ganaderas. La mayor parte de la región del Pacífico central y sur podría pasar de 1 400-1 800 mm/año a 800-1 000 mm/año. En consecuencia, esto aumentaría el área de las zonas secas de Nicaragua, de tal forma que los

Figura 6.2. Mapa de áreas vulnerables a sequía en Nicaragua



Fuente: INETER, 1994

municipios considerados actualmente como zonas secas se tornarían más secos para el año 2100 (INETER, Dirección General de Meteorología, 1997).

6.2. Eventos extremos

Los eventos extremos –sequías e inundaciones– golpean más a los sectores más pobres y vulnerables de la población, afectan esfuerzos realizados por los gobiernos para el desarrollo de las zonas y ocasionan deterioro ambiental que modifican las condiciones de los recursos hídricos.

En la última década se ha observado en la región el aumento de la frecuencia y magnitud de los fenómenos de El Niño y La Niña, que se asocian con sequías e inundaciones, respectivamente. Por una parte, el fenómeno de La Niña se relaciona con tormentas y huracanes tropicales y trae consigo una alta incidencia de precipitaciones y la generación de huracanes. Recientemente ha habido siete huracanes potentes que han provocado inundaciones y serios daños económicos y sociales en Nicaragua y en países vecinos. Dichos huracanes son Fifi (1974), Alleta (1982), Joan (1988), César (1996), Mitch (1998), Keith (2000) y Félix (2006). La costa caribeña de Nicaragua se ubica en la trayectoria de los huracanes de la Cuenca N° 3 (Golfo de México, Mar Caribe y Atlántico). En promedio se registran 9,6 tormentas anuales. Adicionalmente, existe una probabilidad de 6% de la incidencia directa de huracanes en la zona de Bluefields, y de 36% en la zona de Cabo Gracias a Dios en el norte de Nicaragua, en la frontera con Honduras. Ello implica una vulnerabilidad alta por eventos extremos en las Regiones Autónomas del Atlántico Norte y Sur de Nicaragua (MARENA, 2009). A pesar de ser la región con más disponibilidad de agua, existe un riesgo alto para la salud, ya que la cantidad de usuarios sin servicio de agua potable y con bajos índices de desarrollo humano es muy alto (Región Autónoma Atlántico Norte, 64%, y Región Autónoma Atlántico Sur, 89%, sin cobertura).

Por otra parte, El Niño provoca eventos cálidos y sequías como las ocurridas en los años 1972, 1976-77, 1991, 1992, 1994 y 1997 (MARENA, 2008b). En condiciones de sequía postrera (agosto-diciembre), se incrementa el potencial de incendios forestales que destruyen la estructura y fertilidad de los suelos y los dejan más susceptibles a la erosión hídrica. Se ha registrado un rango de 1 801 a 4 160 puntos de calor entre 2004 y 2007 en todo el territorio nacional (SINIA, 2008), concentrados éstos en las zonas que corresponden a uso agropecuario. Las regiones del Atlántico y del río San Juan son las más afectadas por incendios forestales (MARENA, 2001).

Las inundaciones se generan por la acumulación del escurrimiento superficial de precipitaciones fuertes en los ríos que se desbordan hasta las planicies de inundación. Las áreas de Nicaragua más susceptibles de inundación se localizan en la región Atlántica y, en menor escala, en las áreas planas y bajas de la depresión nicaragüense, las zonas costeras de los lagos Xolotlán y Cocibolca localizadas en la región del Pacífico (MARENA, 2008b). Las lluvias torrenciales además pueden afectar la infraestructura encargada de la recolección y distribución del agua potable, lo que propicia la aparición de enfermedades diarreicas de transmisión hídrica. Los impactos de los huracanes, como fue el caso de Mitch, generan contaminación de aguas superficiales y de los pozos en zonas de inundación, que además, en áreas de deslave de zonas agrícolas, resultan afectados por el arrastre masivo de suelos que han acumulado plaguicidas (CIRA/UNAN, 1999a). También las aguas de las inundaciones pueden llevar toda clase de sustancias contaminantes, lo que impacta los acuíferos con alta permeabilidad y poca profundidad como ocurrió en León-Chinandega por el paso del huracán Mitch. El sector rural es muy vulnerable a estos eventos extremos, ya que lo conforman comunidades cuyas fuentes de agua para uso doméstico son pozos comunitarios excavados a poca profundidad sin sellos sanitarios ni medidas de protección.

6.3. Elevación del nivel del mar

Se ha proyectado una elevación del nivel medio del mar que podría llegar hasta 35 cm en el presente siglo (IPCC, 2007). La Figura 6.3, Áreas de inundación por elevación del nivel del mar, muestra que la costa caribeña de Nicaragua sería la región más afectada. Esto significaría que la zona sería más propensa a inundaciones, erosión costera e intrusión salina. Además se afectarían los sistemas de humedales que actualmente cubren ~90% del litoral.

Según el Cuadro 6.1, la posible salinización de las fuentes de agua de consumo se estima en cinco municipios con una población de 145 328 habitantes que representan el 17% de la población de la región del Caribe de Nicaragua. El aumento del nivel medio del mar, en conjunción con la alta vulnerabilidad por ocurrencias de huracanes, justifica la preocupación por “mareas de tempestades más intensas que afecten una mayor extensión de las áreas costeras” (MARENA, 2009).

