

# Situación de los recursos hídricos en Nicaragua

E. Castillo Hernández<sup>(1)</sup>, H. Calderón Palma<sup>(2)</sup>, V. Delgado Quezada<sup>(2)</sup>, Y. Flores Meza<sup>(2)</sup> y T. Salvatierra Suárez<sup>(2)</sup>

(1) INETER. Frente a Policlínica Oriental. Apartado Postal 2110. Managua, Nicaragua  
E-mail: enocseth2002@yahoo.es

(2) CIRA/UNAN-Managua. De ENITEL Villa Fontana, 400 metros al Norte. Apartado Postal 4598. Managua, Nicaragua  
E-mails: hcalderonp@yahoo.com - vdelgadoq@yahoo.com - yelba\_ni@yahoo.com - thelmasalvatierra@yahoo.com

## RESUMEN

Nicaragua, conocido como el país de lagos y volcanes, es abundante en recursos hídricos superficiales y subterráneos. Sus dos grandes lagos de origen tectónico, Xolotlán de 1.040 km<sup>2</sup> y Cocibolca de 8.200 km<sup>2</sup>; sus 21 cuencas hidrográficas con un potencial de 152.596 millones de m<sup>3</sup>; un sinnúmero de lagunas de origen volcánico y dos lagos artificiales forman parte de sus riquezas. En la Región del Pacífico se desarrollan los acuíferos de mayor potencial mientras que en la región Atlántica la abundancia de recursos hídricos superficiales ha relegado el desarrollo de los subterráneos. En esta zona del Pacífico se concentra la mayor densidad poblacional y es donde se realiza la mayor actividad agrícola e industrial del país; lo que ha conllevado, en algunos casos a la explotación excesiva de los acuíferos, y a una degradación progresiva de la calidad del agua, que amenaza la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Se han encaminado esfuerzos en la solución a estos problemas, con un enfoque integral de cuencas, que actualmente está poco a poco resultando en conservación y restauración de los recursos hídricos.

Palabras clave: calidad del agua, desarrollo de recursos, disponibilidad, Nicaragua, recursos hídricos

## *Water resources situation in Nicaragua*

### ABSTRACT

*Nicaragua, known as the country of lakes and volcanos, is abundant in surface and groundwater resources. Its two Great Lakes of tectonic origin, Xolotlán of 1,040 km<sup>2</sup> and 8,200 Cocibolca of km<sup>2</sup>; its 21 hydrographic river basins with a potential of 152.596 million of m<sup>3</sup>; an endless number of lagoons of volcanic origin and two artificial lakes are just part of its wealth. In the Pacific Region most of the major aquifer of greater potential are developed whereas in the Atlantic region the abundance of surface water resources has relegated the development of the groundwater use. In the Pacific Zone is concentrated most of the inhabitant and is where the greater agricultural and industrial activity of the country is made; what it has entailed, in some cases to the uncontrolled exploitation of the aquifers, and to a progressive degradation of the quality of the water, that threatens the future water availability for vital uses of the population. Efforts in the solution have been directed to these problems, with an integral approach of river basins, at the moment the result is a step by step conservation and restoration of water resources.*

*Key words: Nicaragua, resources development, water availability, water quality, water resources*

## Introducción

La República de Nicaragua se encuentra en una posición geográfica privilegiada; rodeada de dos océanos, surcada por numerosos ríos y con la presencia de numerosas lagunas cratéricas, presenta un gran potencial de agua superficial y subterránea.

La economía de Nicaragua está basada en su producción agropecuaria, esto significa, entre otras cosas, que una gran parte de su territorio ha sido incorporado a los diferentes sistemas de producción vegetal y animal, que componen nuestra agricultura. Como actividad económica, la agricultura se basa en la utilización extensiva e intensiva del recurso suelo,

y requiere además del recurso agua; ya sea en sistemas de secano (que depende del régimen de lluvias) o de riego.

Debido a sus tierras fértiles y abundancia de agua, la agricultura ha sido la principal actividad económica del país, paralelamente se ha desarrollado la ganadería, que ha traído como consecuencia la destrucción de los bosques en gran parte del territorio nacional.

Las actividades agropecuarias y el aumento de la población, como en muchas partes del mundo, ha provocado cierto grado de deterioro en los recursos hídricos, que se traduce en sobreexplotación y contaminación en algunos casos.

Se han realizado diversos estudios regionales desde 1960, en la última década paralelo al desarrollo que ha venido sufriendo el país, se ha enfocado los diversos estudios en la cuenca hidrográfica como unidad de investigación. Se han creado numerosas instituciones y se han decretado un sinnúmero de leyes encaminadas al aprovechamiento racional de los recursos hídricos, su conservación y protección.

### Marco físico, socioeconómico e institucional

Nicaragua se encuentra localizada en el centro del

istmo centroamericano; entre 10° y 15°45' latitud Norte y 79°30' y 88° longitud Oeste. Limita al Norte con Honduras, al Sur con Costa Rica, al Este con el Mar Caribe y al Oeste con el Océano Pacífico. Tiene una superficie de 130.373,47 km<sup>2</sup>, de los cuales 10.541,92 km<sup>2</sup> corresponden a lagos y lagunas; destacándose el Lago Cocibolca con 8.144 km<sup>2</sup> (el más grande de Centroamérica), y el Lago Xolotlán con 1.053 km<sup>2</sup>. La longitud de las costas es de 509 km en el Caribe y 325 km en el Pacífico (Fig. 1).

El país se divide en tres regiones: Pacífico, Central y Atlántica, con características socioambientales muy particulares.

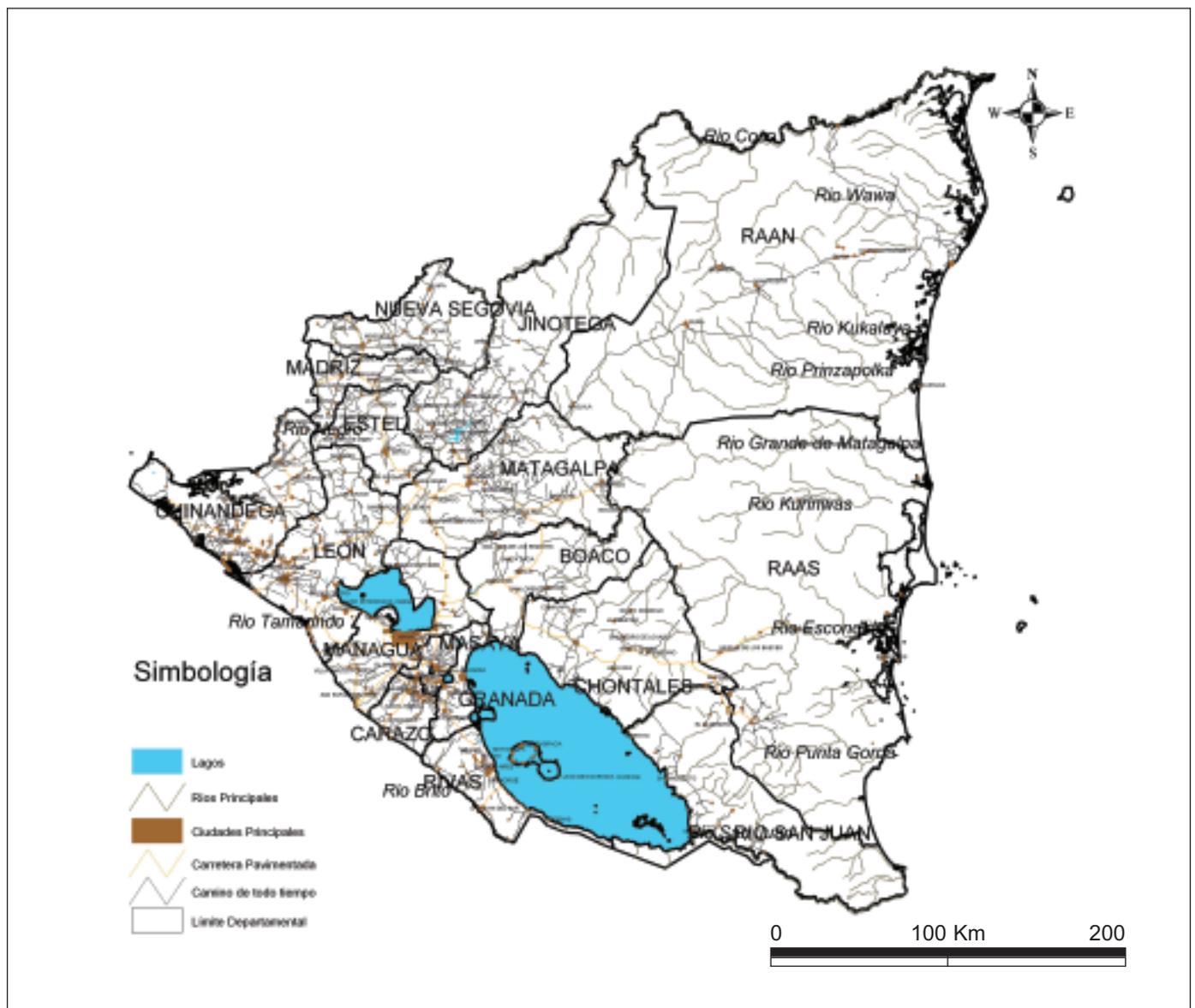


Fig. 1. División político administrativa de Nicaragua y principales particularidades geográficas  
Fig. 1. Nicaragua, administrative-political division and main geographycal particularities

En la Región del Pacífico se encuentran tres provincias: la planicie costera, la Cordillera volcánica y la Depresión nicaragüense; se caracteriza por ser la más habitada, poseer suelos fértiles, y un clima subtropical cálido. La región montañosa Central es atravesada por cuatro cordilleras principales: Dipilto y Jalapa, Amerrisque, Dariense e Isabelia. Es la región más antigua del país, y la más alta; el clima es un poco más templado, con una estación lluviosa de siete u ocho meses.

La región Atlántica se caracteriza por la gran planicie costera del Atlántico, que es una extensa llanura con elevaciones menores a 400 m.s.n.m.; es la región con menor densidad de población y un clima húmedo tropical con una estación lluviosa con una duración entre ocho y diez meses.