Las consecuencias del cambio climático constituyen una amenaza latente para el desarrollo humano en Nicaragua. Existe un círculo vicioso de empobrecimiento que involucra “la pobreza rural actual, el deterioro progresivo de los

Figura 6.3. Áreas de inundación por elevación del nivel del mar



Fuente: SICA, Marco regional de adaptación al cambio climático para Centroamérica

recursos naturales renovables y la vulnerabilidad ante el cambio climático". Se ha analizado que 65% (BCN, 2008) de los hogares nicaragüenses son pobres con ingresos diarios de menos de 2 dólares. La planificación de la adaptación al cambio climático desde las instancias correspondientes es urgente para evitar que se agudice la alta vulnerabilidad ante los impactos esperados (PNUD, 2007-2008). La riqueza que representan los recursos hídricos para Nicaragua significa un beneficio que podría formar un pilar importante para el desarrollo del país; por lo tanto, es de suma urgencia la protección y la gestión integrada de estos recursos con base en los posibles impactos debidos al cambio climático.

7. Agua y salud

La crisis del agua y saneamiento afecta sobre todo a la población más pobre; en el mundo, casi dos de cada tres personas que carecen de acceso a agua limpia sobreviven con menos de 2 dólares diarios, y más de 660 millones de personas que carecen de saneamiento sobreviven con esa misma cantidad al día. En Nicaragua, 75,8% de la población del país vive con menos de 2 dólares al día (ENACAL, 2007).

Por otro lado, la falta de saneamiento está fuertemente asociada a la contaminación del agua por organismos patógenos y sustancias químicas tóxicas, lo cual resulta en la baja calidad del agua de consumo y genera un cúmulo de enfermedades y problemas sociales asociados a una calidad de vida disminuida que inexorablemente afecta a las poblaciones expuestas.

La contaminación por actividades humanas afecta el ecosistema acuático y directamente la salud humana debido a que se convierte en un elemento generador de enfermedades que afectan seriamente la salud y calidad de vida de los seres humanos. Estas enfermedades, conocidas como de transmisión hídrica y que son causadas por organismos enteropatógenos, incluyen principalmente las que afectan el tracto gastrointestinal, cuya principal expresión son las enfermedades diarreicas, las cuales están ligadas a millones de muertes infantiles anuales. Se considera que el agua contaminada y la falta de saneamiento constituyen la segunda causa de muerte en el mundo (PNUD, 2006); en el año 2006 se registraron en Nicaragua 144 000 casos de enfermedades diarreicas agudas (EDA) (ENACAL, 2007). En Nicaragua, durante la temporada lluviosa se presentan brotes de leptospirosis debido a la contaminación del agua con orina de roedores infestados de *Leptospira* (MINSA, 2003).

Otro aspecto no menos importante son aquellas patologías de evolución crónica relacionadas con la contaminación del agua por agroquímicos, principalmente los organoclorados (Álvarez Castillo, 1994; Carvalho, 2002; Briemberg, J. 1994). Existen también enfermedades causadas por la contaminación de los recursos hídricos por metales pesados como mercurio y arsénico (Altamirano *et al.*, 2009; Jiménez *et al.*, 2009).

En lo que respecta a la relación entre la disponibilidad de agua potable y casos de EDA, cabe resaltar que todos aquellos departamentos cuya producción porcentual de agua potable es menor reflejan, en los tres años estudiados, una tasa de morbilidad por EDA mayor que la tasa nacional de morbilidad por EDA. Todos los departamentos con una tasa similar o mayor a la tasa nacional de morbilidad por EDA son los señalados como los departamentos que tienen

Cuadro 6.1. Estimación de la población que se abastece de acuíferos costeros en la costa atlántica de Nicaragua

Ciudades abastecidas por acuíferos costeros	Población proyectada a 2008
Puerto Cabezas	68 783
Prinzapolka	16 741
Laguna de Perlas	11 098
Bluefields	47 347
San Juan del Norte	1 359
Total	145 328

Fuente: Elaboración propia a partir de datos poblacionales del Censo INEC, 2005

Cuadro 7.1. Producción porcentual de agua potable por departamento y tasas de morbilidad por EDA

Departamentos	Producción anual de agua potable (%)	Tasa de morbilidad por EDA (2005)	Tasa de morbilidad por EDA (2006)	Tasa de morbilidad por EDA (2007)
Boaco	0,9	419,24	360,69	466,03
Carazo	4,0	428,75	396,63	454,12
Chinandega	5,9	195,24	18,6	188,19
Chontales	1,8	243,73	205,4	328,99
Estelí	3,2	506,58	407,75	407,71
Granada	4,3	306,5	199,48	217,91
Jinotega	0,8	355,6	330,97	316,42
León	8,0	240,72	155,93	168,7
Madriz	0,7	437,52	403,76	449,72
Managua	56,7	347,19	262,92	361,49
Masaya	4,6	268,66	219,11	277,26
Matagalpa	3,3	518,49	438,86	448,61
Nva. Segovia	1,8	360,22	315,3	275,46
Río San Juan	0,2	581,81	444,6	442,96
Rivas	2,2	294,66	222,8	245,63
RAAN	0,2	662,49	888,12	919,29
RAAS	0,7	863,10	704,79	863,97
Total	100,0	370,68	315,16	364,1

Tasa x 10 000 habitantes

Fuente: ENACAL, 2007; OPS, 1996.

problemas agudos de abastecimiento de agua según ENACAL y aquéllos que tienen poco acceso a agua potable y servicio sanitario (ENDESA, 2007). El Cuadro 7.1 muestra la relación existente entre la producción de agua segura o potable y la incidencia de EDA para diferentes años.

En el occidente del país, donde ampliamente se ha documentado la contaminación de suelo, agua y sedimento por plaguicidas organoclorados (Montenegro *et al.*, 2009; Montenegro *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2002) además de la presencia de estos xenobióticos en sangre, cordón umbilical y leche materna (Cruz Granja, 1995; Lacayo, 1995; CIRA/UNAN, 1997), se observa una alta prevalencia de enfermedades renales crónicas y de pacientes con insuficiencia renal crónica en el perfil patológico de la población (Marín, J. 2007), además de esterilidad, cánceres y malformaciones congénitas, las que muy posiblemente estén en relación con los efectos nefrotóxicos, cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos de estos compuestos.

En lo que se refiere al arsénico, en Nicaragua se ha identificado la contaminación natural por arsénico en las aguas de consumo humano en la región noroccidental (Villanueva, Santa Rosa del Peñón), norte central (Madriz, Nueva Segovia), central (Valle de Sébaco) y en el Depar-

tamento de Chontales (La Libertad, localidad Kimuna) (Altamirano y Bundschuh, 2009). Cálculos conservadores estiman que en Nicaragua aproximadamente 55 700 personas están ingiriendo agua contaminada por arsénico (UNICEF-ASDI, 2004).

8. Marco legal

Las primeras regulaciones relacionadas al recurso agua en Nicaragua fueron las establecidas en el Código Civil, instrumento jurídico cuya visión, alcance y espíritu data desde el año 1904, con una influencia privatista sobre los recursos naturales en que el agua estaba sujeta a la promulgación de regulaciones especiales tal y como lo manda el artículo 723, el cual señala: "Todo lo concerniente a las aguas públicas y particularmente a las navegables y fluctuables, a las corrientes de agua no navegables ni flotables, a las fuentes y manantiales, a las aguas pluviales, a los canales, acueductos particulares y otras obras relativo al uso de las aguas; finalmente a las sustancias vegetales acuáticas o terrestres se rigen por ordenanzas especiales" (Diario oficial, 1904). Pasaron más de 50 años para que se promulgara la primera ley que intentó regular los recursos natu-

rales del país, denominada Ley General Sobre Explotación de las Riquezas Naturales (1958) (La Gaceta, N° 83, abril de 1958); sin embargo, esta ley deja una vez más el agua fuera del marco legislativo.

Esta ausencia de un marco legal definido contribuyó a que las normas establecidas en el Código Civil fueran las de mayor aplicación al reconocer sobre el agua la propiedad privada y que en nombre de los derechos individuales se permitiera la contaminación de los recursos de agua en todo el país.

Pasaron casi 100 años para que se promulgaran las primeras normas que intentan proteger los recursos hídricos de una manera integral a través de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley 217) (La Gaceta, 1996), la cual fue promulgada y puesta en vigencia en 1996. La ley modifica, por primera vez, los conceptos privatistas e individuales establecidos en las leyes anteriores y establece una concordancia legal con el precepto Constitucional establecido en el artículo 102, el cual señala: "Los recursos naturales son patrimonio nacional. La preservación del ambiente y la conservación, desarrollo y explotación racional de los recursos naturales corresponden al Estado". Siguiendo este precepto, la Ley 217 señala en su artículo 72: "El agua, en cualesquiera de sus estados, es de dominio público. El Estado se reserva además la propiedad de las playas marítimas, fluviales y lacustres; el álveo de las corrientes y el lecho de los depósitos naturales de agua; los terrenos salitrosos, el terreno firme comprendido hasta treinta metros después de la línea de marcas máximas o a la del cauce permanente de los ríos y lagos y los estratos o depósitos de las aguas subterráneas".

En la Ley 217 están contenidos 22 artículos que tratan de regular diferentes aspectos del recurso agua; sin embargo, los mismos han carecido de aplicación debido a la ausencia de una institución que se haga cargo de la implementación y resguardo del recurso.

La Política Nacional de los Recursos Hídricos (La Gaceta, 2001) se basa en una gestión por cuencas hidrográficas como fundamento para el manejo integrado del recurso agua en Nicaragua. Además, establece la importancia de que el agua sea un patrimonio nacional de dominio público para satisfacer las necesidades básicas de la población respetando los principios de equidad social y de género. Asimismo prevé el impacto del cambio climático al establecer en su artículo 2: "Son objetivos de la Política Nacional de los Recursos Hídricos el uso y manejo integrado de los recursos hídricos en correspondencia con los requerimientos

sociales y económicos del desarrollo y acorde con la capacidad de los ecosistemas, en beneficio de las generaciones presentes y futuras, así como la prevención de los desastres naturales causados por eventos hidrológicos extremos".

La historia legislativa de regulación del recurso alcanza su mayor grado normativo en septiembre del año 2007, fecha en que se aprueba y promulga la primera ley que regula de manera integral el recurso hídrico y se convierte en el primer instrumento legal válido para el manejo sostenible del recurso.