### **Marco físico**

#### *Climatología*

El clima de Nicaragua está condicionado por su posición geográfica en primer lugar; y por las zonas geomorfológicas dentro del territorio Nacional (Pacífico, Central y Atlántico). Se distinguen dos estaciones: lluviosa, de mayo a noviembre, con un receso llamado canícula en julio-agosto, y seca, de diciembre a abril. En el Atlántico llueve casi todo el año; con clima tropical de pluvioselva, al suroeste y monzónico de Selva en la llanura Caribeña con precipitaciones entre 2.000-3.000 mm, y temperatura media anual de 27 °C. La Región Norte Central presenta un clima subtropical de Montaña, con precipitaciones entre 1.000-2.000 mm anuales y temperaturas entre 10 °C a 27 °C.

#### *Geología e Hidrogeología*

Se pueden distinguir una serie de provincias Geoestructurales, a partir de las formaciones geológicas, litológicas y particularidades estructurales:

Las estructuras geológicas regionales comprenden dos sistemas de fallas con rumbos NO-SE y NE-SO, las que están desarrolladas en la región central norte y se relacionan con la delimitación de las provincias geoestructurales denominadas: Plataforma Mesozoica, Provincia del Núcleo Paleozoico, Cuenca de la Costa Atlántica, Provincia Ingnimbrítica, Zona de Transición Montañosa Central, Provincia Volcánica del Sur y Parte SE del Graben de Nicaragua (Fig. 2).

Las formaciones geológicas del área se subdividen

en: Rocas Metamórficas del Paleozoico-Mesozoico, Intrusivos del Paleozoico y Terciario, Sedimentarias del Paleozoico, Mesozoico, Terciario y Cuaternario, Volcánicas del Terciario y Cuaternario (Fig. 3).

- *Rocas Intrusivas.* Las Rocas Intrusivas están representadas por granitos, dacita, riódacita, así como diorita y granodiorita. El mayor afloramiento se localiza en el Norte de Nicaragua, lo que se conoce como el batolito de Dipilto.
- *Rocas Metamórficas del Paleozoico.* Localizadas al Norte de Nicaragua, formadas por esquistos, cuarcitas y mármol. Presentan un fallamiento NO-SE.
- *Rocas Sedimentarias.* Sedimentos del Paleozoico y Mesozoico, representadas por areniscas, lutitas, calizas, dolomitas y margas, de espesor variado, se calcula un espesor máximo de más de 3.500 m al sur de Nicaragua, donde se localiza el mayor afloramiento. Rocas más recientes, compuestas por areniscas, calizas y lutitas, afloran en el área de la Costa Atlántica de Nicaragua.
- Sedimentos del Cuaternario. Formadas por acumulaciones de arena, arcilla y limo, del arrastre de materiales sueltos provocados por las corrientes fluviales especialmente, se distinguen igualmente acumulaciones a partir de derrumbes de las montañas, por el arrastre del viento y capas desarrolladas in situ. Estas acumulaciones es posible encontrarlas en toda la amplitud del país. El espesor de estas capas varía desde los primeros metros hasta más de 150 m, en fosas tectónicas.
- *Rocas Volcánicas.* Dos tipos de rocas volcánicas afloran en Nicaragua, rocas volcánicas consolidadas a partir de flujos lávicos y rocas volcánicas no consolidadas a partir de flujos piroclásticos, de edad Terciario y Cuaternario.

Las formaciones de lava y piroclasto del Terciario, tienen composición principalmente basalto-andesítica, están agrupadas en las formaciones Coyol, Matagalpa y Tamarindo y cubren un amplia área de la Región Central de Nicaragua. Se estiman espesores de hasta 2.300 m.

Las formaciones de lava y piroclastos del cuaternario, están distribuidas principalmente en el graben de Nicaragua a lo largo de la Cordillera volcánica del Pacífico en el Lineamiento los Maribios. Estos volcanes están aún activos.

#### *Hidrología*

Nicaragua se divide en 21 cuencas hidrográficas de primer orden; las que a su vez se subdividen en las cuencas de la vertiente del Atlántico (13) y las cuen-

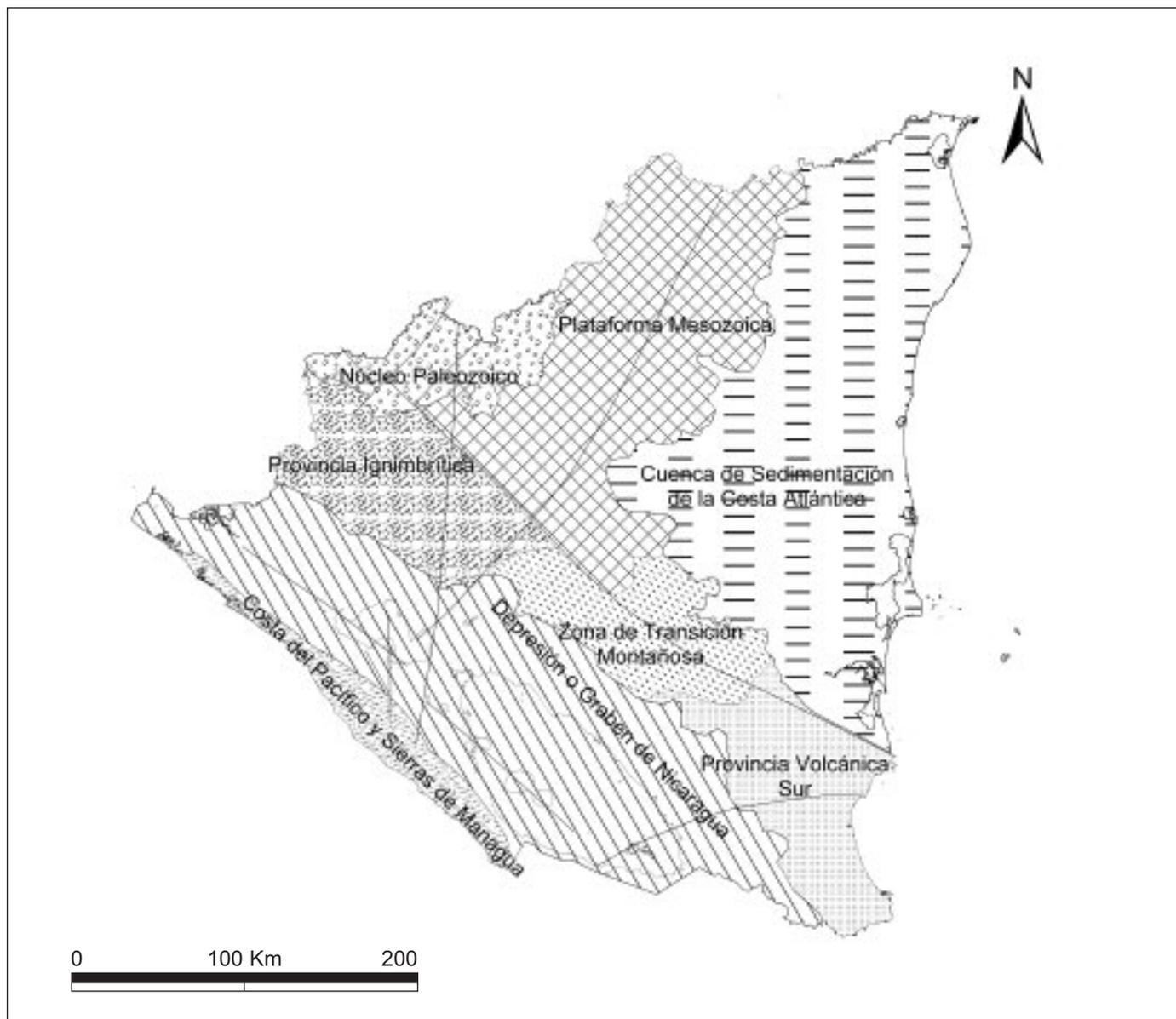


Fig. 2. Provincias Geoestructurales de Nicaragua, (INETER-COSUDE, 2004)

Fig. 2. Geostructural provinces in Nicaragua, (INETER-COSUDE, 2004)

cas de la vertiente del Pacífico (8). La red hidrográfica está determinada por el tipo de relieve de la zona y sus características climáticas. Los ríos de la vertiente del Atlántico en su parte media son sinuosos y caudalosos; en la parte baja al entrar en la zona sedimentaria del Atlántico se presentan con configuraciones más suaves, de carácter meándrico. Los de la vertiente del Pacífico presentan una configuración más suave, por el tipo de material que aquí se desallorra. Así mismo la alta permeabilidad, no permite la formación de corrientes permanentes, la mayoría son estacionales, distinguiéndose pocos ríos (Fig. 4).

### **Marco socioeconómico**

*Población: situación actual, evolución, distribución espacial*

Nicaragua cuenta con una población de 5.511.321 habitantes; con una densidad poblacional de 38 hab/km<sup>2</sup>. La tasa anual de crecimiento poblacional es del 3% (Tabla 1). La distribución poblacional en la región del Pacífico es del 55,86%; en la región Central es de 30,86%; y en la región Atlántica es del 13,26%. Managua alberga el 25,17% de la pobla-