Esta ley establece un marco normativo integral para las aguas nacionales que es acorde con la Política Nacional de administrar, conservar, desarrollar, usar, aprovechar sostenible y equitativamente así como preservar en cantidad y calidad los recursos hídricos existentes en el país (C. García, Presidente Comisión Medio Ambiente Asamblea Nacional). La ley General de Aguas Nacionales (Ley 620) y su reglamento ponen énfasis en la gestión integrada del recurso a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país. El componente más importante de la Ley es la creación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el artículo 24, el cual señala: "Se crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que será el órgano descentralizado del Poder Ejecutivo en materia del agua, con personería jurídica propia, autonomía administrativa y financiera y que tendrá facultades técnicas-normativas, técnicas-operativas y de control y seguimiento, para ejercer la gestión, manejo y administración en el ámbito nacional de los recursos hídricos, de conformidad a la presente Ley y su reglamento". La ANA (art. 25) es la responsable de proponer al Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para su aprobación, la conformación de los organismos de cuenca. Otras funciones de la ANA son organizar y coordinar el Sistema de Información de los Recursos Hídricos, el cual tiene como función determinar la disponibilidad de las aguas nacionales en cantidad y calidad, así como establecer el inventario de los usos y usuarios del recurso. Este sistema abarca información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica e incluye el manejo de los bancos de datos, la operación y mantenimiento de las redes y la difusión de la información obtenida (La Gaceta, 2007b).

Otro aspecto importante de la Ley 620 es el reconocimiento de la importancia del lago Cocibolca, el lago más grande de Centroamérica y el lago tropical más grande de las Américas, como reservorio nacional de agua potable con el objeto de impedir que siga la contaminación de sus aguas. Como resultado, se creó la "Comisión de De-

sarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y el Río San Juan" (Gaceta, 2007a), la cual tiene como función elaborar, aprobar y dar seguimiento al Plan de Acción y de Ordenamiento Territorial para la Gestión de la Cuenca (Montenegro, 2009).

Por otra parte, es importante añadir que los Planes de Desarrollo Municipal incluyen un componente adicional a la gestión del agua, ya que por medio de la Ley de Municipios (Ley 40) se establece en el artículo 6 que "los gobiernos municipales tienen competencia en todas las materias que incidan en el desarrollo socio-económico, en la conservación del ambiente y los recursos naturales de su circunscripción territorial". Además, la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua (art. 83) establece que los gobiernos autónomos y municipalidades pueden determinar en el área de su jurisdicción las cantidades máximas de extracción de agua.

En 2010 se estableció la Autoridad Nacional de Agua que actualmente está desarrollando la base para aplicar la Ley 620.

9. Referencias

1. Agenda 21-Nicaragua. Aspectos del desarrollo sostenible referentes a los recursos naturales en Nicaragua. <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/nicara/natur.htm#toxic>
2. Altamirano, M. y Bundschuh, J. (2009). Natural arsenic groundwater contamination of the sedimentary aquifers of southwestern Sébaco Valley, Nicaragua. *Geoquímica del arsénico en América Latina*.
3. Altamirano, M. (2005). Distribución de la contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la subcuenca suroeste del valle de Sébaco, Matagalpa-Nicaragua. <http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/MaxAltamirano.pdf>
4. Álvarez Castillo, José Antonio (1994). Niveis de contaminacao das águas da Bacía do rio Atoya por resíduos de pesticidas organoclorados e organofosforados aplicado na cultura do algodão Bacía de rio Atoya Chinandega, Nicaragua America Central. Tesis de Maestría (Universidad Federal do Paraná Brasilia).
5. Andre, L., Rosen, K. Rosen, K. y Torstendahl, J. (1997). Minor field study of mercury and lead pollution from gold refining in central Nicaragua. Department of Environmental Engineering, Lulea University of Technology, Lulea.
6. Argüello, O. (2008). Revisión y actualización de la estrategia del sector de agua potable y saneamiento, 2008-2015, Nicaragua/Informe final. Managua, julio de 2008.
7. Banco Mundial (2001). Recurso hídrico per cápita por año de los países centroamericanos y otros países de referencia. www.aguayclima.com/agua/inicio.htm
8. BCN (2009). Banco Central de Nicaragua. Nicaragua en cifras. <http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/nicaraguacifras/Nicaragua%20en%20cifras%202007%20WEB.pdf>
9. BCN (2008). Banco Central de Nicaragua. Anuario de Estadísticas Económicas 2001-2008. <http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/anuario/Anuario%20estadistico%202008.pdf>
10. Briemberg, J. (1994). An investigation of pesticide contamination of groundwater sources for urban water distribution systems in the Pacific Region of Nicaragua. Final Report 3, CIDA Awards for Canadians.
11. Calderón, H. (2003). Numerical modeling of the groundwater flow system in a sub-basin of the Leon-Chinandega aquifer, Nicaragua. MSc Thesis. University of Calgary, Calgary, Alberta.
12. CATHALAC, PNUD, GEF (2008). Síntesis regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Edición final (E. Sempris, M. Chirliza, Joel Pérez, R. Carrillo y M. Tuñon [eds.]).
13. CCO (2001). Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, Distrito de Mobile y Centro de Ingeniería Topográfica Regionalización. *Biofísica de tres regiones del Pacífico de Nicaragua*. <http://www.sam.usace.army.mil/en/wra/Nicaragua/WRA%20SPANISH.pdf>
14. CAPS Nicaragua (2009). <http://capsnicaragua.blogspot.com>
15. Carvalho, Fernando P., Villeneuve, J. P., Cattini, Chantal, Tolosa, Inmaculada, Montenegro Guillén, S., Lacayo, M. y Cruz, A. (2002). Ecological risk assessment of pesticide residues in coastal lagoons of Nicaragua. *The Royal Society of Chemistry, Journal of Environmental Monitoring*, 4, 778/787.
16. Castillo Hernández, E., Calderón Palma, H., Delgado Quezada, V., Flores Meza, Y. y Salvatierra, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*. (Situation of Water Resources in Nicaragua). Instituto Geológico y Minero de España, 117 (1):127-146.
17. Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1973). Ministerio de Economía, Industria y Comercio.