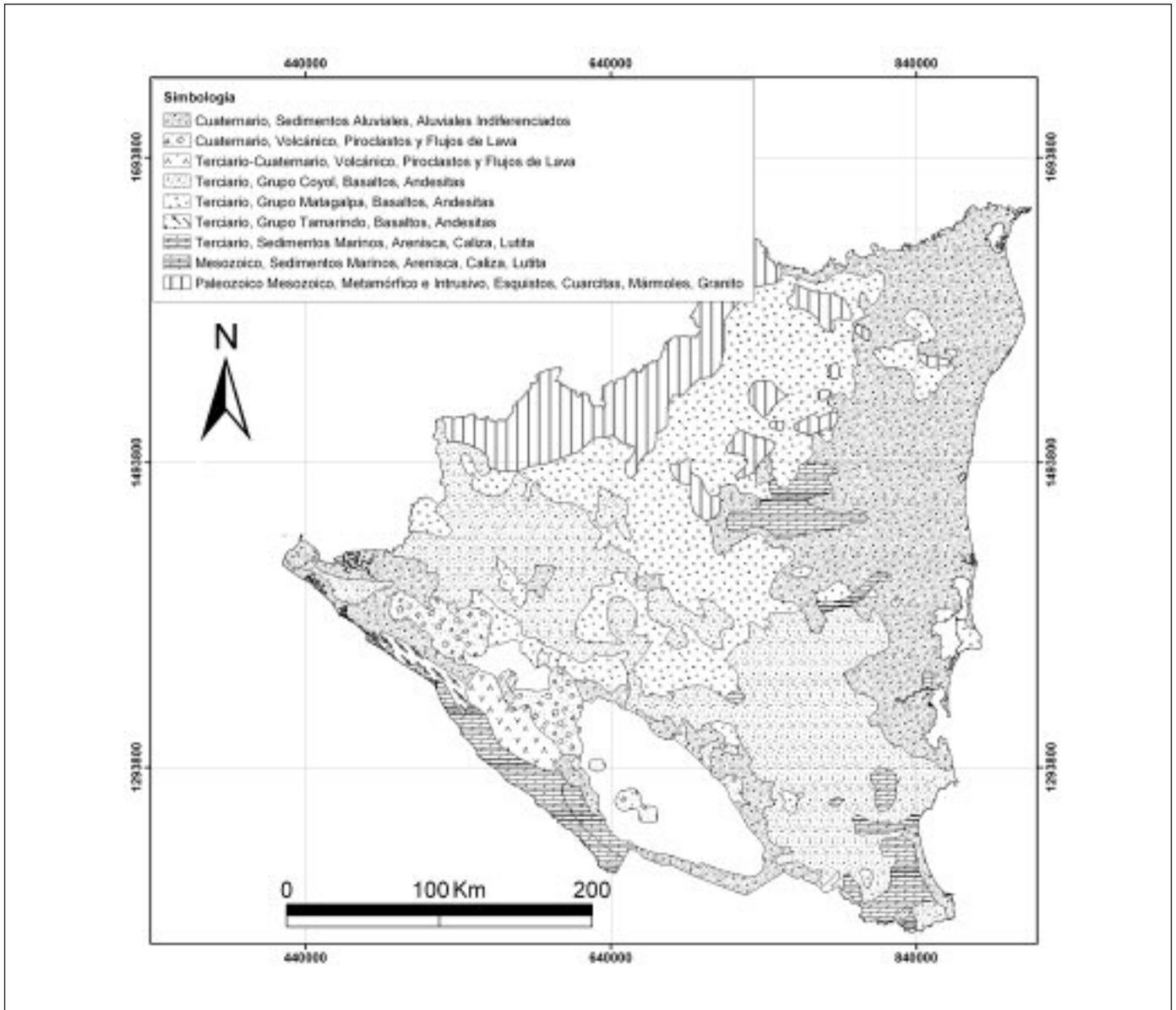


Fig. 3. Formaciones Geológicas (Litología) de Nicaragua  
Fig. 3. Geological (Lithology) Formations, Nicaragua

ción total (INEC, 2005). El promedio de personas por vivienda es de 7,7 en los hogares pobres; mientras que en los hogares no pobres es de 4,7 (INEC, 1995).

Este lento avance del índice de desarrollo humano en Nicaragua en el último cuarto de siglo, es el resultado de las crisis de la economía internacional, los efectos de la guerra civil; y de manera especial, los bruscos cambios de orientación política e institucional a los que el país ha estado sometido; los cuales han incidido negativamente en su desempeño económico (MARENA, 2003).

#### *Sectores económicos: agrario, industrial, servicios*

Nicaragua de acuerdo a su potencial, es un país con vocación y dependencia económica del desarrollo agropecuario, forestal y pesca, sectores que están estrechamente en dependencia con los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Sumado a esto se debe señalar la creciente demanda por la disponibilidad y calidad del agua para consumo humano con el crecimiento de la población; y demanda de otros sectores de la economía nacional para uso industrial y riego (MARENA, 2003).



Fig. 4. Cuencas Hidrográficas de Nicaragua  
 Fig. 4. Nicaraguan Basins

El PIB nacional 2000-2002, tuvo una tasa de crecimiento 2000/2001 del 10,7% y 2001/2002 del 5% de las actividades primarias, secundarias y terciarias del país; observándose en el sector primario (agricultura, pesca, pecuario y silvicultura) un aporte de 10,1% (2000) y 0,6% (2002) al PIB (Banco Central, 2003). La PEA está constituida por 1.9 millones de personas; de las cuales, un 64% son hombres y un 36% mujeres; con un crecimiento anual de la PEA del 4,1% (PNUD, 2002). Mientras la PEA aumentó un 4,2% en promedio anual entre 1990 y 2001, la ocupación general creció en 3,8%. Este déficit se genera como resul-

tado de un lento y “volátil” crecimiento de la actividad económica.

El Producto Nacional Bruto (PNB) per cápita es sólo un tercio del promedio regional. Con base en el índice de consumo, casi la mitad (45%) de la población de Nicaragua (2,3 millones de personas) es pobre; de las cuales, el 15% son extremadamente pobres. En términos relativos, la pobreza y la pobreza extrema siguen siendo abrumadoramente rurales.

En relación a los accesos en los servicios básicos (salud, educación y acceso a agua potable en calidad

DEPARTAMENTO Y MUNICIPIO	TOTAL					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
LA REPÚBLICA	4.956,964	5.058,644	5.162,275	5.267,715	5.374,820	5.483,447
URBANA	2.835,184	2.911,748	2.990,343	3.070,844	3.153,121	3.237,043
RURAL	2.121,780	2.146,896	2.171,932	2.196,871	2.221,699	2.246,404

Fuente:  
Estimaciones Municipales elaboradas en la Dirección de Estadísticas Sociodemográficas. Revisión de Julio del 2004, en base a las cifras de los censos de población de 1971 y 1995

Tabla 1. Estimaciones población 2000-2005  
Table 1. Population estimations 2000-2005

y cantidad) se refleja que los nicaragüenses no reciben en su totalidad y equidad estos servicios. En el sector salud, los indicadores son precarios. Una quinta parte de la población tiene dificultades para acceder al sistema básico de salud, por razones geográficas en las zonas rurales. El sistema educativo en todos sus niveles sufre de una insuficiencia elevada del 34%. Un 72% de la población en edad productiva no posee educación secundaria completa. El sistema educativo en todos sus niveles sufre de una insuficiencia elevada del 34%. Para el 2002, un 73% de la población nacional, gozaba de suministro de agua potable; de las cuales, el 90% pertenece al área urbana; en el sector rural, el 50% de los pobladores de este sector cuentan con este servicio.

### Marco Institucional

#### Normativa básica en materia de aguas

Dentro de la Política Nacional de los Recursos Hídricos se introduce el concepto de cuenca hídrica y se establece como unidad de planificación y gestión de los recursos hídricos del país. Ya se aprobó (2004) la Ley Aguas en sus partes generales, aquí se incorpora en los objetivos no solamente en concepto de cuencas hídricas, también se incluye las unidades de planificación y gestión a nivel de subcuencas y microcuencas, estableciendo para cada unidad de gestión los planes hidrológicos, evaluación de la calidad de las cuencas y criterios de selección para establecer las cuencas priorizadas a nivel nacional.

En la Ley Ambiental uno de los objetivos es: Garantizar el uso racional y manejo de la cuenca y sistemas hídricos asegurando de esta manera la sostenibilidad de los mismo.

El Gobierno de Nicaragua a través del MIFIC, por medio de la Dirección General de Recursos Naturales (MIFIC-DGRN), ha creado el Decreto N° 107-2001, que establece el propósito de orientar su Manejo Integral,

a fin de Preservar, Mejorar y Recuperar la calidad ambiental propicia para la vida.

Está en vigencia el decreto 3395 de Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias.

#### Instituciones y organizaciones

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), el Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC), la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal (MAGFOR) y el Ministerio de Salud (MINSA), son las principales Instituciones y Ministerios dedicados a la gestión de los recursos hídricos, bajo una estrategia de planificación de proyectos sectoriales de acuerdo a prioridades municipales de extrema pobreza.

Asimismo, las universidades como: la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), a través del Centro Para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA-UNAN), Universidad Nacional Agraria (UNA), Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y Universidad Centroamericana (UCA), entre otras, están impulsando el conocimiento de los recursos hídricos a través de la enseñanza académica en las carreras de ingeniería ambiental, geológica, agrícola, agronómica y licenciatura en ecología. Además, de desarrollar los programas de educación continua en el campo de agua con cursos de especialización, post grados, maestrías y doctorados.

Actualmente en Nicaragua existe la Red Nacional de Organismos de Cuencas (RENOC), la cual aglutina a la mayoría de las instituciones encargadas de los recursos hídricos, así como algunos organismos no gubernamentales, y que tiene como objetivo general promover e incidir en la protección, conservación y

restauración de las cuencas hidrográficas del país a través de la facilitación de procesos de gestión y aprovechamiento sostenible de las cuencas hídricas; promoviendo la interacción de los diferentes actores, la incidencia y el fortalecimiento de las diferentes instituciones involucradas en el manejo de las cuencas hidrográficas.

Existen a nivel local, los comités de cuencas hídricas en los diferentes territorios que se promueve la gestión integral de cuencas hídricas. Estos comités locales lo integran los diferentes actores sociales tales como: gobiernos locales, gobierno central, organizaciones civiles, universidades, productores, entre otros.

## Hidrogeología descriptiva

### Hidrogeología

El medio Hidrogeológico está determinado por las formaciones rocosas; se distinguen cuatro tipos de acuíferos: porosos productivos, porosos poco productivos, fracturados productivos y fracturados poco productivos. Los acuíferos porosos productivos, se desarrollan en formaciones piroclásticas del Pliopleistoceno (Las Sierras) y sedimentos del Cuaternario de espesor considerable (mayor de 30 m); los acuíferos porosos poco productivos se desarrollan en las acumulaciones aluviales de los cauces de los ríos y sus deltas, en acumulaciones de sedimentos de poco espesor, la productividad de los acuíferos fracturados depende de la amplitud, distribución de las fallas y relleno de las mismas.

### Principales unidades y estructuras hidrogeológicas

Los principales acuíferos del país, de mayor potencial de agua subterránea, para el abastecimiento potable y uso agrícola e industrial se encuentran en la región Pacífica. Esta área se caracteriza por ser de alta densidad poblacional. Los mayores acuíferos (porosos productivos) se localizan en la provincia volcánica del Pacífico; los principales son: el acuífero de León-Chinandega, con una extensión aproximada de 1.300 km<sup>2</sup>; litológicamente, está compuesto por depósitos aluviales recientes de grava, arena, con intercalaciones de arcilla y limo, con un espesor de 0 a 30 m, son representativos de la parte superior y de los cursos de los ríos. Una capa superior de piroclásticos recientes con intercalaciones de flujos lávicos basalto andesítico y espesor de hasta 120 m, se puede distinguir bajo los aluviales. La capa inferior del acuífero está representada por materiales de la formación las sierras, son depósitos piroclásticos en parte cementados, pueden distinguirse capas potentes de tobas con permeabilidad secundaria. El basamento está representado por la formación Tamarindo una secuencia de lavas de composición andesito-basáltico. Las permeabilidades oscilan desde 20 a 60 m/día.

El Acuífero de Managua, con una extensión aproximada de 600 km<sup>2</sup>, y un espesor aproximado de 600 m, se subdivide en tres subsistemas: el centro, oriental y occidental. Está desarrollado en varias unidades geológicas de flujos piroclásticos, con permeabilidad mayor a 10 m/día.

La Región Central se caracteriza por el desarrollo de acuíferos fracturados, principalmente, desarrollados en flujos de lava basalto andesítico, en rocas

ACUÍFEROS	Área (km <sup>2</sup> )	Pozos			Rangos NEA (m)	Espesor Acuífero (m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Caudal Específico (m <sup>3</sup> /h/m)	Coeficiente de Almacenamiento
		PP	PE	Total					
Chiltepe	302,00	4	4	8	36,25-43,53	120	250-2000	5-50	0,02-0,35
Malpaisillo	1072,00	11	29	40	37,47-85,34	0-350	250-1000	10-50	0,05-0,10
Meseta de los Pueblos	208,20	8	0	8	83,75-449,32	400	200-1000	10-25	0,02-0,10
Rivas-Nandaime	879,00	15	14	29	28,81-490,72	0-200	250-3000	5-50	0,05-0,20
Occidente	2172,10	30	44	74	6,76-315,60	0-400	500-4000	5-75	0,02-0,35
Punta Huete	341,06	7	8	15	13,39-72,83	100	250-1000	10-30	0,10-0,20
Río Negro	1270,66	14	24	38	0,00-67,92	0-130	25-100	5-40	0,05-0,20
Tipitapa-Malacatoya	837,00	12	11	23	33,76-103,13	0-250	500-1000	10-50	0,04-0,25
Valle de Sébaco	263,30	26	7	33	233,67-482,23	5-150	500-1000	10-40	0,10-0,15
Somotillo	121,54	7	4	11	11,20-80,50	5-80	50-250	5-30	0,05-0,10
Las Sierras	1049,28	69	7	76	26,15-433,08	100-450	100-2000	5-200	0,005-0,15

PP: Pozo perforado  
PE: Pozo excavado  
NEA: Nivel estático del agua

Tabla 2. Características Hidráulicas de los principales Acuíferos de la Región Pacífica de Nicaragua, 2004  
Table 2. Hydraulic Characteristics of Main Aquifers in the Pacific Region of Nicaragua, 2004

intrusivas básicas y ácidas, especialmente granitos y en rocas metamórficas representadas por esquistos y mármol. La transmisibilidad está en dependencia del carácter de las fracturas (de extensión, comprensión) y de la amplitud y longitud de las mismas.

Se distinguen numerosos valles intramontanos donde se desarrollan acuíferos aluviales en depósitos cuaternarios de arena y grava: Estelí, Sébaco, Jalapa, San Juan de Limay, El Sauce, Ocotal, El Jícaro, Achuapa, Condega, Palacagüina, Pantasma, Jinotega y Matagalpa. La extensión de los mismos generalmente oscila entre 57 (Jalapa) y 280 km<sup>2</sup> (Sébaco). Los niveles piezométricos que sufren pocas variaciones (Tabla 3).

El acuífero Valle de Sébaco, está desarrollado en tres capas aluviales, acumulados en un pequeño graben, es un acuífero heterogéneo, donde pueden distinguirse capas de grava y arena de hasta 70 m, igualmente pueden encontrarse capas de arcilla de hasta 50 m. Aquí se produce arroz y hortalizas para consumo nacional. Los valles de Jalapa y Estelí presentan menor extensión y profundidad por lo tanto son menos productivos.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2000), indica que la demanda de agua para fines de riego es del orden de 1.768 millones de m<sup>3</sup> en la región del Pacífico; mientras que el Plan de Acción de los Recursos Hídricos (PARH, 1998) reporta 977,8

millones de m<sup>3</sup>; lo anterior se explica debido a que la última cifra se corresponde al área regada actualmente estimada en 60.000 Ha; mientras que el estudio de INETER (2000) se asocia al área potencialmente regable en la región pacífica la que aproxima a los 141.368 Ha. El agua subterránea representa el 70% del agua extraída para dicho uso. De la relación entre potencial, demanda y disponibilidad actual de los recursos hídricos por sector de usuarios, es posible identificar la vulnerabilidad actual de los recursos hídricos por categoría de usuarios, desde la perspectiva del estrés por causa de la reducción de la disponibilidad real, a lo que debe sumársele el efecto de la reducción potencial de dicha disponibilidad debido al riesgo de contaminación, si tomamos en cuenta la relación entre la vulnerabilidad natural y la carga contaminante.

## Infraestructuras del conocimiento hidrogeológico

### Estado del conocimiento de los acuíferos

En Nicaragua el conocimiento de los acuíferos data de las décadas de 1960 y 1970. Para esta época se formó la alianza para el progreso, con la distribución de las actividades productivas por país. Nicaragua por su riqueza de agua y suelos fértiles fue destinada

Valles o planicies intramontanos	Total Pozos	Profundidad del agua (m)	Profundidad total de los Pozos (m)	Nivel Piezométrico (m s.n.m.)
Jalapa	55	1,89-17,28	3,78-91,44	545,35-706,35
Wiwilí	3	11,50-11,75	11,60-12,65	283,00-286,00
San Bartolo	15	3,55-19,20	4,15-51,22	300,75-381,14
Pantasma	25	0,60-21,61	3,04-56,55	261,45-567,16
Estelí	96	1,83-54,86	6,56-115,82	763,00-872,00
Pueblo Nuevo	23	3,05-17,38	3,90-33,53	545,00-662,00
Condega	65	2,40-41,31	3,71-54,86	478,00-664,00
Somoto	36	0,88-24,72	3,52-150	600,00-704,00
Ocotal	6	1,67-29,26	3,00-54,86	578,58-606,00
San Fernando	3	> 10	12,58-15,35	644,00
Susucayán	8	0,24-8,25	2,83-8,87	554,30-637,00
Jinotega	32	2,57-16,06	6,21-91,44	694,00-1084,00
La Concordia	7	3,13-26,39	4,35-74,74	694,30-727,12
Achuapa	17	2,57-14,03	4,81-45,72	250,00-377,00
Somotillo	51	2,51-16,55	3,07-49,20	3,19-103,00
San Juan de Limay	42	2,10-23,00	4,22-39,60	238,00-436,00
Río Escondido	146	1,00-60,00	3,58-179,25	26,00-539,00
Cuenca Lago de Nicaragua	318	0,10-29,71	1,14-199,60	30,00-393,00
Cuenca Río Grande de Matagalpa	15	3,00-14,00	-	170,00-512,00
Cuenca Laguna de Perlas	6	7,00-10,00	-	69,00-0
Cuenca Río Punta Gorda	12	4,00-16,00	-	117,00-270,00
Total	981	-	-	-

Tabla 3. Registros de información del movimiento de las aguas subterráneas de Valles y Planicies principales de la Región Central, 2005  
Table 3. Groundwater Levels Records from the main Valleys and Plains in the Central Region, 2005



Fig. 5. Principales acuíferos de Nicaragua  
Fig. 5. Main Nicaraguan aquifers

a las actividades agrícolas en las zonas pacífica y norte del país. El desarrollo de la cartografía hidrogeológica nace a raíz del auge agrícola en el país, desarrollado para conocer el potencial en la búsqueda de aprovechamiento de los recursos subterráneos de agua en todas las áreas de formaciones potencialmente acuíferas (León-Chinandega, Malacatoya-Tipitapa, Sébaco, Managua-Granada, Nandaimé-Rivas, Estelí, Jalapa, Malpaisillo-Sinecapa). Así, en 1975 la Dirección de Catastro en Inventario de Recursos Naturales elaboró el mapa hidrogeológico 1:250.000 de la región Pacífica contando con una base geológica 1:50.000.

En la década de 1980, se explotan los recursos de agua subterránea sin control. Para los años 1990, se produce una recesión en la agricultura, lo que ha provocado la recuperación de los acuíferos. Sin embargo en la última década se están desarrollando diversos proyectos agrícolas, especialmente con la entrada de nuevos cultivos, los llamados no tradicionales. Conforme a la preocupación por el medio ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos, se han venido desarrollando estudios para calcular el potencial de los acuíferos para diversos fines, especialmente el de riego y uso potable en las principales ciudades de la nación. Los estudios se han rea-

lizado a nivel regional, con un poco más a detalles los considerados de importancia económica nacional, ya mencionados anteriormente. Este incremento en las áreas de cultivo, sumado al incremento de la población ha provocado que de esta década (1990 a la actualidad), se produzca un deterioro sustancial de los recursos y la crisis del abastecimiento para las ciudades grandes como Managua, Matagalpa, o Chontales, entre otras. Otro factor que ha provocado esta crisis ha sido la deforestación que han sufrido las cuencas hidrográficas, al producirse la tala sin control que da paso a tierras agrícolas y ganaderas, así como para la venta de madera. Actualmente, las instituciones, ministerios, universidades, y organismos no gubernamentales que gestionan los recursos de agua, tienen el objetivo de salvaguardar los acuíferos aplicando políticas de sostenibilidad y aprovechamiento racional del agua en las cuencas hidrológicas e hidrogeológicas de la nación.