18. Centro Humboldt (2001). Caracterización hidrogeológica, hidroquímica, bacteriológica y de plaguicidas en las aguas subterráneas del municipio de Posoltega. Managua, Nicaragua.
19. CEPAL, GTZ (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. <http://www.eclac.cl/dmaah/noticias/paginas/6/34886/libro-cc.pdf>
20. CEPAL (1999). Nicaragua: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente.
21. CEPIS-OPS (2002). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias. Tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina, Inventario regional del manejo de las aguas residuales. Convenio IDRC-CEPIS 2000-2002.
22. CIA, The World Factbook. <https://cia.gov/library/publications/the-world-factbook>
23. CIRA/IAEA (1999). Proyecto ARCAL XXXI. Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe de Nicaragua: Estudio Isotópico y de la Contaminación del Acuífero León-Chinandega, Nicaragua. Informe final.
24. CIRA/UNAN (2009). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (Informe final de la Primera Campaña de Muestreo, Proyecto "Evaluación del Impacto de los Lixiviados del Basurero de la Ciudad de Managua, La Chureca, a las Aguas del Lago Xolotlán, al Acuífero Afectado y a la Laguna Acahualinca". CIRA/UNAN, Managua.
25. CIRA/UNAN (2008). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Informe final de Evaluación y monitoreo de la calidad del agua del lago de Managua, Proyecto de apoyo a la ejecución del Programa de Saneamiento Ambiente del Lago y la Ciudad de Managua, Contrato de Préstamo BID 1060/SF-NI.ENACAL e INETER.
26. CIRA/UNAN, 2007. Análisis de la relación entre las presiones antropogénicas y el estado de la contaminación del lago Cocibolca de Nicaragua. Integración de datos biológicos, físicos y químicos con datos geoespaciales e información de la cuenca hidrográfica del lago Cocibolca. CIRA/UNAN-Fundación Ciudad del Saber.
27. CIRA/UNAN (1997). Plaguicidas organoclorados en sangre de madres del Departamento de Chinandega, Cuadra Leal, J., Cruz Granja, A. y Lacayo, M. Informe.
28. CIRA/UNAN (1999a). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Diagnóstico de la calidad toxicológica de las aguas y suelos y calidad bacteriológica de las aguas del municipio de Posoltega. Managua, Nicaragua.
29. CIRA/UNAN (1999b). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Proyecto ARCAL XXXI. Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe Nicaragua. Estudio isotópico y de la contaminación del acuífero León-Chinandega. Managua, Nicaragua.
30. CIRA/MEL/DIPS (1996-1998). Fate, Cycling and Environmental Effects of Agrochemical Residues from Cotton Culture in Coastal Lagoon Environments of Nicaragua. First year, Second year, Third year, and Final Reports.
31. CONAGAN (2009). Comisión Nacional Ganadera de Nicaragua. Comunicación personal con el Gerente General de CONAGAN, Dr. René Blandón.
32. CONAGUA y WWC (2006). Comisión Nacional de Agua y World Water Council, Datos de extracción de agua en Centroamérica. Presentado en el Foro Mundial del Agua México, 2006.
33. Cruz Granja, Adela (1995). Pesticidas organoclorados na gordura corporal de mulheres Nicaraguenses. Tesis de Maestria Universidad de Brasilia.
34. Delgado, V. (2003). Groundwater Flow System and Water Quality in a Coastal Plain Aquifer in Northwestern Nicaragua. MSc Thesis. University of Calgary, Calgary, Alberta.
35. ENACAL (2008a). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012: Estrategia sectorial de agua propuesta por ENACAL, diciembre de 2008. Managua. <http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf>
36. ENACAL (2008b). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Revista. Informe de Gestión 2008, diciembre de 2008. Managua. <http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf>
37. ENACAL (2007). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. ABC sobre el recurso agua y su situación en Nicaragua. Segunda edición. <http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/ABCdelAgua1.pdf>
38. ENACAL (2005). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Efluentes in-