### ***Planes de cartografía hidrogeológica***

Desde 1985, en el marco de la elaboración del mapa hidrogeológico centroamericano y como política de ordenamiento y planificación territorial, INETER, organismo rector de la cartografía, actualiza y profundiza en el conocimiento con la realización de mapas hidrogeológicos, hidrogeoquímico y de riego a escala 1:250.000 de la zona Pacífica y para la región central de Nicaragua durante los años 2000-2004. Ya se cuenta con los mapas hidrogeológicos e hidroquímicos de la Región Pacífico y Central de Nicaragua, los que han sido publicados en escala 1:250.000. Actualmente, se carece de cartografía hidrogeológica en la costa atlántica, la cual se espera realizar en los años próximos.

### ***Organizaciones científicas y profesionales en recursos hídricos***

Desde los años 70 del siglo pasado, se vincula la organización de la gestión de los recursos subterráneos de agua a través de diversas asociaciones: la de Ingenieros y Arquitectos, de Agrónomos y Afines, de Ecólogos y de Biólogos, y en las últimas décadas la Asociación de Geólogos y Profesionales afines. El desarrollo del quehacer de estas asociaciones ha servido para enfrentar, mitigar, aportar y divulgar la poca gestión del aprovechamiento del agua en la agricultura, industria, abastecimiento humano y conservación y restauración de cuencas hidrográficas.

### ***Actividades de investigación y desarrollo en recursos hídricos***

Las investigaciones de los recursos hídricos, se inician con la formulación del Plan Maestro Hidráulico de Nicaragua de la década de 1970 (formulado por Catastro), enfocado a la valoración del agua para el cálculo del potencial recursos hidroeléctricos, de agricultura y abastecimiento. Producto de las estrategias de investigación de este Plan, se formularon y ejecutaron carteras de proyectos en estos campos; sin embargo, para entonces no se aplicaba la conservación y protección de los recursos hídricos, solamente la explotación sin control. Consecuencia de ello es la contaminación en las aguas subterráneas y superficiales por productos agroquímicos, desechos industriales, derivados del petróleo y domésticos. En paralelo, o como continuación de las políticas de gestión de los recursos subterráneos antecedentes, se gesta y ejecuta el Plan Maestro de Riego de la región Pacífica de Nicaragua, gestado por el entonces Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a final de la década de los 70 e inicio de la década de 1980.

El Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas en Nicaragua, inicia la historia de las investigaciones de aguas subterráneas en los departamentos de León-Chinandega y Managua-Granada, en los años de la década de 1970, cuyos resultados indican que estas áreas desarrollan acuíferos altamente potentes. Igualmente para esta época, en León y Chinandega se realizan investigaciones isotópicas, resultados que explican la renovación y condiciones hidráulicas de las aguas subterráneas favorables para la explotación.

INETER en colaboración con OIEA, desde 1985 hasta el presente, ha desarrollado estudios isotópicos en los principales acuíferos del país (León-Chinandega, Sébaco, Managua-Granada), encaminados a determinar la ocurrencia del agua subterránea, aquí se ha determinado la zona de recarga de los acuíferos, la interacción de las aguas superficiales y subterráneas e indirectamente la edad de las aguas. Estos resultados han contribuido a conocer mejor, confirmar y despejar incertidumbre sobre la cuantificación, renovación y composición hidrogeoquímica e isotópica de las aguas subterráneas.

En la década de los 90, surge otra idea de planificación territorial con el Plan de Acción para los Recursos Hídricos (PARH, 1988), donde elaboraron un diagnóstico de la gestión actual de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos. Esto ha contribuido a la identificación, formulación y evaluación de proyectos de agua para satisfacer las demandas de agua para abastecimiento, generación de energía hidroeléctrica y uso agrícola.

Actualmente, INETER desarrolla investigaciones hidrogeológicas en los principales acuíferos y lleva a cabo monitoreo de los niveles y parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas sistemáticamente a través de una red de pozos. Otras instituciones como CIRA/UNAN, Centro Humboldt, CIGEO-UNAN, UNICEF, entre otras, desarrollan investigaciones hidrogeológicas y de contaminación en los principales acuíferos del país.

Las Universidades están desarrollando esfuerzos, encaminados a la capacitación en el campo de gestión del manejo y sustentabilidad de los recursos hídricos, lo que ha brindado muchos aportes, ya que se han realizado numerosos estudios por todo el país, al mismo tiempo que se fortalecen las capacidades locales a través de los especialistas de la región, que regresan a los departamentos de origen una vez terminado sus estudios. De igual manera las Universidades están trabajando en conjunto con las municipalidades para fortalecer las Unidades Ambientales Municipales, en la gestión de cuencas hidrográficas.

### ***Publicaciones periódicas sobre recursos hídricos***

La información sobre las aguas subterráneas y los recursos hídricos de Nicaragua no es publicada masivamente; la mayoría son divulgaciones dirigidas a un sector o restringidas al usuario. Se han publicado informes técnicos en INETER, MAGFOR, MINSA, MARENA, ENACAL, Universidades, etc. los que son posible encontrar en las bibliotecas de dichos ministerios e instituciones. Se conocen resúmenes publicados en memorias de seminarios, talleres, congresos nacionales e internacionales, y artículos científicos en algunas revistas y series de libros como: IAEA, IAHS, Groundwater Journal, Hydrology Journal, Hydrogeology Journal, ALHSUD.

### **Consideraciones cuantitativas del recurso**

#### ***Recursos superficiales y subterráneos***

Nicaragua tiene dos vertientes, una en el Atlántico con 117.420 km<sup>2</sup> que equivale al 91% del territorio nacional y otra en el Pacífico con 12.183 km<sup>2</sup>, equivalente al 9% del territorio nacional (INETER; Tabla 4). La disponibilidad de recursos hídricos superficiales es mayor en la vertiente Atlántica donde la precipitación es mayor, con cuencas de superficies mayores a 15.000 km<sup>2</sup> y ríos caudalosos, mientras que en el Pacífico las cuencas son menores a 4.000 km<sup>2</sup> y los ríos no superan los 20 km de longitud. Además, la

vertiente atlántica posee los dos lagos más grandes del istmo centroamericano, el Xolotlán o Lago de Managua con un área de 1.040 km<sup>2</sup> y el Cocibolca o Lago de Nicaragua con 8.200 km<sup>2</sup>. También existen numerosas lagunas de origen volcánico (Xiloá, Asososca, Masaya, Apoyo, Nejapa, entre otras) y dos lagos artificiales, Apanás (51 km<sup>2</sup>) y Las Canoas (8 km<sup>2</sup>). El Río San Juan en el sur delimita la frontera con Costa Rica; en el norte, el Río Coco marca la frontera con Honduras.

Los recursos subterráneos, son más abundantes en el Pacífico, ya que como se ha mencionado las características litológicas de los suelos volcánicos permeables favorecen la infiltración y la formación de acuíferos de mayor potencial que en el Atlántico. Los acuíferos de esta provincia se consideran los más importantes del país dado su gran potencial; en su mayoría son acuíferos freáticos y dependen del régimen de precipitación. El potencial de la provincia del Pacífico se estima en casi 3.000 millones de m<sup>3</sup>/año (MARENA, 2003). La provincia de la región central está caracterizada por dos sistemas hidrogeológicos diferenciados por la litología y la recarga. El sistema principal lo conforman acuíferos de valles intramontanos con un potencial de 172 millones de m<sup>3</sup>/año.

En el Acuífero León-Chinandega, el cual ha sido ampliamente estudiado, se implementó un modelo matemático dando como resultado un volumen de entrada de 1.514,20 millones de m<sup>3</sup>/año; de los que se valora pueden ser utilizados el 50% del mismo, o sea 757,10 millones de m<sup>3</sup>/año, para el manejo sostenible del acuífero (MARENA-PNUD, 2004).

El acuífero de Managua abastece a la Ciudad Capital Managua, la que está asentada en la zona de descarga, a lo largo de la ribera sur del Lago Xolotlán; se calculó un potencial de 447.016,95 m<sup>3</sup>/día (Cruz, 1997); lo que le confiere un carácter altamente productivo al acuífero.

Bajo las condiciones hidrodinámicas y de recarga, la provincia hidrogeológica de la región central presentan un potencial variable; de acuerdo con Choza (1990), los Valles de: Sébaco, Jalapa, Estelí, San Juan de Limay, El Sauce, y Ocotal tienen 74, 39, 5, 5, 10 y 5 millones de m<sup>3</sup>/año, respectivamente; lo que suma 138 millones de m<sup>3</sup>/año. El resto de acuíferos tienen un potencial aproximado de 26,3 millones de m<sup>3</sup>/año. Como resultado, el potencial para la subprovincia hidrogeológica de valles intramontanos de la Región Central, se estima en 172,3 millones de m<sup>3</sup>/año. Una estimación a través de modelo matemático dio como resultado un potencial de 37 millones de m<sup>3</sup>/año, para el valle de Sébaco (Flores, 2002). Con un rebajamiento regional del nivel del agua de aproximadamente 15 m a lo largo de 30 años de explotación.

Vertiente del Atlántico				Vertiente del Pacífico			
Cuenca N°	Nombre de la cuenca Río principal	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Cuenca N°	Nombre de la cuenca Río principal	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)
45	Río Coco	19.969,00	1.937,0	58	Río Negro	1.428,00	1.859,0
47	Río Ulang	3.777,40	2.405,0	60	Río Estero Real	3.690,60	1.682,0
49	Río Wawa	5.371,98	2.820,0	62	Entre R. Estero Real y V. Cosigüina	429,00	1.881,0
51	Río Kukalaya	3.910,25	2.800,0	64	Entre V. Cosigüina y Río Tamarindo	2.950,66	1.670,0
53	Río Prinzapolka	11.292,40	2.586,0	66	Río Tamarindo	317,62	1.175,0
55	Río Grande de Matagalpa	18.445,00	2.095,0	68	Entre Río Tamarindo y Río Brito	2.768,69	1.357,0
57	Río Kurinwas	4.456,76	2.725,0	70	Río Brito	274,00	1.316,0
59	Entre Río Kurinwas y Río Escondido	2.034,20	3.564,0	72	Entre Río Brito y Río Sapoá	325,00	1.625,0
61	Río Escondido	11.650,00	2.722,0		<b>Total</b>	<b>12.183,57</b>	
63	Entre Río Escondido y Río Punta Gorda	1.592,96	3.710,0				
65	Río Punta Gorda	2.867,42	3.552,0				
67	Entre Río Punta Gorda y Río San Juan	2.228,86	4.510,0				
69	Río San Juan	29.824,00	1.694,0				
	<b>Total</b>	<b>117.420,23</b>					

Nota: El número con que se identifica cada cuenca, corresponde a la nomenclatura establecida en el Proyecto HIDROMETEREOLÓGICO CENTROAMERICANO (P.H.C.A.). Para los países de Centroamérica; con la convención de que las cuencas con números impares pertenecen a la vertiente del Atlántico y las cuencas con números pares pertenecen al océano Pacífico.  
<sup>1</sup> Tomado de la página web de INETER.

Tabla 4. Principales cuencas de Nicaragua  
 Table 4. Main Nicaraguan river basins

### Recursos disponibles

La dotación de abastecimiento por persona y día es de 38,6 m<sup>3</sup> per cápita, y su extracción para usos domésticos, industriales y agrícolas es del 0,7% (GWP-Centroamérica, 2002). La disponibilidad de recursos hídricos subterráneos de los principales acuíferos en las provincias hidrogeológicas del Pacífico y Central se resume en la Tabla 5.

### Redes de control de aguas subterráneas y aguas superficiales

En el año 2003, INETER reinició un proyecto de monitoreo de los niveles freáticos y calidad de agua de los acuíferos del país, interrumpido en el año 1979 (la red que había estado siendo medida desde los años 1960). La red abarca 12 acuíferos de la Región del Pacífico: León-Chinandega, Estero Real-Villanueva, Malpaisillo, Las Sierras, Nandaime-Rivas, Tipitapa-Malacatoya, Punta Huete, Chiltepe-

Mateare, Sébaco, Meseta de Carazo, Somotillo y Estelí (Fig. 6).

### La calidad de las aguas subterráneas

#### Calidad natural del agua subterránea

De manera general, la calidad natural de las aguas subterráneas en el país se considera buena para el consumo humano, de acuerdo a las normas de calidad usadas en Nicaragua (EPA, CAPRE). Se determinan tres tipos hidrogeoquímicos predominantes; las aguas subterráneas tienden a acidificarse (pH) en la parte central y atlántica del país; mientras que la conductividad eléctrica se incrementa en la parte central (Tabla 6).

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). La calidad del agua presenta mayores amena-

Cuencas Subterráneas Región del Pacífico	Potencial estimado (millones de m <sup>3</sup> /año)	Cuencas Subterráneas Región Central	Potencial estimado (millones de m <sup>3</sup> /año)
1. León - Chinandega	462,0	1. Valle de Jalapa	10,0
2. Nagarote - La Paz Centro	114,0	2. Valle de Ocotal	5,0
3. Tonalá - Río Negro - Estero Real	54,0	3. Valle de El Júcaro	5,0
4. Los Brasiles - Chiltepe	4,5	4. Valle de San Juan de Limay	5,0
5. Tipitapa - Malacatoya	118,0	5. Valle de Estelí	5,0
6. Managua - Granada	75,0	6. Valle de El Sauce	10,0
7. Nandaime - Rivas	120,0	7. Valle de Sébaco	23,0
8. Meseta de Carazo	75,0		
9. Valles Costa Pacífico Sur	40,0		
10. Sinecapa - Río Viejo	114,0		
11. Punta Huete	40,0		
12. Costa Este Lago de Nicaragua	150,0		

<sup>1</sup> Tomado de la página web de INETER

Tabla 5. Disponibilidad de los Recursos Hídricos Subterráneos  
Table 5. Groundwater Resources Availability

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

\* INETER, 1989.  
\*\* INETER, 2004.  
\*\*\* UNICEF *et al.*, 2005.

Tabla 6. Tipo hidrogeoquímico, valores de pH y Conductividad eléctrica  
Table 6. Water type, pH and Electric Conductivity values

zas en la región del Pacífico, por la alta concentración de la población y la industria, y la fuerte actividad agropecuaria en esa zona (OPS *et al.*, 2004).

### Contaminación puntual y contaminación difusa

La contaminación puntual está presente en el país producto de las actividades en zonas mineras, gasolineras e industrias (la mayoría de ellas, no cuentan con sistemas de tratamiento para sus efluentes). En cuanto a la contaminación difusa, ésta se debe predominantemente a la intensa actividad agrícola y a la aplicación descontrolada de plaguicidas y fertilizantes. Los basureros de las ciudades, que son depositados a cielo abierto, representan también una fuente puntual de contaminación.

### Contaminación de origen urbano, agrario e industrial

El principal deterioro en la calidad de las aguas sub-

terráneas y superficiales del país, es generada por la actividad agrícola (principal fuente económica del país); seguida por la contaminación de origen urbano, rural e industrial.

Uno de los principales casos de contaminación de aguas superficiales, es el del Lago Xolotlán; que recibe todas las descargas (aguas residuales domésticas, agropecuarias, industriales y las provenientes del sistema de drenaje pluvial de la capital). El Lago Cocibolca, principal reserva de agua dulce del país, está sometido a un lento proceso de contaminación, producto de las actividades económicas desarrolladas en el país que se realizan en su cuenca. Algunos ríos de la zona norte, están expuestos a las descargas de aguas mieles y pulpa de café (MARENA, 2003).

Los acuíferos del país presentan problemas de contaminación por fertilizantes y pesticidas, (zona pacífica y central del país); principalmente plaguicidas organoclorados (utilizados en el monocultivo del algodón) y organofosforados; seguidos por triazinas y carbamatos (Alvarez, 1994; Briemberg, 1995;

INETER/OIEA, 1997; CIRA/MEL/DIPS, 1996-1998; PROYECTO ARCAL XXXI, CIRA/IAEA, 1999; CIRA/UNAN-Managua, 1999; Centro Humboldt, 2002; Dahlberg and Odebjer, 2002; Delgado, 2003; González, 2003; Corrales, 2005). 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, presentó indicios de contaminación por hidrocarburos, plaguicidas y bacterias.

Se han encontrado concentraciones importantes de plaguicidas organoclorados en el cuerpo humano (leche materna, sangre, tejido adiposo; Lacayo, 1997; Cruz, 1995; Cuadra *et al.*, 1997) y en tejidos de la fauna acuática en zonas de descarga de los ríos y en las lagunas costeras (CIRA/MEL/DIPS, 1997).

La agro-industria azucarera (desarrollada en la región del Pacífico), genera una contaminación asociada a la gran cantidad de carga orgánica incorporada a las fuentes de agua natural cuando no se depu-

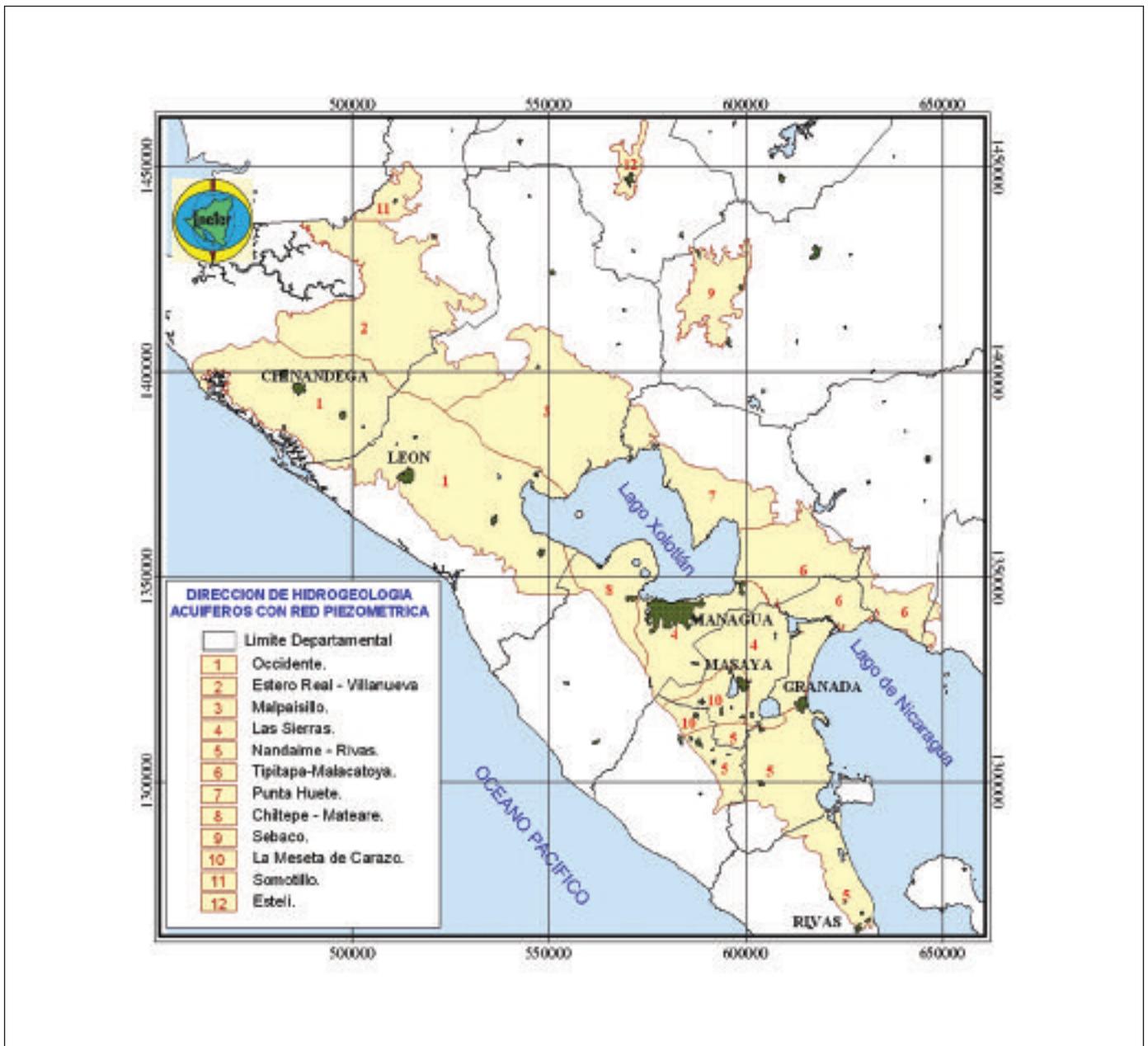


Fig. 6. Red piezométrica de acuíferos en el país  
 Fig. 6. Monitoring network in the country

ran las aguas residuales; adicionalmente, el manejo inadecuado de agroquímicos en las plantaciones de caña, representa otro riesgo potencial de contaminación (PARH, 1988).