- dustriales que se descargan al alcantarillado sanitario de Managua. Gerencia Ambiental. Unidad de Vertidos Industriales, agosto de 2005.
39. ENDESA (2007). Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud, 2006-2007. http://www.ops.org.ni/index.php?Itemid=34&func=fileinfo&id=524&option=com_repositorio
 40. FAO-CEPAL (2009). Los recursos hídricos de Nicaragua. <http://coin.fao.org/medias/fao-nic-recursos-hidricos-capal-pdf>
 41. FAO (1992). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estudio Subsectorial del Riego Privado. Vol. II de II (Anexo 4, 5, 6, 7).
 42. FAO-Aquastat (2005). Groundwater to surface water renewal ratio calculated from total annual internally generated groundwater and surface water volumes in the Aquastat database. www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/lvOct05
 43. FAO-AQUASTAT (2003). Water Resources, Development and Management Service, Information System on Water and Agriculture, Land and Water, General Summary Latin America and the Caribbean. www.fao.org/AG/agl/aglw/aquastat/regions/lac/index3.stm
 44. Fekete, B., Vörösmarty, C. y W. Grabs (2002). Global Composite Runoff Fields, CSRC. UNH. Deichmann, U., Gridded Population of the World. <http://www.ciesin.org/datasets/gpw/globaldem.doc.html>
 45. Flores, S. (2005). Flujo de macronutrientes (fósforo y nitrógeno) del Subsistema Hidrológico Lago Cocibolca: Estimación de carga superficial en relación al uso del suelo. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN). Managua, Nicaragua.
 46. González, H. C. (2006). Identificación de bosques y sistemas agroforestales importantes proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. Tesis para optar al grado de *Magíster Scientae* en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
 47. GWP-CA (2006). Asociación Mundial para el Agua, Capítulo Centroamérica. Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Hacia una Gestión Integrada. Ed. Virginia Reyes G., 3ª Ed., San José, C.R.
 48. Hydrological Bulletin (1991). Limnology of Lake Xolotlán (Lake Managua), Nicaragua. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society. Vol.25(2), 1991.
 49. IEA-MARENA (2001). Informe Estado del Ambiente en Nicaragua 2001.
 50. INAA (1999). Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (NTON 09003-99). Normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua. Managua.
 51. INEC (2006). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Informe del VIII Censo de Población y IV de Vivienda, Censo 2005. Managua.
 52. INEC (2005). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Encuesta de Hogares para la Medición de Empleo. Informe general.
 53. INEC (2005). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Informe de VIII Censo Poblacional y IV de Viviendas, 2005-2006. Revista.
 54. INEC (2003). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Compendio Estadístico 2000-2002.
 55. INETER (2006). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Boletín Hidrogeológico.
 56. INETER (2004). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Proyecto de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua.
 57. INETER (2000). Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en la región de Chinandega-León-Nagarote (acuífero de Occidente). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales-Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR).
 58. INETER. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Datos sobre la hidrología de Nicaragua. <http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/Recursos%20Hidricos/index.html>
 59. INETER (1997). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Dirección General de Meteorología. Perspectivas de las precipitaciones en Nicaragua ante un evento ENOS, Documento técnico. Gutiérrez, M.
 60. INETER/OIEA (1997). Estudio hidrogeológico del acuífero de Occidente. OIEA-INETER. NIC/8/009. Informe interno.
 61. INETER (1994). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Clasificación de humedad disponible en Nicaragua. <http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/estudios/clasificacion%20de%20humedad.htm>
 62. INETER (1989). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la región Pacífico de Nicaragua.
 63. INIDE (2006). Instituto Nacional de Información de Desarrollo. Compendio estadístico 2003-2004 y Anuario Estadístico 2006.

64. INIDE (2005). Perfil y características de los pobres en Nicaragua 2005. Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Encuesta de Hogares sobre Medición de Nivel de Vida.
65. International Water Management Institute (2007). The Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, System Wide Initiative on Water Management (SWIM). (www.iwmi.cgiar.org/assessment)
66. IPCC (2007). Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático. Cambio climático 2007, Informe de síntesis. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
67. Jiménez García, Mario, Montenegro Guillén, Salvador y Yoshiaki Yasuda (2007). Contaminación por mercurio en el lago Xololtán y la salud de poblaciones humanas que habitan en zonas costeras.
68. Jiménez García, Mario, Montenegro Guillén, Salvador y Yoshiaki Yasuda. Contaminación por mercurio en Nicaragua. (2009). El caso de la empresa Pennwalt. Universidad y Ciencia, UNAN-Managua, Año 4, No. 7, julio-diciembre de 2009.
69. Kokusai, Kogyo (1993). Resumen del Estudio de Suministro de Agua en Managua.
70. Krásný, J. (1995). Hidrogeología de la zona Pacífica de Nicaragua. Servicio Geológico Checo-INTER. Informe interno.
71. Lacayo Romero, Martha (1995). Pesticidas organoclorados no leite humano de maes Nicaragüenses. Tesis de Maestría, Universidad de Brasilia.
72. Lacerda, L.D. (2003). Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 308-314.
73. La Gaceta (2007a). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 159. Ley No. 626, Ley que Crea la Comisión de Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y del Río San Juan. Publicada el 21 de agosto de 2007.
74. La Gaceta (2007b). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 169. Ley No. 620, Ley General de Aguas Nacionales. Publicada el 4 de septiembre de 2007.
75. La Gaceta (2001). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 233, Decreto No. 1072001 del Presidente de la República, La Política Nacional de los Recursos Hídricos. Publicado el 7 de diciembre de 2001.
76. La Gaceta (1996). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 105. Ley 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua. Publicada el 6 de junio de 1996.
77. La Gaceta (1995). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 118. Decreto No. 33-95, Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias. Publicado el 26 de junio de 1995.
78. La Gaceta (1958). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 83, Ley General sobre Explotación de las Riquezas Naturales. Publicada el 17 de abril de 1958.
79. Losilla, M., H. Rodríguez, Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central, Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
80. MAGFOR (2008). Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Subprograma Desarrollo y Reactivación del Riego para Contribuir a la Seguridad Alimentaria en Nicaragua. Octubre de 2008.
81. MAGFOR (2004). Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Situación actual en el uso de plaguicidas e importaciones autorizadas. Dirección del Registro Nacional y Control de Insumos Agropecuarios. http://www.inta.gob.ni/guias/uso_plaguicidas
82. MAGFOR (2002). Ministerio Agropecuario y Forestal. Dirección General de Estrategias Territoriales, Mapa forestal.
83. MAGFOR (1997). Ministerio Agropecuario y Forestal. Sistema de Información Geográfica, Nicaragua, potencialidades y limitaciones de sus territorios.
84. MARENA (2009). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Segunda Comunicación Nacional. Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, versión prensa, presentación julio de 2009.
85. MARENA (2008a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Técnico Nicaragua Cuenca No. 64. Proyecto "Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba". PAN10-00014290.
86. MARENA (2008b). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Escenarios de cambio climático de Nicaragua a partir de los resultados del modelo