En el ámbito urbano, se destacan como fuentes principales de contaminación: la falta de sistema sanitario y de alcantarillado o su mal funcionamiento por roturas de tuberías, alrededor de 60 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales urbanas se descargan sin tratamiento en la zona del Pacífico (MARENA, 2003); letrinas; rastros municipales; basureros municipales sin tratamiento y basureros clandestinos; cementerios y desechos hospitalarios. De origen industrial, se contemplan a las aguas grises sin tratamiento y las aguas residuales. En el terreno agropecuario, las zonas cultivadas y potreros.

La contaminación por metales pesados tiene tres fuentes: industrial, minero y natural. La fuente del mercurio ha sido por la actividad industrial y la actividad minera (procesamiento de oro), así como producto de actividad hidrotermal en la zona volcánica. El origen natural justifica la presencia del arsénico, con concentraciones superiores a 10 µg/L, en áreas dispersas del país.

#### ***El conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas. Redes de control de calidad***

A nivel nacional se cuenta con la red de monitoreo de la calidad de agua de ENACAL; que realiza análisis de iones mayoritarios y minoritarios y de los principales indicadores bacteriológicos del agua en los pozos perforados de la red de suministro de agua potable de esta institución. Este monitoreo se realiza en una base semestral, y en algunos casos, anual. Los análisis de metales pesados y de plaguicidas, no se consideran rutinarios dentro de esta red; a no ser que las fuentes de suministro se encuentren localizadas en zonas mineras y con elevada productividad agrícola del país.

ENACAL en conjunto con el MINSA, realizan el Sistema de Vigilancia Sanitaria de la Calidad del Agua para Consumo Humano; enfocándose en el control sanitario (determinación de coliformes fecales y totales) y determinación de cloro residual diario en los puntos críticos de la red de distribución. Dentro de este sistema, ENACAL desinfecta –a través de cloración– el 99,1% de los sistemas de suministro de agua potable en el país.

Otras instituciones universitarias de investigación (CIRA/UNAN y UCA), de gobierno (INETER), así como Organizaciones No Gubernamentales (Centro Humboldt, Save the Children, USAID, CARE) realizan

investigaciones y diagnósticos de calidad del agua (enfocándose para consumo humano y para irrigación) subterránea y superficial en zonas focales del país, en base a proyectos que estas instituciones y organismos realizan en el país.

#### **Usos del agua**

El mayor potencial de agua superficial presente en el país, se encuentra en los lagos Xolotlán y Cocibolca, y en la red hidrológica que tiene una capacidad potencial estimada en 152.595,9 millones de m<sup>3</sup>/año (MARENA, 2003).

Las principales cuencas subterráneas del país, están localizadas en la región del Pacífico, en la cuenca de los lagos y en algunos valles intermontanos de la Región Central (Choza, 1990); siendo utilizado este recurso para satisfacer demandas de consumo doméstico, industrial, e irrigación (CEPIS/ OPS, 2000). Los sistemas acuíferos de la región Atlántica, tienen un limitado nivel de aprovechamiento y de conocimiento hidrogeológico (OPS *et al.*, 2004); se utilizan principalmente como fuente de abastecimiento de agua potable; sin embargo, la disponibilidad de los mismos no es abundante (CEPIS/OPS, 2000).

#### ***Demandas y usos sectoriales***

Nicaragua de acuerdo a su potencial, es un país con vocación y dependencia económica del desarrollo agropecuario, forestal y pesca, sectores que están estrechamente en dependencia con los recursos hídricos superficiales y subterráneos. La relación entre potencial, demanda y disponibilidad actual de los recursos hídricos por sector de usuarios se presenta en la Tabla 7 (MARENA, 2003).

#### ***Uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas***

El mayor volumen de aguas superficiales se encuentra en la zona Atlántica; mientras que el mayor volumen de aguas subterráneas en la del Pacífico (Tabla 7), en donde se concentra el mayor porcentaje de la población.

La cantidad de sistemas de abastecimiento de agua atendidos por INAA (ente responsable del abastecimiento de agua potable y del alcantarillado sanitario) en el sector urbano-rural concentrado, según el tipo de fuente es: 106 sistemas subterráneos, 19 sistemas superficiales y 8 sistemas mixtos (Losilla *et al.*, 2001).

Regiones	Potencial (millones m <sup>3</sup> )		Demandas por Sector Usuario (millones m <sup>3</sup> )						Demanda Total (millones m <sup>3</sup> )	Disponib. (millones m <sup>3</sup> )
	Agua Sup.	Agua Subt.	Riego	Ganadería	Doméstico	Industria	Energía	Ecología		
Pacífico	5.381,0	2.959,0	977,8	29,3	218,0	12,0	0,0	288,0	1525,0	6.815,0
Central	18.798,0	172,3	522,0	45,0	72,0	0,0	481,0	535,0	1655,0	17.315,3
Atlántico	128.417,0	30,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	17.681,0	17.716,0	110.701,0

Tabla 7. Potencial y demanda de los recursos hídricos por sector usuario (MARENA, 2003)

Table 7. Water resources potential and demand by usuary (MARENA, 2003)

El 72% (107) de los 148 acueductos urbanos que hasta diciembre de 1998 formaban parte del patrimonio de ENACAL, utilizan como fuente de abastecimiento el agua subterránea; el 10% (15) lo hacen con aguas superficiales y el restante 13% (26) se abastecen de aguas subsuperficiales o de una combinación de distintas fuentes (INAA, 1998). En el sector rural, ENACAL tiene registrado y da seguimiento a la operación de 3,185 sistemas de abastecimiento de agua potable, los que se clasifican en captación de manantiales, miniacueductos por bombeo eléctrico, miniacueducto por gravedad, pozos excavados a mano y pozos perforados (los pozos representan un poco más del 70% de las obras de captación; CEPIS/OPS, 2000).

### Problemática actual y futura

#### **La sobreexplotación. Repercusiones sobre la cantidad y calidad del recurso**

Los recursos hídricos son más explotados en las regiones del Pacífico, como: Río Viejo, León, Chinandega y Managua. Los estudios disponibles revelan que la utilización del acuífero de Managua puede estar alcanzado el límite sostenible; dichos estudios también presentan indicios sobre posible explotación excesiva del acuífero de León-Chinandega (PARH, 1988). En las regiones montañosas de la Región Central el aprovechamiento del agua subterránea es limitado. Sin embargo, hasta ahora las investigaciones realizadas son escasas en estas zonas y las existentes se han enfocado a lograr el mayor aprovechamiento de las aguas superficiales.

La abundancia de recursos superficiales en la región Atlántica ha relegado el desarrollo de los recursos subterráneos. Sin embargo, el abastecimiento de servicios de agua potable está limitado por factores técnicos y financieros.

#### **Calidad de las aguas subterráneas**

En general los recursos hídricos se encuentran some-

tidos a un proceso de degradación progresivo que arriesga la disponibilidad futura. La degradación es consecuencia principalmente de las actividades económicas que actualmente se realizan sin ningún tipo de control ni regulaciones. Se deben adoptar a corto plazo las disposiciones y medidas necesarias para garantizar la preservación de, al menos, las más importantes fuentes de agua, sobre todo las ubicadas en la Región del Pacífico en donde los riesgos que se enfrentan son mayores debido a la alta concentración de población, de industrias y a la intensidad de la actividad agropecuaria. Existe un incontrolado uso del agua, la mayor parte del agua que utilizan las industrias la extraen de pozos privados por parte de las industrias en todo el país, el consumo registrado por INNA no refleja el total de explotación, por lo tanto, no son indicativos de la cantidad de aguas residuales que generan y descargan.

#### **Impacto del cambio climático sobre las demandas futuras y la disponibilidad del recurso**

En Nicaragua los períodos de sequía están altamente relacionados con la aparición del fenómeno climático "El Niño"; no obstante, no todos los períodos de sequías son producto de dicho fenómeno, sino de las alteraciones propias que se manifiestan en la circulación atmosférica.

Aunque en Nicaragua los acumulados de precipitación anual oscilan entre 750 mm en las partes más secas, hasta 4.500 mm en los sectores con mayor precipitación acumulada, la sequía se manifiesta con diferentes grados de severidad, afectando particularmente a las regiones del Pacífico en donde los acumulados de lluvia anual oscilan entre 1.100 mm y 1.900 mm; la Región Norte con acumulados anuales entre 750 y 1.800 mm; y la Región Central con acumulados anuales entre 800 mm y 2.000 mm, aunque no de forma generalizada.

Se considera que un cambio en la distribución de las lluvias o del período seco, será más significativo que la disminución media anual. Las evidencias actuales de huracanes y sequías muestran que estos

cambios se deben más a la distribución del régimen hidrológico que a la cantidad neta de precipitación anual. En otras palabras el efecto es significativo cuando se da en un aumento o disminución en el período seco, dado que ello afecta los procesos biológicos de las plantas y animales. Los períodos extremos de sequía harán que los acuíferos y los ríos se sequen, disminuyendo la capacidad de retención y almacenamiento de agua de los humedales. En los últimos cinco años, por ejemplo, se han presentado tres fenómenos climáticos, considerados anormales: el fenómeno de El Niño en los años 1997-98, el Huracán Mitch en 1998 y la sequía en el año 2001.

La vulnerabilidad actual de los recursos hídricos, en base a la estimación del índice de escasez como indicador de la presión de la demanda sobre la oferta hídrica, presenta valores altos, medios y bajos, los cuales se corresponden con una vulnerabilidad mayor en la región del Pacífico, menor en la región Central y baja en la región del Atlántico, la que posee excedentes del recurso agua.