- PRECIS (Centella, A., Bezanilla, A. [eds.]). Proyecto Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, NIC10-00036532. Oficina Nacional de Desarrollo Limpio, MARENA.
87. MARENA (2008c). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Segundo inventario nacional de gases de efecto invernadero, Nicaragua, Año de referencia 2000.
 88. MARENA (2007). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Propuesta Plan Ambiental de Nicaragua 2005-2011. Borrador final. Gobierno de Nicaragua. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, marzo de 2007.
 89. MARENA (2005a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe de Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y agricultura en la Cuenca No. 64. Oficina Nacional de Desarrollo Limpio. Proyecto regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba.
 90. MARENA (2005b). Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Plan Nacional de Erradicación de la Basura, noviembre de 2005.
 91. MARENA (2004a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua 2003. Segundo informe GEO.
 92. MARENA (2004b). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Sistema Nacional de Información Ambiental, SINIA, Imágenes del Satélite Landsat, 2001-2003.
 93. MARENA (2004c) Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Bases de la Política Nacional sobre la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Nicaragua, julio de 2004.
 94. MARENA (2004d). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Primer inventario nacional de fuentes y emisiones de dioxinas y furanos. Nicaragua.
 95. MARENA (2003). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Plan de Acción Nacional ante el Cambio Climático. Proyecto Primera Comunicación Nacional ante el Cambio Climático [S. Heumann, G. Wilson V., F. Picado T. (eds.)]. PNUD-NIC/98/G31-MARENA.
 96. MARENA (2003). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua. Managua, Nicaragua.
 97. MARENA (2001). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua. Managua, Nicaragua.
 98. MARENA-PNUD (2000). Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático. Cruz Meléndez, O. et al. Proyecto Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, PNUD-NIC/98/G31-MARENA.
 99. Marín Ruiz, J. (2007). Insuficiencia renal crónica en Nicaragua. Presentación en Congreso Multidisciplinario de Investigación Ambiental 2007.
 100. MEM (2008). Ministerio de Energía y Minas. Potencial y aprovechamiento de los recursos renovables en Nicaragua.
 101. MIFIC (2006). Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. Propuesta de la Política Industrial de Nicaragua. Proyecto NI-10-00046784 (versión preliminar).
 102. MINSAL (2007). Ministerio de Salud. Boletín epidemiológico, semana 51, año 2007. <http://www.minsa.gob.ni>.
 103. MINSAL (2003). Ministerio de Salud. Situación epidemiológica de la leptospirosis en Nicaragua, Semana Epidemiológica, No. 40, año 2003.
 104. Montenegro, S. (2009). Nicaragua, un país con agua y sed. Conferencia magistral. El Guacal 2, 2009.
 105. Montenegro, S. (2009). Nicaragua-Plan de Gestión del Gran Lago Cocibolca, Aplicación de Criterios GIRH en la Organización del Plan de Gestión. <http://www.gwpcentroamerica.org/uploaded/content/category/1924515248.pdf> y http://www.gwptoolbox.org/index.php?option=com_case&id=216&Itemid=41
 106. Montenegro Guillén, S. y Jiménez García, M. (2009). Residuos de plaguicidas en agua de pozos en Chinandega, Nicaragua. Universidad y Ciencia, UNAN-Managua. Año 4, No. 7, julio-diciembre de 2009.
 107. Montenegro Guillén, S. y Jiménez García, M. (2007). Presencia y concentración de residuos de plaguicidas y contaminantes biológicos en el agua de pozos para consumo humano en localidades de antiguas plantaciones bananeras en el occidente de Nicaragua. Proyecto CNU. Informe final 1.
 108. Montenegro Guillén, S. (2006). Gran Lago Cocibolca, ¿reserva nacional de agua potable para Nicaragua? www.ecoport.net/content/view/full/59427