Importantes centros poblacionales de las regiones del Pacífico y Central presentan altos índices de escasez, consecuentemente tienen un nivel de vulnerabilidad alta. En la región del Pacífico, se puede asociar a las ciudades de Managua, Masaya, Granada, Rivas, Chinandega y León, así como los municipios de Posoltega, Chichigalpa y Quezalguaque. También se incluyen áreas dedicadas al desarrollo del riego, como las de occidente y la planicie de Tipitapa-Malacatoya.

En la región Central, la mayor vulnerabilidad corresponde a las ciudades de Boaco, Matagalpa, Jinotega, Estelí, Somoto y Ocotal; lo mismo que en zonas con un uso intensivo de agua para riego, con frecuente aplicación de agroquímicos y sobre todo donde existe conflicto entre los usuarios, como el Valle de Sébaco.

La región del Atlántico presenta una vulnerabilidad baja, por cuanto existe un volumen considerable de agua disponible y una demanda muy baja de uso consuntivo; sin embargo el impacto en la calidad del agua se asocia a ciudades como Puerto Cabezas,

Bluefields, Laguna de Perlas, El Rama, así como ríos tributarios influenciados por la contaminación del sector minero.

Con el tiempo el efecto de la disponibilidad de los recursos hídricos y el incremento de la demanda, probablemente incrementará el índice de escasez de las regiones más vulnerables bajo los diferentes escenarios y en condiciones de un clima cambiado (MARENA-PNUD, 2001).

## Conclusiones

- La situación geográfica de Nicaragua, ubicada entre dos océanos, en un istmo relativamente angosto; así como las condiciones geológicas, con rocas de alta permeabilidad, permite el desarrollo de acuíferos altamente productivos.
- El territorio se ha dividido en 21 cuencas hidrográficas, las que drenan hacia el Océano Atlántico (13) y el Océano Pacífico (8). Los ríos de la Vertiente del Atlántico presentan mayores caudales por estar ubicados en regiones con zonas amplias de selva.
- El medio hidrogeológico está determinado por las formaciones rocosas; se distinguen cuatro tipos de acuíferos: porosos productivos en rocas volcánicas friables y sedimentos del cuaternario de considerable espesor; porosos poco productivos, en sedimentos cuaternarios de poco espesor; fracturados productivos y fracturados poco productivos, en las rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas fracturadas o meteorizadas.
- Las condiciones climáticas con precipitaciones desde 800 hasta 4.000 mm anuales, permiten una recarga dinámica a los acuíferos porosos; y en menor medida a los acuíferos fracturados.
- Los mejores acuíferos se desarrollan en la zona del Pacífico en depósitos piroclásticos y en valles tectónicos con relleno aluvial de la región central. Los acuíferos de: León-Chinandega, Managua, Valle de Sébaco y Estelí se encuentran entre los mejores estudiados; donde incluso se han realizado inves-

Región	Potencial (P) millones de m <sup>3</sup> /año	Demanda (D) millones de m <sup>3</sup> /año	Afectación al Potencial (AP) en %	Oferta Neta (ON) igual a Potencial -% afectación (AP) en millones de m <sup>3</sup> /año	Índice de escasez (IE) IE=(D/ON) X 100	Categoría de vulnerabilidad según Índice de escasez
Pacífico	6.891,00	1.237,10	30,00	4.823,70	25,60	Alta
Central	18.970,30	1.120,00	20,00	15.176,20	7,30	Moderada
Atlántico	72.224,00	5,00	10,00	65.000,00	0,76	Baja

Tabla 8. Estimación del Índice de Escasez como indicador de la vulnerabilidad actual. (MARENA-PNUD, 2001)

Table 8. Estimation of Scarcity Index as an indicator of water resources vulnerability to Climate change. (MARENA-PNUD, 2001)

tigaciones isotópicas con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

- La situación de privilegio de los recursos hídricos de Nicaragua, se ve amenazada con el alto grado de contaminación que están sufriendo los cuerpos de agua -superficiales y subterráneos- producto del uso inadecuado de agroquímicos y por el vertido de aguas de desecho doméstico e industriales, sin tratamiento previo en la mayoría de los casos. Otro factor limitante para los acuíferos es la severa deforestación que han sufrido amplias zonas del territorio, con la consecuente pérdida de suelos que conlleva a la disminución en la capacidad de infiltración hacia las capas del subsuelo.
- Se ha avanzado en el ordenamiento del territorio con enfoque de cuencas hidrográficas, por lo que en diferentes zonas del territorio ya se han creado comités de cuencas, que van adquiriendo poco a poco experiencia. Existe una agrupación de organismos denominada RENOC, que tiene como objetivo general promover e incidir en la protección, conservación y restauración de las cuencas hidrográficas del país.
- En lo que se refiere a legislación hídrica; en Nicaragua ya se cuenta con un proyecto de Ley General de Aguas, que ha sido modificada y aprobada en términos generales por la Asamblea Nacional.

## Referencias

- Alvarez, A. 1994. *Niveis de Contaminacao das Agues da Bacia do Rio Atoya por Residues Pesticides Organoclorados e Organofosforados Aplicados na Cultura do Algodao. Bacia do Rio Atoya, Chinandega, Nicaragua. America Central*. MSc. Tesis. Universidade Federal do Para. Belem.
- Banco Central, 2003. *Estadísticas*.
- Briemberg, D.J. 1995. *An Investigation of Pesticide Contamination of Groundwater Sources for Urban Water Distribution Systems in the Pacific Region of Nicaragua*. Final Report CIDA Awards for Canadians.
- Centro Humboldt, 2002. *Caracterización Hidrogeológica, Hidroquímica, Bacteriológica y de Plaguicidas en las Aguas Subterráneas del Municipio de Posoltega*. Managua, Nicaragua.
- CEPIS/OPS, 2000. *Evaluación 2000: estado, cobertura, calidad del agua, saneamiento y epidemiología. Informe de Nicaragua*.
- Choza, A. 1990. *Diagnóstico resumido de la situación de los Recursos Hídricos en Nicaragua*.
- 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*. Reporte Final.
- 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.
- CIRA-UNAN-Managua, 1999. *Diagnóstico de la Calidad Toxicológica de las Aguas y Suelos y Calidad Bacteriológica de las Aguas del Municipio de Posoltega. Proyección y Efectos Potenciales en la Salud y el Medio Ambiente*. Reporte Final.
- Corrales, D. 2005. *Estudio Hidrogeológico del Funcionamiento del Acuífero de Estelí*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Cruz, A. 1995. *Pesticidas Organoclorados na Gordura Corporal de Mulheres Nicaraguenses*. MSc. Tesis, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil.
- Cruz O. 1997. *Modelaje del Acuífero de Managua y su Rendimiento Sostenible*. Tesis de Maestría Universidad de Costa Rica, Costa Rica
- Cuadra, J., Lacayo, M. y Cruz, A. 1997. *Plaguicidas Organoclorados en Sangre de Madres del Departamento de Chinandega*.
- Dahlberg, C. and Odebjær, W. 2002. *Investigation of Hydrochemical Characteristics and Pesticide Concentrations in Groundwater at Posoltega, León-Chinandega Plains, Nicaragua. A Minor Field Study*. MSc. Thesis, Lund University, Lund, Sweden. LUTVDG/TVTG-5077-SE.
- Delgado, V. 2003. *Groundwater Flow System and Water Quality in a Coastal Plain Aquifer Northwestern Nicaragua*. MSc. Thesis, University of Calgary, Canada.
- Dumailo, S. 2003. *Evaluación de la Problemática Ambiental por medio del Estudio de los Fenómenos de Sedimentación y Contaminación en la Laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Flores, Y. 2002. *Criterios hidrogeológicos para la formulación del Plan de gestión en el Acuífero del Valle de Sébaco*. Tesis de Maestría.
- González, R.M. 2003. *Estudio sobre la Calidad del Agua y Peligro de Contaminación de los Pozos de Abastecimiento Público, Río Viejo y Grande de Matagalpa en el Valle de Sébaco, Matagalpa 2002*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- GWP-Centroamérica, 2002. *Situación de los Recursos Hídricos en los países del istmo centroamericano*.
- INAA, 1998. *Plan de Desarrollo del Sector Agua y Saneamiento de Nicaragua en el Período 1998-2000*.
- INEC, 1995. *Estadísticas Sociodemográficas de Nicaragua*.
- INEC, 2005. (Censo Agropecuario Nacional).
- INETER, 1983. *Estudio de la intrusión marina de los acuíferos costeros de la región León-Chinandega*.
- INETER/OIEA, 1997. Internal Report. *Estudio Hidrogeológico Acuífero de Occidente*. OIEA-INETER. NIC/8/009.
- INETER, 1989. *Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua*.
- INETER-COSUDE, 2004. *Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua*.

- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Nicaragua, Junio 2005, <http://www.ineter.gob.ni>. e-mail: ineterds@ibw.com.ni
- Lacayo, M. 1995. *Pesticidas Organoclorados no Leite Humano de Mães Nicaragüenses*. MSc. Tesis, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. 2001. *Los Acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central*.
- MARENA, PNUD, 2004. *Evaluación de la Vulnerabilidad Actual de los Sistemas Recursos Hídricos y Agricultura en la Cuenca Hidrográfica N° 64*.
- MARENA, 2003. *Estado del Ambiente en Nicaragua 2003. Segundo Informe*.
- MARENA, PNUD, 2001. Nicaragua, Primera Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- MIFIC y DGRN, 2001. *Política Nacional de los Recursos Hídricos de Nicaragua. Decreto N° 107-2001. Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, 2005. Ley General de Aguas Nacionales*.
- PARH, 1998. *Anteproyecto de Ley General de Aguas*.
- OPS, MINSA, ENACAL, INAA, 2004. *Análisis Sectorial de Agua Potable y Saneamiento de Nicaragua*.
- PNUD, 2002. *Informe de Desarrollo de Nicaragua*.
- RENOC, 2005. *Documento de Referencia sobre la Estructura y Funcionamiento de la RENOC*.
- UNICEF, ENACAL, MINSA, 2005. *Evaluación Rápida de la Calidad del Agua de Bebida*. Informe Final.

Recibido: noviembre 2005.

Aceptado: diciembre 2005.