109. Montenegro Guillén, S. (2003). Lake Cocibolca/ Nicaragua. In Lakenet (ed.) World Lake Basin Management Initiative, Regional Workshop for Europe, Central Asia and the Americas, held at St. Michael's College, Vermont, June 18-21, 2003.
110. Nicaraguan Research Center for Aquatic Resources (CIRA/UNAN) and National Institute for Minamata Disease, Japan (2007). Final Report on Environmental Contamination from Mercury in Lake Xolotlán, Nicaragua: Human Health Risk Assessment to Interamerican Development Bank.
111. OPS (1996). Organización Panamericana de la Salud. Vigilancia Ambiental. Fundación W.K. Kellogg. Serie HSP-UNI/Manuales operativos PALTEX.
112. OPS-OMS (2004). Organización Panamericana de Salud. Estrategia sectorial de Agua Potable y Saneamiento de Nicaragua, noviembre de 2004.
113. OPS/OMS-DANIDA (2002). Diagnóstico sobre la exposición y efectos del uso de los plaguicidas en la Región Autónoma del Atlántico Norte, RAAN. Serie Diagnósticos 16. Proyecto Plagsalud. Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud, Nicaragua, febrero de 2002.
114. ONU (1974). Organización de Naciones Unidas. Investigaciones de aguas subterráneas en la región de la costa del Pacífico. Zona de Chinandega. Vol. I y II. New York.
115. PANic (2001). Plan Ambiental de Nicaragua para los años 2001-2005. Gobierno de Nicaragua.
116. Parello, F., Aiuppa, A., Calderon, H., Calvi, F., Cellura, D., Martinez, V., Militello, M., Vammen, K., Vinti, D. (2008). Geochemical characterization of surface waters and groundwater resources in the Managua area (Nicaragua, Central America). *Applied Geochemistry*, doi: 10.1016/j.apgeochem.2007.08.006
117. PARH (1997). Plan de Acción de los Recursos Hídricos de Nicaragua. Evaluación rápida de los recursos hídricos.
118. PHIPDA (2003). Plan Hidrológico Indicativo Nacional y Plan Anual de Disponibilidad de Agua, 2003. Diagnóstico de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica.
119. Picado, F. (2008). Fluvial transport and risk of mercury in a gold mining area. Tesis Doctoral de la Universidad de Lund, Suecia, Departamento de Ecología, Ecología Química y Ecotoxicología.
120. PROCUENCA SAN JUAN (2004a). Informe técnico final sobre agua y clima. Enfrentando la variabilidad del clima en una cuenca transfronteriza de América Central: la Cuenca del Río San Juan. Proyecto PROCUENCA. http://www.oas.org/san-juan/spanish/documentos/dialogo/dialogo/04-tecnical_report/03-BasinDescription.html
121. PROCUENCA-SANJUAN (2004b). Integración de los estudios básicos del Proyecto "Formulación de un Programa de Acciones Estratégicas para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera".
122. Programa Conjunto del Milenio (OMS/UNICEF) de Seguimiento del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (PCM) (2010). Progresos en materia de saneamiento y agua. Informe de actualización.
123. PNUD (2007-2008). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano, 2007-2008.
124. PNUD (2006). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua.
125. PNUMA-MARENA (2000). Reducción del escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. Informe Nacional de Nicaragua. Proyecto GEF (Global Environment Facility). Dirección General de Control Ambiental. Dirección de Vigilancia y Control Ambiental.
126. Proyecto RepCar (2009). Proyecto "Colombia, Costa Rica y Nicaragua: Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe" (GEF-REPCar), "Monitoreo del Escurrimiento de Plaguicidas al Caribe Nicaragüense". <http://cep.unep.org/repcar/coastal-monitoring>
127. Proyecto RepCar (2010). Proyecto Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe. Informe de país sobre importaciones de plaguicidas correspondiente al período 2004-2009, Nicaragua.
128. SINIA (2008). Sistema Nacional de Información Ambiental. Medio ambiente en cifras: Nicaragua 2004-2007. Managua. <http://www.sinia.net.ni>
129. SINIA-MARENA (2009). Borrador del Informe Estado del Ambiente. GEO, 2007-2008. <http://www.sinia.net.ni>
130. Telmer, K., Costa, M., Angélica, R. S., Araujo, E. S. y Marice, Y. (2006). The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground-and space-based evidence. *Journal of Environmental Management*, 81, 101-113.
131. UNICEF-ASDI (2004). Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua, octubre de 2004.

132. UNICEF, ENACAL, MINSA (2005). Evaluación rápida de la calidad del agua de bebida. Informe final.
133. Vammen, K., Pitty y J., Montenegro Guillén, S. (2006). Evaluación del proceso de eutrofización del lago Cocibolca, Nicaragua y sus causas en la cuenca. Eutrofización en América del Sur, consecuencias y tecnologías de gerencia y control. Instituto Internacional de Ecología. Interacademic Panel on International Issues, 35-58.
134. Vargas, O. R. (2007). Centroamérica: Las Metas del Milenio, Centro de Estudios de la Realidad Nacional (CEREN).
135. Velásquez, G. (1994). Diagnóstico da contaminação ambiental gerada pela atividade mineraria sobre os Rios Súcio, Mico e Sinecapa, Nicaragua. MSc Dissertation, Centro de Geociencias, Universidade Federal do Para, Belém.
136. WWAP (2006). UN-Water/World Water Assessment Programme. Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2.
137. Weyl, R. (1980). Geology of Central America. Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Science Publishers, Stuttgart.
138. World Bank: Agricultural Land Use; Selected Countries (2001).
139. Yale Center for Environmental Law & Policy (2010) Environmental Performance Index 2010. <http://epi.yale.edu/>